

MAURÍCIO NOVAES SOUZA

**DINÂMICA DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS DO
RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS E DO RIO PRETO,
AFLUENTES DO RIO PARACATU**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008**

**Ficha catalográfica prepara pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729d
2008

Souza, Maurício Novaes, 1959-
Dinâmica do uso dos recursos hídricos nas bacias do
ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio
Paracatu / Maurício Novaes Souza. – Viçosa, MG, 2008.
xxiv, 345f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 326-340.

1. Solo - Uso. 2. Recursos hídricos. 3. Bacias
hidrográficas. 4. Hidrologia. 5. Meio ambiente –
Planejamento. 6. Desenvolvimento econômico –
Aspectos ambientais. 7. Mudanças climáticas. 8.
Sistemas. 9. Modelagem. 10. Stella (Programa de
computador). 11. Irrigação.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.7

MAURÍCIO NOVAES SOUZA

**DINÂMICA DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS DO
RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS E DO RIO PRETO,
AFLUENTES DO RIO PARACATU**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 4 de dezembro de 2008.

Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior
(Co-orientador)

Prof. Júlio César Lima Neves

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. Daniel Fonseca de Carvalho

Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

“As falhas dos homens eternizam-se no bronze, suas virtudes escrevemos na água”.

Shakespeare (1564-1616).

À minha eterna e amada esposa Angélica

À minha mãe Nely

Aos meus filhos queridos Clarissa, Rodrigo e Gabriela

Com todo amor e carinho

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu “Deus”, que concedeu o equilíbrio necessário nas horas mais difíceis para que eu atingisse esse objetivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade e estrutura.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais campus Rio Pomba pelo apoio e confiança, fundamentais ao equilíbrio exigido para a realização de tal obra.

Ao Prof. Everardo Chartuni Mantovani, pelo profissionalismo, competência, confiança, companheirismo e pela forma franca e livre de orientação.

Aos Conselheiros Profs. Aziz Galvão da Silva Júnior e James Jackson Griffith, pelas sugestões na orientação durante a execução deste trabalho.

Aos Profs. e Conselheiros Márcio Mota Ramos e Júlio Cezar Lima Neves pelas importantes sugestões e apoio na fase final da elaboração dessa tese.

Ao Prof. Daniel Fonseca de Carvalho, por aceitar prontamente o convite para participação da Banca de Defesa e pelas brilhantes orientações na formatação final deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, em particular à Edna e ao Galinari.

Aos amigos de curso Maria Emília, Fabiano, Vinícius, Fabrício (s), Vítor, Marcelo, Rafael, Ranière, pela satisfação de tê-los conhecido e poder ter desfrutado de tão intelectual e agradável companhia.

Aos amigos Zé do Presto Pasta e Ita Baião, pela amizade sempre sincera e constante ao longo desses 30 anos de convivência.

Ao Rodrigo e Alba, pelas inúmeras contribuições e estímulos durante todo esse período.

Ao novo amigo Rafael Coll Delgado, fundamental para o andamento e finalização desta tese.

A minha irmã Cristina e sobrinha Daniela, pela torcida.

À memória do meu pai “Bilú”, que deve estar do céu se divertindo e se deliciando com esse momento, pois este era o seu sonho.

À minha mãe Nely, eterna incentivadora e admiradora do meu “talento”, não medindo esforços e sacrifícios para que eu atingisse esse objetivo.

Aos meus filhos Clarissa, Rodrigo e Gabriela, que são o motivo principal para justificar os sacrifícios e a luta constante na busca de um futuro melhor.

À Angélica, minha esposa que amo profundamente, pelo amor e dedicação sem limites durante todos estes 27 anos bem vividos, não questionando em nenhum momento a “revolução” passada em nossas vidas nesses seis últimos anos.

BIOGRAFIA

MAURÍCIO NOVAES SOUZA, Capixaba de Castelo, desde o dia 25 de abril de 1959, é filho de Antônio Souza e Silva e Nely Novaes Silva.

Iniciou o curso de graduação em Agronomia em 1977, na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em 1981.

Foi administrador da Agropecuária “Fim do Mundo”, Instrutor e colaborador da EMATER, e Membro do Conselho Fiscal e Diretor do Conselho de Administração da Cooperativa Agrária de Castelo - ES, e empresário no período 1982-1988.

Exerceu atividades empresariais em diversas áreas da indústria e do comércio, no período 1988-2001, em Brasília-DF.

Em 2002 iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Recuperação de Áreas Degradadas, Economia e Gestão Ambiental, apresentando sua defesa em abril de 2004.

Desde 2003 é professor convidado do Instituto de Educação Tecnológica de Belo Horizonte, em cursos de pós-graduação em Gestão Ambiental e Economia dos Recursos Renováveis.

É professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais campus de Rio Pomba - IFET-RP, desde 2004, atuando nas áreas de Avaliação de Impactos Ambientais, Recuperação de Áreas Degradadas, Ecologia Geral e Florestal, Manejo de Ecossistemas, Planejamento Rural e Urbano, Economia e Gestão Ambiental, e Irrigação.

Iniciou o doutorado no Programa de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa em abril de 2005, área de concentração Engenharia de Água e Solo.

É conselheiro do COPAM Zona da Mata e assessor, conselheiro, coordenador dos cursos Técnico em Meio Ambiente, EAD em Gestão Ambiental e pós-graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável do IFET/RP.

Atualmente, é diretor do IFET de Araçuaí, MG.

CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE QUADROS	xv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xxii
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Considerações iniciais	01
1.2. O problema e sua importância	03
2. OBJETIVOS	08
2.1. Objetivos gerais	08
2.2. Objetivos específicos	08
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	09
3.1. Os ecossistemas e o fator antrópico	16
3.1.1. Introdução	16
3.1.2. O capital natural	21
3.1.3. Funções ambientais de ordem econômica e a ruptura do equilíbrio	24
3.1.4. Externalidades	26
3.1.5. Fatores de desequilíbrio	28
3.2. Impactos e externalidades das atividades agrícolas	30
3.2.1. Introdução	31
3.2.2. Erosão: importância e prevenção	33
3.2.3. Impactos provocados por agroquímicos e metais pesados	35
3.2.4. Impactos da irrigação sobre a qualidade da água	37
3.2.5. Impactos ambientais originados pela introdução de plantas exóticas	45
3.3. Mudanças climáticas	46
3.3.1. Introdução	47
3.3.2. Efeito estufa	48
3.3.2.1. Base física do efeito estufa	49
3.3.2.2. Gases de efeito estufa	50
3.3.2.3. Atividades antrópicas e a produção de gases de efeito estufa	51
3.3.2.3.1. Desmatamento e queimadas	51

3.3.2.3.2. Atividades urbano-industriais	53
3.3.3. Camada de ozônio	53
3.3.4. Externalidades e impactos ambientais das mudanças climáticas	54
3.3.4.1. Comportamento vegetal e a produção agrícola	54
Estudo de Caso (1): Cenários do efeito do aquecimento sobre algumas culturas	56
3.3.4.2. Ecossistemas aquáticos	60
Estudo de Caso (2): Mudanças climáticas e o rio São Francisco	62
3.3.5. Reação da comunidade internacional à mudança climática	65
3.4. Desenvolvimento Sustentável	67
3.4.1. Introdução	68
3.4.2. Conceitos	69
3.4.3. Análise conceitual: divergências e propostas alternativas	70
3.4.4. Questões ambientais atuais	70
3.4.5. Política pública	71
3.4.6. Procedimentos necessários para atingir o desenvolvimento sustentável	74
3.4.7. Tecnologias apropriadas e sua gestão	74
3.4.8. Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável	76
3.5. Gestão de recursos hídricos	80
3.5.1. Introdução	81
3.5.2. Os problemas reais	82
3.5.3. A Reforma do Estado e a configuração do setor de recursos hídricos	85
3.5.4. Instrumentos de gestão	87
3.5.4.1. Planos de recursos hídricos	88
3.5.4.2. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos	90
3.5.4.3. Cobrança pelo uso dos recursos hídricos	94
3.5.5. Outros instrumentos de gestão	97
3.5.5.1. Organizações civis de recursos hídricos	97
3.5.5.2. Medidas de economia no uso da água	98
3.6. Dinâmica de Sistemas	101
3.6.1. O pensamento sistêmico	102
3.6.2. Princípio da Dinâmica de Sistemas	103
3.6.3. Aplicações da Dinâmica de Sistemas	104
3.6.4. Círculo de causalidade	106
3.6.5. Modelo analítico	108
3.6.6. A Dinâmica de Sistemas e o uso da modelagem	112
3.6.6.1. Etapas de desenvolvimento do modelo de Dinâmica de Sistemas	113
3.6.6.2. O ambiente de modelagem computacional quantitativo STELLA	117
3.7. Considerações	125

4. MATERIAL E MÉTODOS	127
4.1. Caracterização da área de estudo	127
4.1.1. Delimitação espacial e aspectos sócio-econômicos e ambientais	127
4.1.1.1. Bacia do rio São Francisco	127
4.1.1.2. Bacia do rio Paracatu	133
4.1.1.3. Bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros	138
4.1.2. Uso do solo nas bacias do Paracatu, do Entre Ribeiros e do rio Preto	140
4.2. Modelagem nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto	149
4.2.1. Fonte de dados	150
4.2.1.1. Uso do solo nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros	151
4.2.1.2. Comportamento hidrológico do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto	155
4.2.1.3. Estudo da associação entre vazões e uso do solo	158
4.2.1.3.1. Análise qualitativa	158
4.2.1.3. 2. Análise quantitativa	161
4.2.1.4. Análise do comportamento das classes de uso do solo	161
4.2.1.4.1. Estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua	163
4.2.1.4.2. Estação fluviométrica Porto dos Poções	164
4.2.1.5. Análise do comportamento das variáveis hidrológicas	167
4.2.2. Etapas da modelagem	172
4.2.2.1. Etapa de conceitualização	172
4.2.2.1.1. Enfoque sistêmico dos recursos hídricos	173
4.2.2.1.2. Definição do problema	174
4.2.2.1.3. Relação elementos do sistema: diagrama causal do modelo	176
4.2.2.2. Etapa de formalização	178
4.2.2.2.1. Diagrama de estoque e fluxo	178
4.2.2.2.2. Descrição matemática do modelo	180
4.2.3. Validação do modelo matemático	184
4.2.4. Etapa de simulação e aplicação do modelo	191
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	196
5.1. Cenários elaborados para a bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros	196
5.1.1. Cenário 1: agronegócio atual	198
5.1.2. Cenário 2: aumento de temperatura (1° C) e 6,9% na precipitação	204
5.1.3. Cenário 3: mudança climática com redução na oferta de água	213
5.1.4. Cenário 4: mudança climática com aumento na oferta de água	219
5.1.5. Cenário 5: aumento de temperatura (1° C) e 5% na precipitação	226
5.1.6. Cenário 6: aumento de temperatura (3° C) e 10% na precipitação	231

5.1.7. Cenário 7: aumento de temperatura (5,8° C) e 15% na precipitação	237
5.1.8. Cenário 8: incremento da área irrigada	243
5.2. Cenários elaborados para a bacia hidrográfica do rio Preto	247
5.2.1. Cenário 1: agronegócio atual	250
5.2.2. Cenário 2: aumento de temperatura (1° C) e 6,9% na precipitação	256
5.2.3. Cenário 3: mudança climática com redução na oferta de água	264
5.2.4. Cenário 4: mudança climática com aumento na oferta de água	271
5.2.5. Cenário 5: aumento de temperatura (1° C) e 5% na precipitação	277
5.2.6. Cenário 6: aumento de temperatura (3° C) e 10% na precipitação	283
5.2.7. Cenário 7: aumento de temperatura (5,8° C) e 15% na precipitação	291
5.2.8. Cenário 8: incremento da área irrigada	298
5.3. Associações do comportamento entre as bacias analisadas	303
6. CONCLUSÕES	315
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	317
8. DIRETRIZES E SUGESTÕES	319
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	326
ANEXOS	341

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Distribuição de água no mundo	04
FIGURA 02 - Utilização das terras do Brasil no período 1970-2006	04
FIGURA 03 - Monocultura de eucalipto na bacia do rio Preto	06
FIGURA 04 - Fogo como prática agropecuária rotineira	18
FIGURA 05 - Desmatamento: redução da evapotranspiração e das chuvas	19
FIGURA 06 - Alterações da fertilidade de um solo	20
FIGURA 07 - Componentes de um ecossistema	22
FIGURA 08 - Perfil de um ecossistema formado pela mata ciliar	22
FIGURA 09 - Componentes, funções e biodiversidade em agroecossistemas	23
FIGURA 10 - Comparação entre custos privados e sociais	27
FIGURA 11 - Rio Preto cortando a cidade de Unai	29
FIGURA 12 - Resultado do IQA na bacia do rio Paracatu no “Período Chuvoso”	34
FIGURA 13 - Resultado do IQA na bacia do rio Paracatu no “Período Seco”	35
FIGURA 14 - Comparação da produtividade de áreas irrigadas e não-irrigadas	38
FIGURA 15 - Métodos de irrigação no Brasil	39
FIGURA 16 - Lâmina coletada ao longo da linha lateral dos pivôs	41
FIGURA 17 - Impactos negativos pelo manejo incorreto da irrigação	41
FIGURA 18 - Simulação da rentabilidade para a cafeicultura irrigada	44
FIGURA 19 - Atmosfera e os gases de efeito estufa	48
FIGURA 20 - Espectro de absorção da radiação eletromagnética pela atmosfera	49
FIGURA 21 - Distribuição das florestas plantadas	52
FIGURA 22 - Zoneamento atual do café para o Estado de Goiás	59
FIGURA 23 - Zoneamento atual do café para o Estado de Minas Gerais	59
FIGURA 24 - Alterações no clima no Estado de Minas Gerais	61
FIGURA 25 - Elementos chave do Desenvolvimento Sustentável	77
FIGURA 26 - Configuração estrutural do setor de recursos hídricos do Brasil	86
FIGURA 27 - Horizonte temporal de enquadramento	89
FIGURA 28 - A Dinâmica do setor florestal brasileiro	106
FIGURA 29 - Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos	107
FIGURA 30 - Unidade básica de síntese da Dinâmica de Sistemas	110
FIGURA 31 - Modelo conceitual de inter-relação entre sistemas	111
FIGURA 32 - Etapas no processo de modelagem matemática	114

FIGURA 33 - Diagrama causal para um modelo populacional simples	115
FIGURA 34 - Diagrama de fluxo para o modelo populacional simples	116
FIGURA 35 - Diagrama do processo de modelagem em recursos hídricos	117
FIGURA 36 - Tela do Nível Construção do Modelo no Modo Mapa	118
FIGURA 37 - Diagrama causal do Modelo da água	119
FIGURA 38 - Diagrama de estoque e fluxo no Município de São Miguel do Anta	120
FIGURA 39 - Modelo simplificado do ciclo do carbono na Terra	121
FIGURA 40 - Conteúdo de carbono ao longo do tempo de simulação	122
FIGURA 41 - Diagrama causal das bacias hidrográficas PJC	122
FIGURA 42 - Setor de oferta de água do sistema de recursos hídricos PJC	123
FIGURA 43 - Índice de sustentabilidade para as bacias PJC	123
FIGURA 44 - Tipos de modelos em Dinâmica de Sistemas	124
FIGURA 45 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco	127
FIGURA 46 - Bacia do rio São Francisco e sua respectiva área de drenagem	128
FIGURA 47 - Condição atual das margens do rio São Francisco	131
FIGURA 48 - Parte mineira da bacia do rio São Francisco	133
FIGURA 49 - Bacia do rio Paracatu	134
FIGURA 50 - Localização da bacia do rio Paracatu e suas bacias de contribuição	139
FIGURA 51 - Usos da água na bacia do Paracatu	139
FIGURA 52 - Índice de Qualidade das Águas (IQA) na bacia do rio Paracatu	143
FIGURA 53 - Resultados dos ensaios ecotoxicológicos do rio Preto	144
FIGURA 54 - Trecho do rio Preto próximo à cidade de Unai	144
FIGURA 55 - Mapa de uso da água da bacia do rio Paracatu	145
FIGURA 56 - Mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Paracatu	145
FIGURA 57 - Enquadramento dos rios da bacia hidrográfica do Paracatu	146
FIGURA 58 - Cobertura do sensor Landsat 5 TM na área de estudo	152
FIGURA 59 - Organograma de processamento das imagens	152
FIGURA 60 - Amostras para cada classe temática	153
FIGURA 61 - Checagem das amostras no campo	153
FIGURA 62 - Localização da bacia do rio Paracatu	155
FIGURA 63 - Mapa de isoietas da precipitação média na bacia do rio Paracatu	156
FIGURA 64 - Localização das estações fluviométricas	157
FIGURA 65 - Localização das estações pluviométricas	158
FIGURA 66 - Relações causais esperadas para a vazão máxima	159
FIGURA 67 - Relações causais esperadas para a vazão mínima	159
FIGURA 68 - Relações causais esperadas para a vazão média	159
FIGURA 69 - Tendências observadas do uso do solo na EFFBE	164
FIGURA 70 - Mudanças no uso do solo na área de drenagem da EFFBE	164

FIGURA 71 - Tendências observadas do uso do solo para a EFPP	165
FIGURA 72 - Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da EFPP	165
FIGURA 73 - Comportamento das vazões das oito estações fluviométricas	168
FIGURA 74 - Comportamento das precipitações das oito estações fluviométricas	170
FIGURA 75 - Fluxograma da estrutura do modelo de recursos hídricos	176
FIGURA 76 - Diagrama causal do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto	177
FIGURA 77 - Diagrama de estoque e fluxo dos rios Entre Ribeiros e Preto	179
FIGURA 78 - Oferta de água igual à soma da demanda de água com a saída	180
FIGURA 79 - Equação de diferenças de crescimento exponencial	183
FIGURA 80 - Crescimento exponencial	184
FIGURA 81 - Simulação do uso da água para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros	187
FIGURA 82 - Crescimento da área cultivada na área de drenagem da EFFBE	190
FIGURA 83 - Simulação da dinâmica das mudanças de classes de uso do solo	190
FIGURA 84 - Resultados consistidos do crescimento da área irrigada	191
FIGURA 85 - Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas	192
FIGURA 86 - Modelo da água para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros (RER)	198
FIGURA 87 - Simulação da demanda de água para a atividade irrigação	199
FIGURA 88 - Simulação para o uso da água na bacia do RER	200
FIGURA 89 - Comportamento da Evapotranspiração na bacia do RER	201
FIGURA 90 - Comportamento da Precipitação no período 1995-2060	203
FIGURA 91 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 2	205
FIGURA 92 - Acréscimos de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação	205
FIGURA 93 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1})	207
FIGURA 94 - Tendência de elevação da temperatura na “Mata”	207
FIGURA 95 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 2	209
FIGURA 96 - Simulação para o uso da água no CENÁRIO 2	211
FIGURA 97 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 3	213
FIGURA 98 - Oferta de água reduzida em 20% na bacia do RER	214
FIGURA 99 - Demanda de água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros	215
FIGURA 100 - Demanda e oferta de água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros	215
FIGURA 101 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 3	216
FIGURA 102 - Comportamento da precipitação (mm ha^{-1}) no CENÁRIO 3	218
FIGURA 103 - Modelo do estoque e fluxo da água do CENÁRIO 4 EFFBE	220
FIGURA 104 - Oferta de água aumentada em 25% no CENÁRIO 4	221
FIGURA 105 - Demanda de água da EFFBE no CENÁRIO 4	222
FIGURA 106 - Demanda e oferta de água no CENÁRIO 4	222
FIGURA 107 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 4	223
FIGURA 108 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no CENÁRIO 4	225

FIGURA 109 - Modelo do estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 5	226
FIGURA 110 - Acréscimo de 1°C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 5	227
FIGURA 111 - Comportamento da precipitação no CENÁRIO 5	228
FIGURA 112 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 5	229
FIGURA 113 - Projeção para o uso da água no CENÁRIO 5	230
FIGURA 114 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 6	232
FIGURA 115 - Acréscimo de 3°C na temperatura sugerido no CENÁRIO 6	232
FIGURA 116 - Comportamento da precipitação (mm ano ⁻¹) no CENÁRIO 6	233
FIGURA 117 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 6	235
FIGURA 118 - Uso da água para o período 1995-2060 no CENÁRIO 6	236
FIGURA 119 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 7	238
FIGURA 120 - Acréscimo de 5,8°C na temperatura sugerido no CENÁRIO 7	238
FIGURA 121 - Comportamento da precipitação para o período 1995-2060	239
FIGURA 122 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 7	241
FIGURA 123 - Uso da água para o período 1995-2060 no CENÁRIO 7	242
FIGURA 124 - Modelo do estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 8	243
FIGURA 125 - Projeção para o uso da água no CENÁRIO 8	244
FIGURA 126 - Demanda de água para a atividade irrigação no CENÁRIO 1	244
FIGURA 127 - Demanda de água para a atividade irrigação no CENÁRIO 8	245
FIGURA 128 - Modelo de estoque e fluxo da água da bacia do rio Preto	248
FIGURA 129 - Atividades desenvolvidas na área de abrangência da EFPP	251
FIGURA 130 - Comportamento da demanda setorial de água para irrigação	252
FIGURA 131 - Uso da água no período 1995-2060 na EFPP	253
FIGURA 132 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 1	254
FIGURA 133 - Comportamento da precipitação (mm ano ⁻¹) no CENÁRIO 1	255
FIGURA 134 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto no CENÁRIO 2	257
FIGURA 135 - Acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação	258
FIGURA 136 - Comportamento da precipitação (mm ano ⁻¹) no CENÁRIO 2	258
FIGURA 137 - Tendência de elevação da temperatura de classes de uso do solo	259
FIGURA 138 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 2	260
FIGURA 139 - Projeção para o uso da água no CENÁRIO 2	261
FIGURA 140 - Projeção uso da água para a atividade irrigação no CENÁRIO 2	262
FIGURA 141 - Modelo de estoque e fluxo da água do CENÁRIO 3	264
FIGURA 142 - Oferta de água reduzida em 20% na bacia do rio Preto	265
FIGURA 143 - Demanda de água na bacia do rio Preto no período 1995-2060	266
FIGURA 144 - Demanda e oferta de água na bacia do rio Preto (1995-2060)	266
FIGURA 145 - CENÁRIO 3: redução de 20% na oferta de água	267
FIGURA 146 - Comportamento da precipitação (mm ha ⁻¹ ano ⁻¹) no CENÁRIO 3	270

FIGURA 147 - Modelo do estoque e fluxo da água do CENÁRIO 4 do rio Preto	271
FIGURA 148 - Oferta de água no CENÁRIO 4: aumento em 25%	272
FIGURA 149 - Demanda de água na bacia do rio Preto no período 1995-2060	272
FIGURA 150 - Demanda e oferta de água na bacia do rio Preto (1995-2060)	273
FIGURA 151 - Evapotranspiração com aumento na oferta de água	274
FIGURA 152 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no período 1995-2060	276
FIGURA 153 - Modelo de estoque e fluxo da água na bacia do rio Preto	278
FIGURA 154 - Acréscimo de 1°C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 5	278
FIGURA 155 - Comportamento da precipitação no CENÁRIO 5 (1995-2060)	279
FIGURA 156 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 5	281
FIGURA 157 - Projeção do uso da água na bacia do rio Preto (1995-2060)	282
FIGURA 158 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto do CENÁRIO 6	284
FIGURA 159 - Acréscimo de 3°C na temperatura sugerido no CENÁRIO 6	284
FIGURA 160 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no CENÁRIO 6	285
FIGURA 161 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 6	287
FIGURA 162 - Simulação para o uso da água no CENÁRIO 6	289
FIGURA 163 - Modelo de estoque e fluxo da água do para o rio Preto	291
FIGURA 164 - Acréscimo de $5,8^{\circ}\text{C}$ na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 7	291
FIGURA 165 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no CENÁRIO 7	292
FIGURA 166 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 7	294
FIGURA 167 - Simulação para o uso da água no CENÁRIO 7 (1995-2060)	295
FIGURA 168 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto do CENÁRIO 8	298
FIGURA 169 - Projeção para o uso da água na bacia do rio Preto (1995-2060)	299
FIGURA 170 - Demanda de água para a atividade irrigação no CENÁRIO 8	299
FIGURA 171 - Precipitação Direta no CENÁRIO 8 no período 1995-2060	301
FIGURA 172 - Bacia Hidrográfica	307
FIGURA 173 - Termos envolvidos no Balanço Hídrico em um volume de controle	308

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Drenagem pluvial anual <i>per capita</i> de países selecionados	04
QUADRO 02 - Crescimento da população mundial	17
QUADRO 03 - Tempo necessário para acréscimo da população mundial	17
QUADRO 04 - População, tempo para a sua duplicação e suprimento de água	18
QUADRO 05 - Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão	34
QUADRO 06 - Concentrações totais de elementos e a fitotoxidez	36
QUADRO 07 - Impactos ambientais associados à eutrofização	37
QUADRO 08 - Teores de metais selecionados em um solo irrigado	42
QUADRO 09 - Alteração das áreas de plantio no Brasil e o aquecimento global	57
QUADRO 10 - Resultados finais da simulação do zoneamento do café	60
QUADRO 11 - Uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Paracatu	135
QUADRO 12 - Áreas irrigadas por município	140
QUADRO 13 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo	156
QUADRO 14 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo	157
QUADRO 15 - Porcentagem das áreas das estações fluviométricas	161
QUADRO 16 - Monitoramento das mudanças do uso do solo período 1985-2000	162
QUADRO 17 - Significâncias e tendências para o comportamento do uso do solo	163
QUADRO 18 - Significâncias observadas para vazões e precipitações	167
QUADRO 19 - Reduções das vazões mínimas para as bacias monitoradas	169
QUADRO 20 - Variações da precipitação nos rios Entre Ribeiros e Preto	171
QUADRO 21 - Uso do solo na área de drenagem da EFFBE período 1985-2000	188
QUADRO 22 - Cenários propostos e avaliados	193
QUADRO 23 - Áreas irrigadas por município das bacias em estudo	194
QUADRO 24 - Porcentagem da área da EFFBE	196
QUADRO 25 - Índice de sustentabilidade: “Irrigação” e “Precipitação no Cerrado”	199
QUADRO 26 - Índice de sustentabilidade: “Irrigação” e “Precipitação na bacia”	200
QUADRO 27 - Variações da Evapotranspiração período 1995-2060 CENÁRIO 1	202
QUADRO 28 - Comportamento da Precipitação direta na bacia do RER	204
QUADRO 29 - Variação na taxa de Evapotranspiração no período 1995-2060	209
QUADRO 30 - Comportamento da Precipitação direta na bacia CENÁRIOS 1-2	212
QUADRO 31 - Índice de sustentabilidade (IS) e a relação oferta/demanda	216
QUADRO 32 - Variações evapotranspirométricas entre os CENÁRIOS 1-3	217
QUADRO 33 - Variação da Precipitação período 1995-2060 nos CENÁRIOS 1-3	218

QUADRO 34 - Índice de sustentabilidade: relação oferta/demanda CENÁRIO 4	223
QUADRO 35 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-4	224
QUADRO 36 - Comportamento da Precipitação nos CENÁRIOS 1-4	225
QUADRO 37 - Comportamento da Precipitação nos CENÁRIOS 1-5	228
QUADRO 38 - Variações evapotranspirométricas entre os CENÁRIOS 1-5	229
QUADRO 39 - Comportamento da precipitação nos CENÁRIOS 1-6	234
QUADRO 40 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-6	235
QUADRO 41 - Comportamento da “Precipitação Direta” nos CENÁRIOS 1-7	240
QUADRO 42 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-7	241
QUADRO 43 - Índice de sustentabilidade: Irrigação e Precipitação no “Cerrado”	245
QUADRO 44 - Índice de sustentabilidade (IS): Irrigação e “Precipitação Direta”	246
QUADRO 45 - Porcentagem da área da estação fluviométrica Porto dos Poções	247
QUADRO 46 - Significâncias no comportamento do uso do solo: rio Preto	251
QUADRO 47 - Índice de sustentabilidade (IS) do CENÁRIO 1 do rio Preto	252
QUADRO 48 - Variação da evapotranspiração no CENÁRIO 1	255
QUADRO 49 - Comportamento da “Precipitação Direta” no CENÁRIO 1	256
QUADRO 50 - Variação nas taxas de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1-2	261
QUADRO 51 - Comportamento da precipitação nos CENÁRIOS 1-2	263
QUADRO 52 - Índice de sustentabilidade e a relação oferta/demanda	267
QUADRO 53 - Comportamento da taxa de evapotranspiração no CENÁRIO 3	268
QUADRO 54 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-3	268
QUADRO 55 - Comportamento da “Precipitação Direta” nos CENÁRIOS 1-3	269
QUADRO 56 - Índice de sustentabilidade: relação oferta/demanda CENÁRIO 4	274
QUADRO 57 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-4	275
QUADRO 58 - Comportamento da precipitação nos CENÁRIOS 1-4	276
QUADRO 59 - Comportamento da precipitação nos CENÁRIOS 1-5	280
QUADRO 60 - Variações evapotranspirométricas entre os CENÁRIOS 1-5	281
QUADRO 61 - Comportamento da “Precipitação Direta” nos CENÁRIOS 1-6	286
QUADRO 62 - Variações evapotranspirométricas entre os CENÁRIOS 1-6	288
QUADRO 63 - Comportamento da “Precipitação Direta” para os CENÁRIOS 1-7	293
QUADRO 64 - Variações evapotranspirométricas entre os CENÁRIOS 1-7	295
QUADRO 65 - Índice de sustentabilidade: “Irrigação” e Precipitação CENÁRIO 1	300
QUADRO 66 - Índice de sustentabilidade: “Irrigação” e “PCerrado” CENÁRIO 8	301
QUADRO 67 - Índice de sustentabilidade: “Irrigação” e “PDireta” no CENÁRIO 8	302
QUADRO 68 - Área e variação percentual das classes de uso do solo na EFFBE	310
QUADRO 69 - Área e variação percentual das classes de uso do solo na EFPP	310
QUADRO 70 - Variações na evapotranspiração nos CENÁRIOS 1-7: EFFBE	311
QUADRO 71 - Comportamento da “Precipitação Direta” na área da EFFBE	312

QUADRO 72 - Variações na evapotranspiração nos CENÁRIOS 1-7: EFPP	313
QUADRO 73 - Comportamento da “Precipitação Direta” na área da EFPP	313

RESUMO

SOUZA, Maurício Novaes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2008.
Dinâmica do uso dos recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientadores: Aziz Galvão da Silva Júnior e James Jackson Griffith.

A humanidade enfrenta problemas de degradação ambiental que remontam no tempo. O meio ambiente que sempre desempenhou sua função depuradora com eficiência, encontra-se hoje excessivamente sobrecarregado pelas atividades antrópicas: sofre o risco de exaustão dos seus recursos, não conseguindo em determinadas situações auto recuperar-se, necessitando o auxílio do homem. Porém, considerando os atuais modelos de produção e desenvolvimento que priorizam a maximização econômica em detrimento à conservação ambiental, a solução definitiva dessas questões parece estar distante de ser encontrada. Recentemente, essa preocupação ganhou adeptos em todo o mundo e efetivamente existe uma maior conscientização às causas ambientais, incluindo casos de sucesso nos procedimentos de recuperação e propostas viáveis para o desenvolvimento sustentável. Para atingir esse objetivo, nos dias atuais, um modelo moderno de se administrar uma determinada região deve tomar a bacia hidrográfica onde está inserida como unidade básica de planejamento. Há de se considerar que com o aumento da demanda pelo uso da água evidenciado ao longo do tempo, sobretudo nas últimas décadas, sérios conflitos têm surgido entre os usuários em muitas regiões da Terra, inclusive no Brasil, como na bacia do rio São Francisco. Esta bacia hidrográfica possui uma demanda total de água de $224 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo o principal consumidor a irrigação, responsável por 71,4% dessa demanda. O rio Paracatu, situado no Médio São Francisco, é o seu maior afluente, contribuindo com cerca de 40% da vazão desse rio em sua seção de deságüe. Contudo, nas últimas décadas, a irrigação apresentou expressivo crescimento na bacia do rio Paracatu, principalmente após os incentivos advindos de programas governamentais iniciados na década de 1970, como o Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (PLANOROESTE). Como conseqüência da grande expansão da agricultura irrigada, sérios conflitos têm surgido em várias partes da bacia, principalmente nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu, que drenam uma área de aproximadamente

14.149km², dos quais 74,87% (10.621km²) encontram-se no Estado de Minas Gerais, 15,71% (2.212km²) no Estado de Goiás e 9,42% (1.316km²) no Distrito Federal. Assim, discutir e propor soluções para os problemas relativos às bacias hidrográficas, visando à sustentabilidade do uso da água e suas relações com o desenvolvimento sustentável são objetivos que o planejamento e gestão dos recursos hídricos deverão assegurar às futuras gerações. Entretanto, as relações entre o uso do solo e recursos hídricos têm sido marcadas pelo insucesso, com prejuízos significativos para o ambiente, o que tem se transformado em perdas para toda coletividade. Assim, modificações no regime de vazões de uma bacia hidrográfica podem ser causadas por mudanças do uso do solo, pela variabilidade climática, pela construção de barragens ou pelo aumento da irrigação. A troca de uma cobertura por outra altera os componentes do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica alterando necessariamente o regime de vazões - neste contexto se inserem as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Há de se considerar que a ocorrência de fenômenos meteorológicos e climatológicos extremos se tornou fato. Apesar da adoção de medidas emergenciais, alguns problemas se intensificaram: incremento da concentração de gases de efeito estufa; diminuição da camada de ozônio; redução das terras agricultáveis; crescente contaminação dos ecossistemas aquáticos e redução progressiva dos recursos de água doce. Contudo, um sério problema se tem percebido, e que tem sido uma regra - a ausência da avaliação das questões relativas à predição na implantação de projetos. Neste estudo se buscou representar as inter-relações existentes das mudanças das classes de uso do solo e suas influências sobre os fatores climáticos e os ecossistemas aquáticos nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Nestas bacias, onde a vazão média anual retirada pela "Irrigação" teve crescimento de 62 vezes no período 1970-1996, gerando uma série de conflitos regionais, tem ocorrido a substituição da vegetação nativa "Cerrado" por "Cultivo", principalmente. A situação é preocupante quando se verifica pela análise da oferta de água no período 1985-2000 que a "Precipitação" na bacia e as vazões média e mínimas sofreram significativas reduções. Por estas questões, a proposta deste trabalho foi desenvolver um modelo de oferta e demanda do uso da água, baseado em princípios de "Dinâmica de Sistemas" com o auxílio do *software* STELLA. Para isso, foram utilizados dados do monitoramento do uso do solo no período 1985-2000; associados o comportamento hidrológico das vazões máximas, mínimas e médias observado nas bacias com as variações ocorridas no uso do solo das mesmas; simulados cenários de aumento e redução na oferta de água e calculado o Índice de Sustentabilidade, tendo por base os dados das estações fluviométricas Fazenda Barra da Água e Porto dos Poções, localizadas, respectivamente, nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. O denominado "Modelo de Água" foi desenvolvido para

abordar uma variedade de cenários de oferta e demanda de água na área de estudo. Por meio de uma análise sistêmica dos recursos hídricos das referidas bacias foram determinadas as principais variáveis e suas respectivas inter-relações, de acordo com a estrutura do modelo de oferta e demanda hídrica. Essa estrutura foi representada no diagrama causal, que serviu de base à elaboração do diagrama de estoque e fluxo, por meio do qual se estabeleceu o modelo matemático que permitiu efetuar a simulação numérica. Foram aplicados testes para a validação do modelo, cujos resultados obtidos permitiram verificar que o modelo está conformado e se comporta de forma coerente aos dados existentes na realidade, o que o torna adequado para simulação. Como horizonte de planejamento para o presente estudo foi escolhido um período de 65 anos. Foram examinados oito cenários, que compreendem futuros aumentos na demanda de água e restrições na oferta desse recurso, com o objetivo de avaliar a sustentabilidade da oferta de água disponível nas referidas bacias. Para avaliar a sustentabilidade foi construído um Índice que revela se o sistema, sob as suposições incorporadas no referido cenário, encontra-se ou não, no decorrer do período em estudo, em uma situação de estresse. Na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, por exemplo, tem ocorrido a substituição de “Cerrado” (-47,65%) por “Cultivo” (+198,09%), que diminui a interceptação da água da chuva, aumenta o escoamento superficial e reduz a infiltração de água no solo, causando redução das vazões média e mínimas. Por meio da modelagem baseada em princípios de “Dinâmica de Sistemas” e com o uso do *software* STELLA, foram simuladas possíveis efeitos das mudanças climáticas na referida bacia, considerando-se, em um dos cenários propostos, acréscimos de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação no período 1995-2060. Verificou-se a tendência de uma redução de -18,70% na “Precipitação direta” e significativas alterações nas taxas evapotranspirométricas para “Pasto” (+33,34%); “Cultivo” (+23,77%); “Cerrado” (+8,54%) e “Mata” (-9,49%). Na bacia do rio Preto, para o período 1995-2060, verificou-se a tendência de redução de -23,08% na “Precipitação” no Cenário “Agronegócio Atual”. Há de se considerar que nos oito (8) cenários avaliados, a simulação apontou para a redução da precipitação direta nas bacias: verificou-se, em todos os cenários propostos, que o sistema seria insustentável no médio e longo prazo. O modelo desenvolvido no presente estudo permitiu aumentar a compreensão em relação à forma de funcionamento do sistema de recursos hídricos das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, o que o converte num valioso instrumento computacional de auxílio aos formuladores de políticas para o planejamento dos recursos hídricos – nas referidas bacias, como também em outras bacias hidrográficas.

ABSTRACT

SOUZA, Maurício Novaes. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, december 2008. **Water resources use dynamics in watersheds of *Ribeirão Entre Ribeiros* and *Rio Preto*, tributaries of the Paracatu River.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Co-advisers: Aziz Galvão da Silva Júnior and James Jackson Griffith.

From times past, humanity confronts problems of environmental degradation. The environment, which always performed efficiently its function of filtration, today finds itself excessively overburdened by human activities: it suffers the risk of its resources exhausting, not being able in certain situations to recuperate itself and needing the help of man. However, considering the present models of production and development that prioritize economic maximization, finding definitive solutions for these matters seems distant. Recently this concern has won supporters in the entire world, and there is effectively a greater consciousness for environmental causes, including successful cases in recovery procedures and viable proposals for sustainable development. Nowadays, to reach this aim, a modern model of managing a certain region must take the hydrographic basin which is implanted as a basic unit of planning. It has to be considered the increase in demand for water use that has been evidenced over the course of time, particularly in the last decades, is causing serious conflicts among users in many regions of the earth, inclusively in Brazil, as in "São Francisco" basin. This hydrographic basin has a total demand of $224 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ of water, with irrigation being the main consumer, accounting for 71,4% of the demand. *Paracatu* river, located in Middle San Francisco river, is its biggest tributary, contributing with about 40% of the river flow in its discharge section. Although, in the last decades, irrigation has presented expressive growth in *Paracatu* basin, mainly after the incentives from the governmental programs that had its begin in the 1970s, such as the Integrated Development Plan of the Minas Gerais Northwest (PLANOROESTE). As consequence of the great expansion of irrigated agriculture, serious conflicts has been arising in several parts of the basin, mainly in the sub-basins of *Entre Ribeiros* stream and *Preto Rivers*, tributaries of *Paracatu* river, that drain an area of $14,149 \text{ km}^2$, which 74,87% ($10,621 \text{ km}^2$) are in Minas Gerais State, 15,71% ($2,212 \text{ km}^2$) in Goiás State and 9,42% ($1,316 \text{ km}^2$) in Federal District. Thus, discuss and propose solutions for the problems related with the basin hydrographic, looking for the sustainable water use in the urban

and rural areas and its relation with the sustained development are purposes that the planning and management of water resources must assure to future generations. However, the relation between soil use and watersheds has been marked by the failure, with environment significant damages, what have been transformed in losses for all collectivity. Thus, modifications on the outflow regime of a hydrographic basin can be caused by changes in the land use, climatic variability, storage dams construction or by the irrigation increase. When the land cover is changed for another one, the components of the hydrologic cycle on watersheds could be modified, changing the outflow regime: in this context are the watersheds *Entre Ribeiros Stream* and *Preto River*. It has to be considered, to aggravate the situation even more, that the occurrence of extreme meteorological and climatologic phenomenon has become a fact. In spite of the adoption of emergent providences, some problems intensified: increment of the concentration of gases of heating effects; decrease of ozone layer; reduction of the grounds for agriculture, increasing contamination of the aquatic ecosystems and progressive decrease of the resources of softer water. Nevertheless, a serious problem has been perceived - the absence of evaluation of the questions about prediction in the implantation of projects. In this study, it was searched to represent the existent interrelations of the changes of the kinds of oil use and its influences over climatic factors and the aquatic ecosystems, in the hydrographic basin of *Entre Ribeiros Stream* and *Preto River*. In these basins, where the medium annual outflow retired by the "Irrigation" have had an increase of 62 times in the period of 1970-1996, producing a regional series of conflicts, it has happened the replacement of the native vegetation "Cerrado" for "Cultivation", mainly. The situation is worry when it is verified by analysis of the water offered in the period of 1985-2000, that the "precipitation" in the basin and the medium and minimum outflows has had significant reductions. For these questions, the proposal of this search was develop a model of offering and requesting of the water use, based in the origins of "Dynamic of Systems" with the support of STELLA SOFTWARE. To this, it had been used data from the monitoring of soil use in the period from 1985 to 2000; associated the hydrological behavior of the maximum, minimum and medium outflows observed in the basins with the variations happened in the use of the soil of themselves; simulated sceneries of increase and reduction in the water offer and calculated the Sustained Index, having as a base the data from the fluviometric stations *Barra da Égua Farm* and *Porto dos Poções*, located, respectively, in the basins of *Entre Ribeiros Stream* and *Preto Rivers*. The called "Water Model" was developed to approach a variety of sceneries of offering and demand of water in the studied area. By means of a system analysis of the water resources of the related basins had been determined the main variable and its respective inter-relations, in accordance with the structure of the model of offering and

demand water. This structure was represented in the causal diagram, which served of base to the elaboration of the diagram of supply and flow, by means of which was established the mathematical model that allowed to effect the numerical simulation. Tests for the validation of the model had been applied whose the gotten results allowed to verify that the model is conformed and it behaves in coherent form to the existing data in the reality, what changes it adequate for simulation. As horizon of planning for the present study, it was chosen a period of 65 years. Eight sceneries were examined that include future increases in the water demand and restrictions in the offer of this resource, with the objective of evaluating the sustentability of the offer of available water in the related basins. To evaluate the sustentability it was constructed an index that discloses if the system, under the assumptions incorporated in the related scenery, it meets or not, in happening of the period in study, in a situation of stresses. In the basin of *Entre Ribeiros Stream*, for instance, it has occurred the substitution of "savannah" (-47,65%) for "cultivation" (+198,09%) which reduces the interception of the rainy water, increases the superficial flowage and reduces the infiltration of the water in the soil, causing reduction of the medium and minimum outflow. Herein by the based modeling in principles of "Dynamic of the Systems" and with the use STELLA software, it was simulated possible effects of climatologic changes in the referred basin, considering, in one of proposed sceneries, increases of 1°C in the temperature and of 6,9% in the precipitation in the period 1995-2060. It was verified the tendency of a reduction of -18,70% in the "Direct Precipitation" and significant alterations in the evapotranspirometric taxes for "Grass" (+33,34%), "Cultivation" (+23,77%), "Savannah" (+8,54%) and "Forest" (-9,49%). In the basin of *Preto River*, for the period of 1995-2006, it was verified the tendency of reduction of -23,08% in the "Precipitation" in "Actual Agronomic trade" scenery. It has to be considered that in the eight (8) evaluated sceneries, the simulation pointed to the reduction of the direct precipitation in the basins: it was verified, in all the considered scenes, that the system would be unsustainable in the medium and long terms. The developed model in the present study allowed to increase the understanding in relation to the form of functioning of the water resources system of the basins *Entre Ribeiros stream* and *Preto river*, what converts it into a valuable computational instrument of assistance to the managements of the politics for the planning of the water resources - in the related basins, as well as in other hydrographic basins.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Os ecossistemas aquáticos e a história da água sobre o planeta Terra são multifacetados. Estão diretamente relacionadas ao crescimento da população humana, ao grau de urbanização e às atividades agropecuárias. Em face à complexidade dos usos múltiplos da água pelo homem, que aumentou e produziu enorme conjunto de degradação, são estes que mais sofrem com a poluição ambiental. Por essas questões, têm-se verificado a perda de qualidade e disponibilidade de água, inclusive, inúmeros problemas de escassez em muitas regiões e países (TUNDISI, 2003; SOUZA, 2004).

Tal fato é ainda mais preocupante quando se analisa a distribuição de água em nosso planeta: verifica-se que 97,50% da disponibilidade mundial estão nos oceanos, ou seja, água imprópria para o consumo humano, a não ser que seja realizado um processo de dessalinização, o que requer investimento elevado. Do restante, 2,493% encontra-se em regiões polares ou subterrâneas (aqüíferos), de difícil aproveitamento; e apenas 0,007% da água disponível são próprias para o consumo humano, encontrando-se nos rios, nos lagos e nos pântanos (REBOUÇAS *et al.*, 1999).

Dada a sua importância para a manutenção e desenvolvimento de todas as formas de vida, os recursos hídricos não podem se desassociar da conservação ambiental, já que na essência, envolve a sustentabilidade do homem ao meio natural, proporcionando os mais variados serviços, tais como: a) recreação; b) turismo; c) transporte e navegação; d) reserva de água doce (em bacias hidrográficas e em geleiras); e) controle de enchentes; f) deposição de nutrientes nas várzeas; g) purificação natural de detritos; h) habitat para diversidade biológica; i) moderação e estabilização de microclimas urbanos e rurais; j) moderação do clima; k) balanço de nutrientes e efeitos tampão em rios; l) saúde mental e estética; m) geração de energia elétrica; n) irrigação; o) aqüicultura e piscicultura; p) abastecimento doméstico e industrial (SILVA, 2002; TUNDISI, 2003).

Portanto, a conservação desses ecossistemas estará influenciando diretamente na melhoria da qualidade de vida, humana e ambiental, favorecendo o aumento da diversidade e a redução de problemas relacionados à saúde. Embora a poluição pontual das águas, como aquelas resultantes da falta de saneamento básico sejam relevantes, ela atua em conjunto com a poluição difusa, que remete ao problema da contaminação hídrica por agroquímicos e metais pesados, particularmente nas áreas mais exploradas, como os estados da região Sul e Sudeste.

Percebe-se, nos dias atuais, que a maioria das relações entre o uso do solo e recursos hídricos tem sido marcada pelo insucesso, com prejuízos significativos para o meio ambiente, transformando-se em perdas para toda coletividade. A degradação dos ecossistemas aquáticos, em particular, os rios, tem sido um dos preços pagos pelo desenvolvimento urbano e rural descomprometido com o ambiente (MACHADO, 1998). Desta forma, o mau uso do solo têm sido um dos principais fatores agravantes da aceleração de processos erosivos. Como resultado, ocorre a perda de fertilidade dos solos agricultáveis, a poluição de corpos hídricos, o assoreamento de barragens, o aumento das freqüências de vazões de enchente e o aumento dos custos de tratamento de água, dentre outros, fato que, também, vem acontecendo na bacia do rio São Francisco.

Tal rio, de extrema importância para a economia nacional, possui uma demanda total de água de $224 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo o principal consumidor a atividade de irrigação, responsável por 71,40% dessa demanda. O rio Paracatu, situado no Médio São Francisco e seu maior afluente, contribuiu com cerca de 40% da vazão desse rio na sua seção de deságüe. A irrigação apresentou expressivo crescimento nessa bacia, principalmente após os incentivos advindos de programas governamentais iniciados na década de 1970, como o Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (PLANOROESTE). Como consequência da grande expansão da agricultura irrigada, sérios conflitos têm surgido em várias partes da bacia, principalmente nas sub-bacias do rio Preto e do ribeirão Entre Ribeiros (RODRIGUEZ, 2004). Tais bacias hidrográficas serão os objetos desse estudo.

Drenam uma área de aproximadamente 14.149 km^2 , dos quais 74,87% (10.621 km^2) encontram-se no Estado de Minas Gerais, 15,71% (2.212 km^2) no Estado de Goiás e 9,42% (1.316 km^2) no Distrito Federal. Um de seus maiores problemas está relacionado com a intensificação das atividades agropecuárias, que promovem drásticas mudanças na cobertura do solo; ou na intensificação das atividades de irrigação sem nenhum critério de gestão, cuja participação no consumo de água se elevou de 78% para 93% do total da vazão consumida, no período 1970-2000 (LATUF, 2007).

MANTOVANI *et al.* (2003) discutem as questões relativas à irrigação de forma objetiva. Comentam que apesar da significativa evolução dos equipamentos, tem havido negligência com o manejo da irrigação. Os autores afirmam que para evitar aplicação em excesso (mais comum) ou em déficit, a melhor distribuição da água necessita de um eficiente programa de manejo, ou seja, de “Gestão”.

Contudo, tal gestão deverá ser estratégica - sistêmica, preditiva e adaptativa, com igual ênfase em medidas estruturais e não-estruturais. A nova gestão das águas deverá ser aperfeiçoada com os instrumentos legais disponíveis e o conjunto de ações para proteção, recuperação e conservação de águas superficiais e subterrâneas, que incluem instrumentos legislativos e sistemas de taxaço e incentivos adequados.

1.2. O problema e sua importância

A humanidade enfrenta problemas de degradação ambiental que remontam no tempo. O meio ambiente que sempre desempenhou sua função depuradora com eficiência, encontra-se hoje excessivamente sobrecarregado pelas atividades antrópicas: sofre o risco de exaustão dos seus recursos, não conseguindo em determinadas situações, recuperar-se por si só, necessitando o auxílio do homem. Porém, considerando os modelos de produção e desenvolvimento que priorizam a maximização econômica em detrimento à conservação ambiental, a busca de melhores soluções que as atuais parecem estar distantes de ser encontrada (SOUZA, 2004).

Como agravante, há que se considerar o crescimento populacional desordenado e o desenvolvimento econômico, associados à intensificação das atividades de caráter poluidor, que vem provocando o comprometimento do uso dos recursos naturais, particularmente a água. Uma série de impactos ambientais tem mostrado a ocorrência de problemas relacionados à falta de água, seja em quantidade ou qualidade, que podem vir a comprometer a sobrevivência dos ecossistemas e do homem em nosso planeta (SELBORNE, 2001).

A limitada reserva de água doce disponíveis seria suficiente para satisfazer a demanda global caso a ocupação demográfica do globo e a distribuição geográfica de água fosse mais uniforme (Figura 1). Estas disparidades causam uma pressão sobre os recursos hídricos se agravando à medida que o nível de vida da população aumenta. Já são verificadas grandes disparidades nos consumos médios *per capita*, os quais oscilam entre 30 L hab⁻¹ dia⁻¹ em alguns países africanos a 600L hab⁻¹ dia⁻¹ nos Estados Unidos (CUNHA, 2003).



FIGURA 1 - Distribuição de água no mundo. Fonte: TUNDISI (2003).

No Quadro 1 pode-se observar a drenagem de águas pluviais e a sua distribuição, influenciadas por interferências humanas que alteraram o ciclo da água em diversas regiões e países, identificando alterações que afetam a sua disponibilidade.

QUADRO 1 - Drenagem pluvial anual *per capita* de países selecionados em 1983, projeções para 2000 e alterações

País	1983 (1.000m ³)	2000 (1.000 m ³)	Alterações (%)
Suécia	23,4	24,3	+4
Noruega	91,7	91,7	0
Japão	3,3	3,1	-6
União Soviética	16,0	14,1	-12
Estados Unidos	10,0	8,8	-12
China	2,8	2,3	-18
Índia	2,1	1,6	-24
Brasil	43,2	30,2	-30
Nigéria	3,1	1,8	-42
Quênia	2,0	1,0	-50

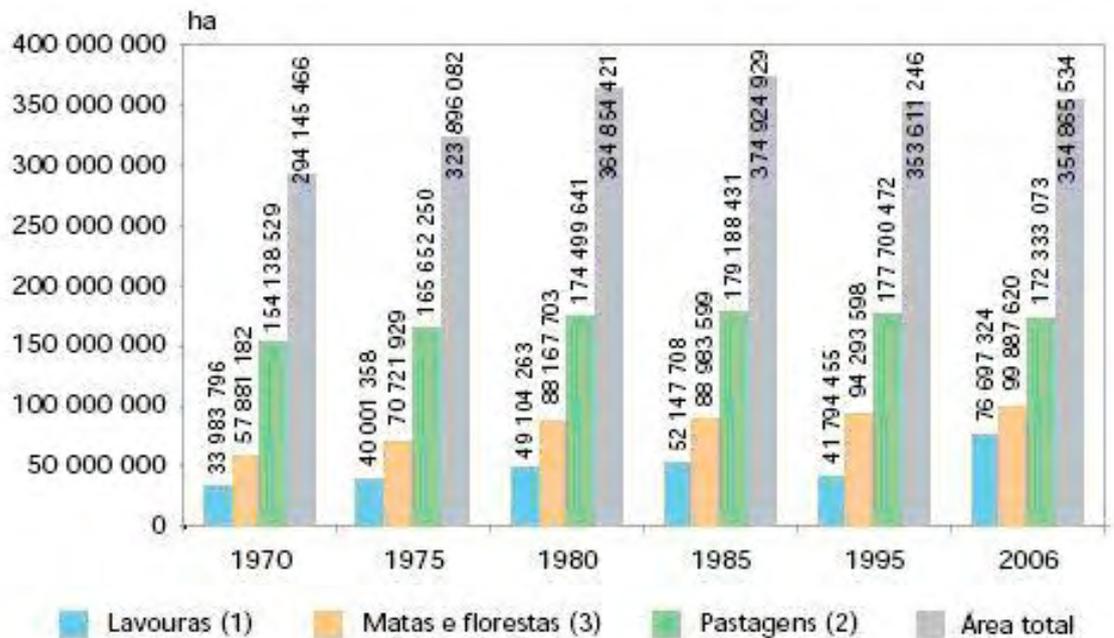
Fonte: Modificado de POSTEL (1997).

A origem dessas reduções, entre outros, deve-se ao fato de que as propriedades e as diversas comunidades, rurais e urbanas, não estarem aproveitando efetivamente os seus recursos naturais. Tem sido promovida, em uma velocidade jamais vista, a substituição de sua cobertura vegetal decorrente da mudança de uso do solo, alterando, entre outros, o regime hidrológico. Estas mudanças incluem os procedimentos de irrigação, a transformação dos produtos agropecuários, da matéria-prima agroflorestal, e da administração de seus resíduos gerados durante os processos produtivos, urbanos e rurais (HAWKEN *et al.*, 1999).

Como conseqüência da retirada da vegetação original, as terras tornam-se menos produtivas, sendo direcionadas inicialmente à pecuária com a introdução de pastagens sem a devida utilização de práticas conservacionistas e de manejo. Com o

excesso de pastoreio, acima da capacidade de suporte, ocorre, entre outros, a compactação do solo. Dessa forma, a produtividade decresce a tal ponto de inviabilizar o funcionamento do sistema, causando a sua degradação. O maior problema resultante desse procedimento é a sua contínua repetição, impactando locais diversos, reduzindo a biodiversidade, afetando drasticamente a qualidade, a quantidade e a distribuição dos recursos hídricos, com reflexos nos dias atuais.

Observa-se na Figura 2 a distribuição das terras no Brasil no período 1970-2006. Verifica-se que a maior utilização ainda é para pastagem, que em sua maioria se encontram degradadas. As áreas de florestas estão aumentando em função da nova legislação ambiental e aumento de florestas plantadas. As áreas destinadas às lavouras também aumentaram significativamente.



(1) Lavouras permanentes, temporárias e cultivo de flores, inclusive hidroponia e plasticultura, viveiros de mudas, estufas de plantas e casas de vegetação e forrageiras para corte. (2) Pastagens naturais, plantadas (degradadas e em boas condições). (3) Matas e, ou, florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, matas e, ou, florestas naturais, florestas com essências florestais e áreas florestais também usadas para lavouras e pastoreio de animais.

FIGURA 2 - Utilização das terras do Brasil no período 1970-2006. Fonte: IBGE (Censo Agropecuário 1970-2006).

Na bacia do rio Paracatu as concentrações elevadas de fosfato total observadas no período chuvoso podem estar relacionadas principalmente com a fertilização de seus solos, predominantemente latossolos - apresentam baixa fertilidade e acidez elevada, necessitando aplicações de corretivos como calcário e fertilizantes para atingirem produtividade satisfatória. Além disso, grandes áreas de vegetação natural da bacia do rio Paracatu foram desmatadas dando lugar ao reflorestamento de eucalipto, o que exige também a correção do solo com consumo de

fertilizantes. A Figura 3 ilustra uma extensa área de plantação de eucalipto na bacia do rio Preto, onde foi observada uma das maiores ocorrências de fosfato total no período chuvoso (IGAM, 2005).



FIGURA 3 - Grandes extensões de monocultura de eucalipto na bacia do rio Preto. Fonte: IGAM (2005).

Dados atuais comprovam que problemas de poluição não é apenas uma realidade brasileira, mas sim de âmbito mundial. Como consequência, estima-se, atualmente, que 120 mil km³ de água doce com potencial de utilização pelo homem se encontram contaminados; para 2050, espera-se uma contaminação de 180 mil km³, caso persista a poluição nos níveis atuais. O problema se agrava quando ocorre contaminação das águas subterrâneas, composta por várias substâncias ou elementos, dificultando seriamente a sua recuperação (UNESCO, 2003).

Estima-se que mais de um bilhão de pessoas têm problemas de acesso à água potável e 2,4 bilhões não têm acesso ao saneamento básico, aumentando os riscos de contaminação, tanto das águas de superfície, como das subterrâneas. Em função dessa realidade, a diversidade global dos ecossistemas aquáticos vem sendo significativamente reduzida. Mais de 20% de todas as espécies de água doce, da flora e da fauna, estão ameaçadas ou em perigo, devido, principalmente, ao desmatamento, com vistas à abertura de novas fronteiras agropecuárias, construção de barragens, irrigação e urbanização, causando diminuição do volume de água e danos por poluição e contaminação (*ibidem*).

Essa é uma realidade na bacia do rio São Francisco e de seus afluentes. Em estudo realizado no âmbito do Projeto Marca D'água (JOHNSON e LOPES, 2003) foi evidenciada a preocupação dos técnicos que trabalham com recursos hídricos na bacia do rio Paracatu em relação às questões pertinentes à gestão dos recursos hídricos,

tanto em termos da disponibilização de um cadastro atualizado do potencial hídrico da região (com as demandas e captações) quanto, principalmente, em relação à definição de novos parâmetros e metodologias para a concessão da outorga. Segundo esses mesmos autores, para esses técnicos, o critério adotado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (30% da $Q_{7,10}$ - vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos) não representa, com exatidão, o potencial hídrico da região, pois é baseado em um trabalho de regionalização de vazões realizado no Estado de Minas Gerais como um todo. Esses técnicos entendem que o padrão adotado pelo IGAM é muito restritivo e acreditam que isso deve ser rediscutido com base em um trabalho mais específico da bacia do rio Paracatu. Contudo, foi verificado nesse trabalho, que o IGAM deveria ser ainda mais restritivo nas bacias estudadas.

Por esse motivo, percebem-se necessárias mudanças nos modelos vigentes de produção e gestão, adotando medidas, tais como: a) Realização de Estudos de Avaliação Ambiental Integrada para realizar o planejamento ambiental regional, considerando-se o Zoneamento Ecológico-econômico; b) promover a recuperação ambiental; c) estimular a pesquisa de tecnologias apropriadas que poupem e conservem os recursos naturais; d) concessão do licenciamento ambiental condicionando-o à adoção de manejo adequado e da implantação de sistemas de gestão ambiental; e) efetividade no monitoramento e na fiscalização pelos órgãos responsáveis; f) manejo adequado e uso de sistemas de irrigação que poupem o uso da água; e g) políticas públicas voltadas nessa direção e com a necessária determinação exigida nesse momento, entretanto, científica e filosoficamente fundamentada. Dessa forma, poderá haver uma melhor distribuição dos benefícios do desenvolvimento, reduzindo drasticamente os impactos ambientais.

Assim, esse trabalho propôs desenvolver um modelo de oferta e demanda do uso da água baseado em princípios de “Dinâmica de Sistemas”, com o auxílio do *software* Stella 9.0. Por intermédio de uma análise sistêmica dos recursos foram determinadas as principais variáveis e suas inter-relações, que serão empregados para identificar as soluções mais adequadas aos requerimentos de conservação do solo e da água, relativos ao “Desenvolvimento Sustentável” local, aos aspectos ambientais e às necessidades ecológicas e sócio-econômicas e políticas das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

Constitui uma ferramenta de auxílio à definição de políticas públicas de planejamento e predição para estimar futuras demandas e ofertas de recursos hídricos. Quebrará a tendência de isolamento das questões ambientais em seu local de ocorrência, cujo procedimento limita a percepção e a compreensão dos desdobramentos do problema, favorecendo ações pontuais e ineficazes na tentativa de solucioná-los.

2. OBJETIVOS

Tendo em vista o complexo quadro de conflitos pelo uso da água existente na bacia do rio São Francisco, do rio Paracatu e de seus afluentes, o presente trabalho teve como objetivos gerais e específicos:

2.1. Objetivos gerais

- Desenvolver um modelo de oferta e demanda do uso da água para as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu, baseado em princípios de dinâmica de sistemas, com o auxílio do *software* STELLA 9.0, visando contribuir na identificação de soluções adequadas aos requerimentos de conservação do solo e da água, aos aspectos ambientais e às necessidades ecológicas, sócio-econômicas e políticas dessa região.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a influência das principais atividades que vêm promovendo mudanças nas classes de uso do solo sobre as modificações do regime de vazões dos recursos hídricos;
- Desenvolver um processo de modelagem de Dinâmica de Sistemas aplicado aos recursos hídricos, por meio da obtenção de modelos mentais e da construção de círculos de causalidade, de estoques e fluxos;
- Elaborar e validar um modelo matemático representativo da oferta e demanda de água na área de estudo;
- Simular o comportamento do sistema hídrico sob diferentes cenários de oferta e demanda;
- Analisar por intermédio das variáveis “Precipitação direta” na bacia e “Evapotranspiração” a influência das alterações do uso do solo sobre o comportamento hidrológico do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto no período 1995-2060; e
- Calcular o Índice de Sustentabilidade de cenários selecionados para verificar a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas em estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É sabido que a humanidade vem enfrentando problemas de degradação ambiental que remontam no tempo. Entretanto, tem-se verificado a partir da década de 1960, em função dos modos de produção, de crescimento e de desenvolvimento estabelecidos, que os recursos naturais, particularmente a água, vem se tornando um fator cada vez mais crítico para o desenvolvimento econômico e social de longo prazo, bem como para a sustentabilidade ambiental. Enormes parcelas dos povos de muitos países não têm acesso à água limpa e a água contaminada tem sido a responsável por milhões de mortes que poderiam ser evitadas.

Há algumas décadas recentemente passadas, o meio ambiente era capaz de desempenhar sua função autodepuradora com eficiência. Contudo, nos dias atuais, encontra-se excessivamente sobrecarregado pelas atividades antrópicas. Percebe-se, assim, que o mundo poderá experimentar uma escassez de recursos hídricos sem precedentes em um futuro próximo, a menos que os padrões de desenvolvimento comecem a ser alterados e o ser humano modifique o seu comportamento no que se refere ao uso e ao consumo desse recurso natural.

No Brasil, as causas das altas taxas de desmatamento, fator que influenciará diretamente na redução da biodiversidade e na qualidade e quantidade dos ecossistemas aquáticos, incluem forças e processos externos, tais como a expansão das plantações comerciais e fazendas-agropecuárias. Além disso, a exploração de essências florestais de alto valor comercial para atender, principalmente, ao mercado externo, é fator agravante dos desmatamentos no Brasil.

Na área rural, a atividade agropecuária mal conduzida tem levado às situações desastrosas de erosão do solo. A sua camada superficial, que é a mais fértil, é arrastada pelas chuvas, deixando ravinas e voçorocas nas fazendas, empobrecendo o solo e assoreando mananciais, além de levar para as águas dos rios e represas resíduos de agroquímicos. Esta remoção de terra fértil representa milhões de reais

que o país perde anualmente, exigindo aplicações cada vez maiores de fertilizantes nas áreas erodidas para que se possa manter a produtividade agropecuária e florestal.

O mau uso do solo agrícola inclui situações tais como: o plantio "morro abaixo", em vez do plantio em curvas de nível; a aração ou gradagem excessiva ou em condições inadequadas de umidade e tipo de solo; a alta taxa de lotação nas pastagens e falta de manutenção e, ou, renovação das mesmas; plantio em áreas declivosas sem aptidão agrícola para culturas anuais. Assim, o conhecimento de tais impactos para que se evite a sua repetição futura, bem como para a recuperação dessas áreas degradadas pelo uso inadequado, tanto na área rural como urbana, assume uma enorme importância do ponto de vista ecológico, econômico, agrícola e social.

Relacionados aos ecossistemas aquáticos e à história da água no planeta Terra, sabe-se que as visões sobre esse recurso são multifacetadas. Estão diretamente relacionadas ao crescimento da população humana e ao grau de urbanização. Em face à complexidade dos usos múltiplos da água pelo homem, têm-se verificado a perda de qualidade e disponibilidade de água, inclusive, inúmeros problemas de escassez em muitas regiões e países.

Assim, a crise de abastecimento de água pode ser considerada um fator crítico na atualidade. Essa questão sempre foi vista como um problema dos países mais pobres ou daqueles situados em regiões áridas ou semi-áridas. Contudo, começa a atingir algumas das mais ricas nações do mundo. Em recente relatório da Organização não-governamental WWF Internacional - denominado "Países Ricos, Pobre Água" - é uma das primeiras visões panorâmicas das questões de água doce no mundo desenvolvido (WWF, 2008).

O relatório mostra que a combinação de mudanças climáticas, secas e perda de áreas úmidas, ao lado de infra-estruturas inadequadas para a água e a má gestão dos recursos hídricos, estão "globalizando" a crise. O texto destaca os impactos dos problemas relacionados à água em países como Austrália, Espanha, partes do Reino Unido, Estados Unidos e Japão. Comenta que na Europa, os países do Atlântico estão sofrendo secas recorrentes, enquanto no Mediterrâneo o turismo de uso intensivo de água e a agricultura irrigada estão pondo em perigo os recursos hídricos. Na Austrália, o país mais seco do mundo, a salinidade das águas do subsolo é uma ameaça para grande parte das áreas agrícolas mais importantes do País. Apesar de ter um regime de chuvas intenso, o Japão sofre com um grave problema de contaminação dos mananciais em diversas áreas. Esta situação tende a se agravar, na medida em que o aquecimento global reduz as chuvas, aumenta a evaporação e muda os padrões de derretimento da neve.

A instabilidade climática, com conseqüências diretas na distribuição das chuvas, associada a uma constante redução dos recursos naturais, tem levado a grande maioria dos produtores, mesmo de regiões onde os níveis de precipitação são elevados e com distribuição uniforme, a adotarem a irrigação como tecnologia indispensável ao sistema produtivo das culturas. A escolha do sistema de irrigação tem sido um dos grandes problemas do produtor, dada à variedade de sistemas existentes no mercado e dado a necessidade de se maximizar a produtividade da cultura. De modo geral, sob o ponto de vista dos problemas relacionados à irrigação, trata-se da ausência de um plano de manejo, infelizmente, ainda pouco praticado pela maioria dos irrigantes.

É uma tarefa para o grupo de países em rápido desenvolvimento econômico terem a oportunidade de não repetir os erros do passado e evitar os custos de recuperação de ecossistemas degradados. Entretanto, lamentavelmente, parece que, em geral, estas nações já foram seduzidas por infra-estruturas de grande porte, tais como barragens, transposições de águas entre bacias, megaprojetos de irrigação, sem adequadamente considerar se tais projetos irão de fato suprir as necessidades ou impingir custos humanos e naturais. Os problemas de água afetando tanto países ricos como pobres são um alerta para que se volte a proteger a natureza como fonte de recursos hídricos.

Esse fato pode ser explicado pelos modelos de desenvolvimento agropecuário e urbano-industrial implementado nas últimas décadas. A provável origem desses problemas se deve ao imediatismo nas fases de elaboração e implantação dos diversos empreendimentos e atividades, com displicência, ou mesmo ausência, de planejamento ambiental, não considerando, por exemplo, as questões relativas à predição. Há também que se considerar, que apesar do ressurgimento do tema da escassez e dos limites ecológicos no final do século XX, o fato é que a maior parte do pensamento social e econômico contemporâneo, especialmente no debate sobre o desenvolvimento, continua a adotar o enfoque flutuante que dominou os séculos de exuberância da civilização urbano-industrial (séculos XVI-XX).

Os principais mapas políticos que organizam os programas partidários em todo o mundo, especialmente nas regiões de influência mais direta da cultura de origem européia, adquiriram sua forma e substância básica neste contexto histórico, tendo seus fundamentos teóricos calcados na visão do crescimento ilimitado. O novo paradigma do mundo moderno foi acompanhado de um amplo conjunto de transformações, que não se limitou ao aspecto cultural. A economia capitalista se revelou capaz de promover em alguns países um aumento crescente da produção, gerando um consumo de massas inédito na história da humanidade.

É verdade que boa parte deste consumo de massas não surgiu por meio do funcionamento espontâneo da economia capitalista. Os principais mapas políticos que organizam os programas partidários, em todo o mundo, tiveram seus fundamentos teóricos calcados na visão do crescimento ilimitado. O novo paradigma do mundo moderno foi acompanhado de um amplo conjunto de transformações, que não se limitou ao aspecto cultural. A economia capitalista se revelou capaz de promover em alguns países um aumento crescente da produção, gerando um consumo de massas inédito na história da humanidade.

A configuração deste campo de alto consumo, que está restrito, bem entendido, ao universo minoritário dos países capitalistas avançados e das elites sociais dos demais países, gerou um dilema ecológico e político fundamental. Considere a famosa frase de Keynes (criador da Macroeconomia e um dos mais influentes economistas do século XX; suas idéias intervencionistas se chocaram com as doutrinas econômicas vigentes em sua época e estimularam a adoção de políticas intervencionistas sobre o funcionamento da economia): "Em longo prazo estaremos todos mortos!". Esta frase se tornou um mantra entre os operadores de "commodities" e derivativos nos mercados de capitais. Durante anos se foram treinados para que os negócios apresentassem resultados de curtíssimo prazo, já que, no longo prazo, estar-se-iam todos mortos. Agora se projetem esta frase no imaginário dos jovens pesquisadores, corretores e investidores para operações que envolvem 40, 60 e até mesmo 200 anos? Mitigar a poluição não acontece de imediato, posto que o meio ambiente possui uma dialética diferenciada. No entanto, esta lógica não compartilha com a matemática de um sistema que convencionou comprar e vender em uma velocidade jamais vista. O mundo das finanças gira um volume incalculável de recursos não produtivos, ou seja, recursos meramente especulativos.

No Brasil, o modelo urbano-industrial e agropecuário, infelizmente, tem adotado tal lógica e comportamento. O mesmo tem posto em risco a quantidade e a qualidade do capital natural, particularmente dos recursos edáficos e, conseqüentemente, dadas as suas inter-relações, dos ecossistemas aquáticos, nas bacias hidrográficas do **ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto**, afluentes do rio Paracatu, que drenam uma área de aproximadamente 14.149 km². Nesse local, tem ocorrido a intensificação de atividades silviculturais, que substituem a vegetação nativa, como também a intensificação da agricultura irrigada, cuja participação no consumo de água se elevou de 78% para 93% do total da vazão consumida no período 1970-2000.

A partir da ECO – 92, encontro que reuniu milhares de cientistas e pesquisadores de todo o mundo no Rio de Janeiro, surge o conceito de Desenvolvimento Sustentável: modelo que sugere a consideração dos aspectos ambientais, econômicos e sociais na implantação de um determinado projeto. Pode-se

afirmar que a idéia de se buscar esse modelo, revela, inicialmente, a crescente insatisfação com a situação criada e imposta pelos atuais modelos vigentes de desenvolvimento e de produção advindos das atividades antrópicas.

Na elaboração da Agenda 21 Brasileira, foi considerada fundamental que se promovam alterações nos modos de produção, necessitando, para isso, de uma definição nas políticas públicas que considerem o planejamento de médio e longo prazo. A Organização das Nações Unidas (ONU) elegeu 2008 como "O Ano do Planeta", o que representa, mundialmente, um marco histórico importantíssimo para um direcionamento enérgico das ações humanas em favor da preservação ambiental, da conservação dos recursos naturais e da qualidade de vida.

Por este motivo, os países, as grandes organizações, as instituições financeiras mundiais, os pesquisadores, os técnicos, os produtores, enfim, todos aqueles envolvidos com os sistemas produtivos - tratar-se-á, nesse documento, dos agropecuários, defrontam-se nos dias atuais com dois dos mais importantes desafios para a humanidade: a) usar de maneira eficiente os recursos na produção de alimentos - existe uma crescente consciência que o aumento da produção de alimentos deve estar associado a uma preocupação constante com o uso racional dos recursos tais como solo, água, energia e agroquímicos; e b) atender a tal demanda de forma sustentável, ou seja, aumentar a produtividade, preocupando-se com a conservação dos recursos naturais. Portanto, os governos devem direcionar o estudo de políticas públicas no sentido de buscar soluções para ricos e pobres, que inclui, entre outros, saneamento ambiental, reparar infra-estruturas antigas, reduzir agentes contaminantes, mudar práticas de irrigação. Impõe-se a necessidade de esforço conjunto para: a) aumentar a capacidade de predição e prognóstico, por meio da integração contínua da ciência interdisciplinar; e b) praticar o planejamento e gerenciamento na área de recursos hídricos.

Assim, cabe à Pesquisa Agropecuária o papel de viabilizar e tornar factíveis soluções para este quadro. Esse tipo de pesquisa deve visualizar não apenas o aumento da produtividade ou da eficiência econômica, mas também deve dar ênfase total a sustentabilidade. Porém, considerando os atuais modelos de produção e desenvolvimento que priorizam a maximização econômica em detrimento à conservação ambiental, a solução definitiva dessas questões parece estar distante de ser encontrada.

A presente Revisão Bibliográfica será dividida em seis seções. Cada uma delas servirá para subsidiar as discussões que atendam aos objetivos específicos do presente trabalho, que se propõe a desenvolver um modelo de oferta e demanda do uso da água baseado em princípios de "Dinâmica de Sistemas", que poderá ser

empregado para identificar as soluções mais adequadas ao Desenvolvimento Sustentável local.

A seção I faz uma análise da origem dos processos de degradação ambiental e quais os fatores de desequilíbrio que mais influenciaram para a aceleração deste quadro. Aponta a necessidade dos conhecimentos sobre Ecologia, caracteriza o capital natural e apresenta alguns conceitos sobre ecologia vegetal. Identifica, a partir daí, as funções ambientais de ordem econômica e a ruptura do equilíbrio, gerando uma série de impactos ambientais e externalidades. Também, identifica as principais atividades e os fatores de desequilíbrio que têm retroalimentado os processos de degradação ambiental.

A seção II identifica os impactos e externalidades das atividades agrícolas. Alguns serão destacados, tais como a erosão, a contaminação por agroquímicos, a invasão por espécies exóticas e os impactos da irrigação sobre a qualidade da água. Essa última questão levantada será de fundamental importância, dado o seu crescimento nas bacias em estudo, e pelo papel que desempenhada como a principal atividade injetora de recursos que vem estimulando o desenvolvimento regional.

A seção III expõe um dos temas de maior repercussão na atualidade: a origem, as causas e os prováveis impactos e externalidades negativas produzidas pelas mudanças climáticas. Considerando essa nova realidade, questiona sobre quais os novos rumos que deverão ser seguidos pelos setores produtivos e econômicos. Discute sobre as ações antrópicas capazes de produzir gases de efeito estufa, tais como desmatamento, queimadas e atividades urbano-industriais. Arrepanha o comportamento vegetal e a produção agrícola nesse novo cenário, bem como o comportamento dos ecossistemas aquáticos e as reações da comunidade internacional às mudanças climáticas.

A seção IV relaciona os caminhos necessários para se atingir o Desenvolvimento Sustentável, bem como as políticas que vêm sendo definidas para esse fim, com sugestões para a sua implementação. Apontam perspectivas e procedimentos necessários para atingi-lo, a influência dos modelos de produção tradicional e convencional, e o modelo de administração empresarial. Discutem-se conceitos de Gestão Ambiental, que é uma política indutora de comportamento, tal como a educação e certificação ambiental - podem funcionar como ferramentas úteis à prevenção e ao policiamento da agressão e exploração de forma predatória imposta ao meio ambiente, evitando novos casos de degradação.

A seção V faz avaliações e comentários relativos à construção da área de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. Colocam em debate os principais avanços e retrocessos observados. Toma como ponto de partida, o marco histórico do nascimento da gestão de recursos hídricos no Brasil, além do surgimento dos primeiros passos para a construção do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Apresenta os principais instrumentos de gestão e, dessa forma, procura-se despertar a atenção para o multivariado campo de ação da gestão do uso da água, estimulando a refletir sobre os principais problemas que se apresentam àqueles profissionais atuantes nesse novo, dinâmico e complexo campo das políticas públicas.

A seção VI, que finaliza a revisão bibliográfica, tem por objetivo apresentar conceitos relativos à “Dinâmica de Sistemas”. É antes de tudo uma nova linguagem que permite expressar mais adequadamente as cadeias de eventos circulares existentes na natureza, analisando-os de forma integrada. A base dessa nova ciência se assenta nos conceitos do pensamento sistêmico, onde o princípio da interdependência demanda que mudanças em qualquer um dos componentes de um determinado sistema, direta ou indiretamente, estão associadas ou afetarão os demais componentes.

Consciente da realidade atual será mostrado que o principal objetivo das pesquisas deverá estar direcionado aos princípios sugeridos e contidos na expressão “Desenvolvimento Sustentável”. Verifica-se que requererá mudanças fundamentais na percepção cultural, onde exista a consciência de que o meio ambiente não está limitado aos ecossistemas biofísicos, mas incluem uma rede de interações entre a consciência humana, os sistemas sociais e o meio natural, formando um centro integrado, sendo necessário, portanto, uma visão holística e sistêmica para compreendê-lo.

Faz-se necessário uma análise mais profunda do comportamento hidrológico decorrente de mudanças nas condições de usos do solo ou modificações destes. Será de grande importância para a gestão de recursos hídricos, sobretudo para a determinação de disponibilidades hídricas atuais e futuras.

Atualmente, os principais problemas resultantes do uso dos recursos hídricos estão relacionados: a) ao assoreamento; b) à eutrofização; c) ao aumento da toxicidade das águas superficiais e subterrâneas; e d) às alterações no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água, agravando os problemas dos pontos de vista qualitativos e quantitativos.

3.1. OS ECOSSISTEMAS E O FATOR ANTRÓPICO

Atualmente muito se fala em Desenvolvimento Sustentável. Contudo, para alcançá-lo, faz-se necessário que sejam criadas tecnologias apropriadas e pessoas competentes para gerenciá-las: as comunidades têm cobrado, e as atividades comerciais e industriais mundiais e brasileiras estão, parcialmente, conscientes da necessidade de adotarem práticas de gestão ambiental e pretendem ampliar seus investimentos destinados à proteção do meio ambiente.

Isto se deve principalmente às profundas transformações do modelo econômico decorrentes da reestruturação produtiva, da integração mundial dos mercados financeiros, da internacionalização das economias, da desregulamentação e abertura dos mercados, com a quebra de barreiras protecionistas, em suas causas e conseqüências político-sociais. Tais mudanças vêm atingindo, de forma acelerada e diferenciada, sobretudo na última década do século passado e nos primeiros oito anos desse século XXI, amplos setores da população trabalhadora e os donos de empresas/indústrias, urbano-rural.

Essas mudanças, em grau e extensão diferentes entre países e no interior dos mesmos, geram permanentes incertezas, novas tensões, aprofundamento das desigualdades sociais e da exclusão social. Isso se deve principalmente à alta competitividade e a evolução tecnológica (nem sempre apropriadas), associadas às exigências das leis ambientais (crescentes e agindo com maior rigor), que com maciço apoio popular imprimiram uma velocidade muito mais acelerada ao mercado, afetando significativamente as empresas, em todos os setores da economia.

3.1.1. Introdução

A perturbação e a degradação do solo e da água, resultantes das atividades antrópicas, ocorrem desde tempos remotos, sendo que as causas que produziram tais distúrbios foram as mais variadas. Nos dias atuais, a demanda cada vez mais acentuada por terras férteis, planas e agricultáveis, tem reduzido de forma acentuada as formações vegetais, pressionando drasticamente os recursos naturais. A expansão demográfica atingiu grandes proporções nestas últimas décadas, preocupando em termos de produção de alimentos que garantam a segurança alimentar.

De acordo com o relatório "Previsões sobre a População Mundial 2006", do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, a população mundial aumentará 37,3% até 2050, passando dos atuais 6,7 bilhões de pessoas para 9,2 bilhões (Quadro 2). Nas regiões industrializadas, a população com idades superiores há 60 anos, deverá aumentar dos atuais 20% para 33% da população. Nos

países em desenvolvimento, a faixa etária de 60 anos ou mais deverá quase duplicar. Segundo os peritos da ONU, a previsão do aumento total da população mundial para a metade do século (2,5 bilhões) equivale à população mundial como era em 1950. Este aumento será absorvido, na sua maioria, pelos países em desenvolvimento, que devem passar de 5,4 bilhões de habitantes em 2007 para 7,9 bilhões de habitantes em 2050 (ONU, 2006).

QUADRO 2 - Crescimento da população mundial

Ano	População (milhões de hab.)	Taxa de crescimento anual (%)
1650	500	Não disponível
1800	900	0,16
1850	1.200	0,53
1900	1.600	0,64
1950	2.500	0,89
1990	5.250	1,60
1999	5.947	1,00
2001	6.134	1,00
2006	6.712	1,23
2050	9.200*	-

* Projeção

Fonte: Banco Mundial (2000/2001); ONU (2001; 2006).

Assim, a maior parte do crescimento populacional e dos jovens do mundo deverá vir dos 50 países mais pobres, sendo que a previsões apontam para um crescimento dos atuais 800 milhões para 1,7 bilhões. Em contraste ao crescimento nos países em vias de desenvolvimento, a população das regiões desenvolvidas deverá sofrer poucas alterações no período estudado. Para 2050 na Europa as previsões apontam para um decréscimo de cerca de 67 milhões, enquanto que a Índia passará em 2025 a ser o país mais populoso, condição atualmente pertencente à China (*ibidem*). Dessa forma, tem impressionado o tempo cada vez mais reduzido para acréscimo da população, como se pode observar no Quadro 3.

QUADRO 3 - Tempo necessário para acrescentar um bilhão à população mundial

Ordem (bilhão)	Tempo necessário (anos)	Ano em que atingiu
Primeiro	2.000.000	1830
Segundo	100	1930
Terceiro	30	1960
Quarto	15	1975
Quinto	11	1986
Sexto	9	1995*

* Projeção à época.

Fonte: Nações Unidas, *apud* BROWN (1990).

Considerando-se os ecossistemas aquáticos, como fator agravante, o fato deste aumento ter sido mais significativo nos países subdesenvolvidos. A situação pode tornar-se ainda mais drástica sob determinadas situações, como no Kuwait, por não possuir suprimento de água e apresentar acelerado crescimento populacional (Quadro 4).

QUADRO 4 - Países selecionados, suprimento de água, população e tempo necessário para a sua duplicação

Países	Suprimentos de águas renováveis (m ³ pessoa ⁻¹)	População (milhões)	Tempo de duplicação da população (anos)
Bélgica	840	10,0	347
Holanda	660	15,2	147
Singapura	210	2,8	51
Kuwait	0	1,4	23
Argélia	730	26,0	27
Ruanda	820	7,7	20
Quênia	560	26,2	19

Fonte: Modificado de POSTEL (1997).

Somados ao desproporcional crescimento, historicamente, o descuido do homem com os recursos naturais, como nas atividades agropecuárias. Primitivamente, e em alguns casos nos dias atuais, baseava-se no extrativismo predatório, com a derrubada de matas nativas e o uso do fogo para a implantação de atividades agrícolas (Figura 4). Posteriormente, quando se tornavam menos produtivas, eram direcionadas à pecuária com a introdução de pastagens sem a devida utilização de práticas conservacionistas e de manejo.



FIGURA 4 - Fogo como prática agropecuária. Fonte: COUTINHO *et al.* (2003).

O maior problema resultante desse procedimento era a sua contínua repetição, impactando locais diversos, reduzindo a biodiversidade, afetando drasticamente a

qualidade, a quantidade e a distribuição dos recursos hídricos, com reflexos nos dias atuais (Figura 5).

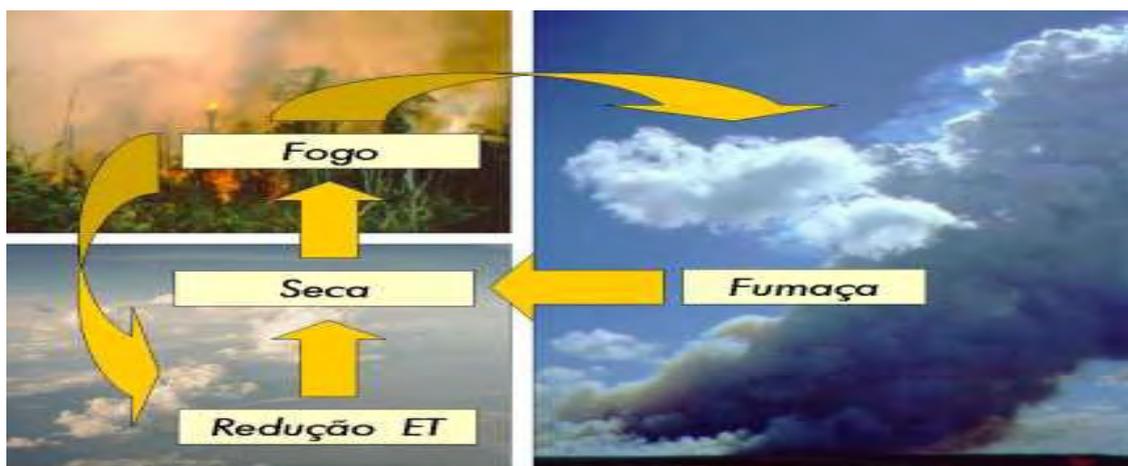


FIGURA 5 - Desmatamento: redução da evapotranspiração e efeitos sobre o ciclo hidrológico. Fonte: ASSAD e CUNHA, 2001.

Atualmente, a maioria das queimadas é provocada direta ou indiretamente pelo homem. Segundo COUTINHO *et al.* (2003), o fogo é um fator de reconhecida importância ecológica nos ecossistemas de Cerrado, sendo um fator que interfere em grande variedade de problemas ecológicos, desde a composição florística das comunidades, até o fluxo de energia nos ecossistemas a que elas pertencem. Afirma que o ciclo dos nutrientes minerais é influenciado pelas queimadas por que: a) aceleram a sua velocidade, remineralizando bruscamente a biomassa epigéia e depositando as cinzas resultantes na superfície do solo; ou b) favorecem a exportação de certos nutrientes para a atmosfera juntamente com a fumaça.

Em tempos passados, impactos relevantes ocorreram com a implantação de modelos de desenvolvimento acelerados, como no Cerrado brasileiro. Com a ajuda do governo, por intermédio do Conselho de Desenvolvimento da Pecuária (CONDEPE), a partir da década de 1960, os cerrados foram transformados numa imensa pastagem. Em 1995, por estimativa da EMBRAPA, dos potenciais 60 milhões de hectares (ha) de pastagens nos cerrados, 80% são consideradas áreas degradadas. Por esse motivo, a degradação do solo, com reflexo nos ecossistemas aquáticos, é um dos principais problemas ambientais atual desse importante bioma (SHIKI, 2003).

Uma das principais conseqüências nocivas da implantação desse modelo foi o desflorestamento, resultando na redução da biodiversidade. De acordo com o IBAMA (2003), o Brasil apresenta a maior diversidade do planeta, com aproximadamente 70% das espécies vegetais e animais. Entretanto, existem algumas regiões onde remanescentes da vegetação natural são mínimas ou inexistentes, interferindo no controle biológico espontâneo, em face da destruição de habitats naturais. Nesses locais, o manejo inadequado desta vegetação restante, tem provocado a extinção de espécies endêmicas da flora e da fauna. Também, vêm reduzindo ou mesmo levando

à escassez de matéria-prima para a produção de madeira e do carvão vegetal; eliminando espécies medicamentosas, frutíferas nativas e leguminosas com potencial forrageiro; além de outras espécies úteis dessas formações.

Em 2004, o Brasil consumiu 36 milhões de metros cúbicos de carvão (MDCs), 50% proveniente de matas nativas. Minas Gerais é o estado que mais consome devido ao seu grande parque siderúrgico. No ano de 2004, foram queimados 24,5 milhões de MDCs no estado (IBGE, 2005; IEF, 2006). Esse desmatamento descontrolado tem provocado a ocorrência de inúmeras áreas degradadas e até mesmo ecossistemas inteiros, principalmente em solos relativamente pobres, como pode ser observado na Figura 6.

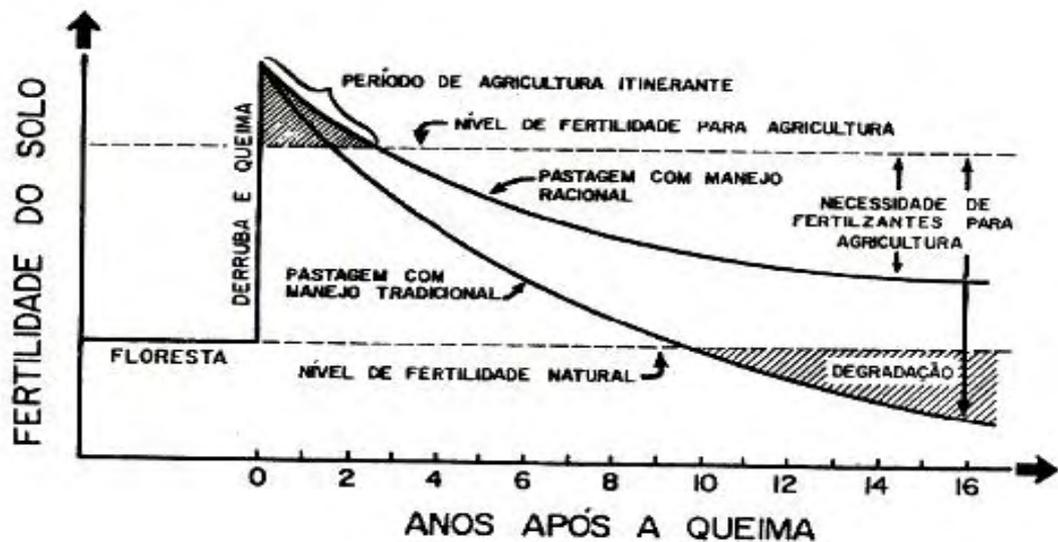


FIGURA 6 - Alterações da fertilidade de um solo, originalmente revestido de floresta, em consequência da derrubada-queima e posterior utilização com agricultura ou formação de pastagem. Fonte: LAMPRECHT (1990).

Entre os diversos problemas advindos da retirada da cobertura florestal, além da redução da biodiversidade, destacam-se (PERLIN, 1992): a) o esgotamento dos estoques de lenha (fonte primária de energia para 75% da população dos países em desenvolvimento); b) as inundações severas; c) a degradação acelerada do solo; d) a erosão e a desertificação gradativa; e e) a redução da produtividade primária da terra. Esses problemas tornam-se mais graves nos países subdesenvolvidos. Nas economias industrializadas, os problemas ambientais geralmente estão associados à poluição, cujas políticas ambientais são orientadas para a reversão desse quadro, evitando o agravamento da degradação. Com essas medidas, são restaurados os padrões de qualidade de água, ar e solo anterior à crise. Nos países subdesenvolvidos ou periféricos, a crise ambiental está diretamente associada ao esgotamento de sua base de recursos. Por esse motivo, as suas políticas deveriam dar prioridade à gestão racional dos recursos naturais.

Atualmente, sabe-se que fatores naturais, como as alterações climáticas, também tiveram e têm influência sobre a vegetação original. Mostram que a natureza apresenta-se em forma permanentemente evolutiva, promovendo a diversificação biológica, em que espécies são substituídas e a dominância alterada, num processo lento e espontâneo ao longo de centenas de anos. Assim, os organismos se adaptam ao ambiente físico e, por meio da sua ação conjunta nos ecossistemas, também adaptam o ambiente geoquímico de acordo com as suas necessidades biológicas. Dessa forma, fazem com que as comunidades de organismos e seus ambientes evoluam e desenvolva-se conjuntamente, tal como nos ecossistemas.

Porém, a intervenção antrópica, principalmente com o desenvolvimento tecnológico acelerado das últimas décadas, tem quebrado essa dinâmica natural das formações originais, suprimindo-as e criando em seus lugares paisagens altamente modificadas, numa forma não sincronizada para o homem com o ambiente. Geralmente, essas alterações são nocivas, reduzindo a resistência (capacidade de um sistema se manter frente a um distúrbio ou estresse) e a resiliência (potencial que o sistema tem de se regenerar ao sofrer um estresse ou distúrbio) dos ecossistemas (ODUM, 1988; RESENDE *et al.*, 1996).

Para compreender o funcionamento de um ecossistema é preciso conhecer e analisar todos os componentes que compõem o seu capital natural. Justifica-se porque os sistemas em seus diversos níveis de organização estão interligados e integrados: pelos fluxos de energia das cadeias alimentares, pelas taxas de produção, pela circulação dos nutrientes nos ciclos biogeoquímicos, pelos fatores limitantes e reguladores, entre outros.

3.1.2. O capital natural

Os recursos naturais, de acordo com BELLIA (1996), são “os elementos naturais bióticos e abióticos de que dispõe o homem para satisfazer suas necessidades econômicas, sociais e culturais”. Então, o capital natural compreende todos estes recursos usados pela humanidade, tais como o solo, a água, a flora, a fauna, os minérios e o ar.

HURTUBIA (1980) conceitua ecossistema como um sistema aberto integrado por todos os organismos vivos, inclusive o homem, e os elementos não vivos de um setor ambiental definido no tempo e no espaço. Possui propriedades globais de funcionamento (fluxo de energia e ciclagem da matéria) e auto-regulação (controle) derivam das relações entre todos os seus componentes, tanto pertencentes aos sistemas naturais, quanto aos criados ou modificados pelo Homem (Figura 7).

Há de se considerar que um ecossistema é uma unidade complexa com variedades e variações de formas de vida, populações e características; contudo, sofre mudanças temporais, não sendo estático e podendo, inclusive, alterar a composição de sua biodiversidade. Isso porque a sua produção da matéria orgânica está intimamente ligada ao fluxo de energia, ao balanço hídrico e à reciclagem dos elementos minerais (SOUZA, 2008).

De acordo com ALTIERI (1999), a biodiversidade se refere às espécies de plantas, animais e microrganismos existentes que interagem dentro de um ecossistema. Em um agroecossistema, a manutenção da biodiversidade natural ou o seu incremento, auxilia na preservação do banco de germoplasma de espécies nativas, na reciclagem de nutrientes, no controle do microclima local, na regulação de processos hidrológicos, no equilíbrio entre organismos desejáveis e indesejáveis, entre outros fatores. Como se observa na Figura 9, a biodiversidade de um agroecossistema relaciona diversos componentes e funções do sistema, ampliando as possibilidades do manejo sustentável da área.

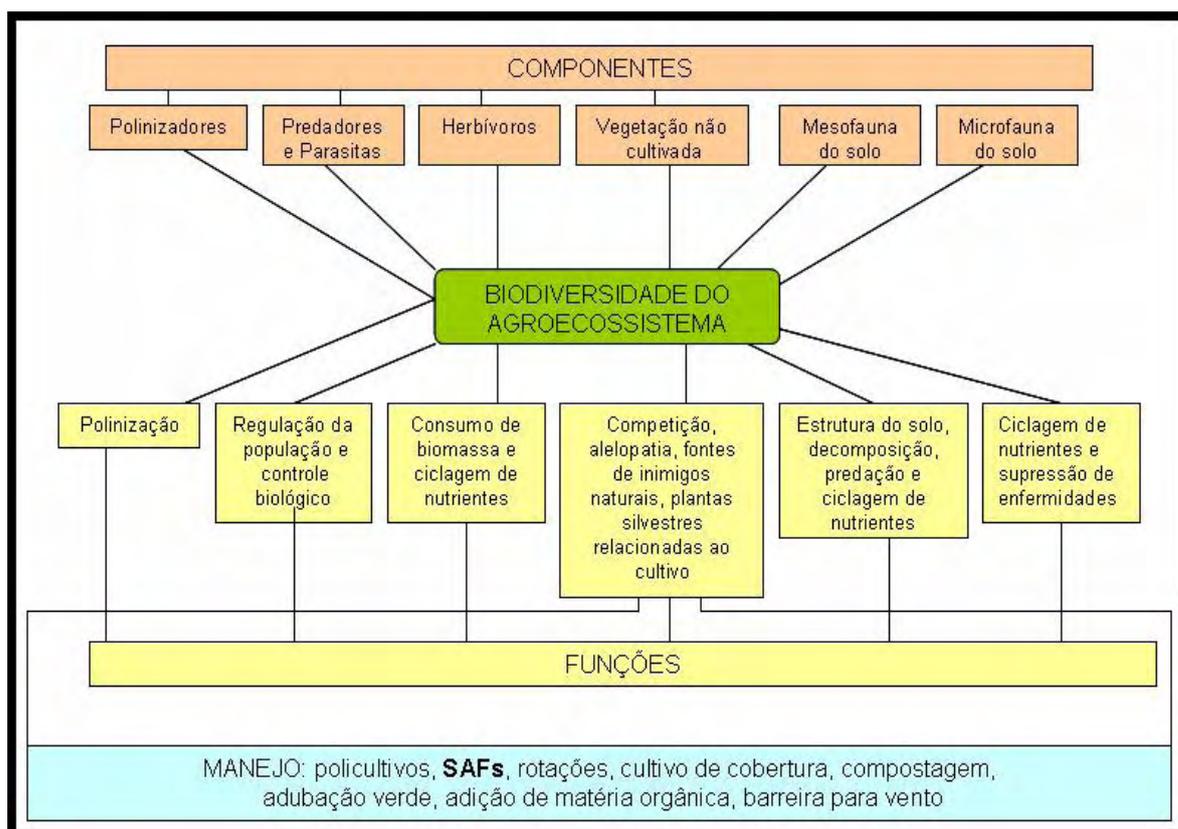


FIGURA 9 - Componentes, funções e métodos de manipulação da biodiversidade em agroecossistemas. Fonte: adaptado de ALTIERI (1999).

A biodiversidade é composta por diversos elementos ecológicos, que são componentes naturais, efetivos e constantes, de natureza estrutural e funcional, que integram e circunscrevem as condições inerentes ao desenvolvimento e à manutenção dos organismos vivos. De acordo com FERNANDES (1998), alguns elementos podem

eventualmente operar como fator, desde que afetam os condicionantes ambientais, por exemplo, a temperatura. Provocará alteração de ordem climática, com efeito, direto sobre as glaciações e outros aspectos. Todos os elementos são partes integrantes do próprio equilíbrio ecológico e se distribuem em três distintos conjuntos de elementos: a) Atmosféricos: Radiação Solar, Umidade e Temperatura; b) Geofísicos: Solo e Água; e c) Bióticos: Vegetais e Animais.

Os fatores ecológicos são representados por circunstâncias eventuais, por agentes ou por forças de natureza que modificam ou alteram os padrões constituintes do ambiente. São particularmente operacionais e, por vezes, atuam diretamente sobre os próprios organismos, regulando sua distribuição ou seu comportamento. Os fatores são: a) geográficos; b) geológicos; c) atmosféricos; e d) bióticos (FERNANDES, 1998).

Segundo esse mesmo autor, é importante compreender os significados dos condicionamentos ecológicos, principalmente climáticos, na distribuição florística e no comportamento do vegetal, que representam o resultado mais provável das respostas biológicas. Os componentes se relacionam entre si e com o ambiente amplo em que se localiza o ecossistema. Deste processo de interação resultam os fluxos internos do sistema e deste com o ambiente. Sendo um sistema e atuando como um todo, qualquer interferência em um ou mais componentes afetará possivelmente todo o ecossistema, produzindo desequilíbrio nas forças biológicas que o sustentam.

A estabilidade de um sistema depende de uma interação complexa entre produção, consumo e ciclagem de gases, solutos e líquidos. Em um sistema natural, duas características são particularmente importantes para a avaliação de um processo de degradação - a capacidade de suporte e a biodiversidade (DIAS, 2003). Quanto maior for o tamanho e a complexidade estrutural do ecossistema, a tendência é que maior seja a sua biodiversidade. Após a ocorrência de estresse em um determinado ecossistema, quanto maior for a sua base de informações genéticas, maior será a sua chance da manutenção da estrutura anterior, principalmente devido à sua capacidade de produção de biomassa (ODUM, 1988; SOUZA, 2004).

Os principais processos responsáveis pela perda da biodiversidade são: a) perda e fragmentação dos habitats; b) introdução de espécies e doenças exóticas; c) exploração excessiva de espécies de plantas e animais; d) uso de híbridos e monoculturas na agroindústria e nos processos de reflorestamento; e) contaminação do solo, água e atmosfera por poluentes; e f) mudanças climáticas.

3.1.3. Funções ambientais de ordem econômica e a ruptura do equilíbrio

Os serviços de armazenamento de água e da regulação do ciclo de carbono, entre outros, cria condição para um meio ambiente saudável, oferecendo não só água e ar limpos, chuvas, solo fértil e elasticidade das bacias fluviais, como também funções

imprescindíveis para a manutenção da sustentabilidade, tais como: a) o processamento de resíduos (naturais e industriais); b) a proteção contra os extremos do clima; e c) a regeneração atmosférica (HAWKEN *et al.*, 1999).

O que se tem verificado, é que apesar da maior conscientização da população e da pesquisa ter evoluído significativamente nos últimos tempos, os problemas ambientais vêm se agravando de forma considerável. Nas últimas três décadas se consumiu um terço dos recursos da Terra, ou seja, de seu capital natural. O homem interage com o ambiente à sua volta, modificando-o e transformando-o de acordo com suas necessidades. Os reflexos, geralmente desastrosos, podem ser observados, por exemplo, nas atividades agropecuárias e florestais. Nos sistemas urbanos, também, são encontradas marcas profundas da intervenção humana (BASTOS e FREITAS, 1999).

A Revolução Industrial criou o modelo de capitalismo atual, cujos processos de produção consideravam como pólos excludentes o homem e a natureza, com a concepção desta como fonte ilimitada de recursos à sua disposição. A partir dessa época, a capacidade produtiva humana começou a crescer exponencialmente e a força de trabalho se tornou capaz de fabricar um volume muito maior de produtos básicos, a custos reduzidos. Esse fato elevou rapidamente o padrão de vida e os salários reais, fazendo crescer a demanda dos diversos produtos das indústrias, lançando os fundamentos do comércio moderno (DAHLMAN, 1993).

Com o contínuo aumento da população, alterações dos hábitos de consumo e com a evolução da ciência, estimulados pela própria Revolução Industrial, ficou evidente que o nosso planeta é um sistema econômico fechado em relação aos seus materiais constituintes. À medida que a sociedade amadurece, redobra a consciência de que os seus recursos são finitos e tornam-se cada vez mais escassos. Além disso, para cada ciclo de produção, deve ser fornecida energia durante cada um dos estágios (CALLISTER JUNIOR, 2000; TUNDISI, 2003).

Qualquer produto utilizado terminará no sistema ambiental: não pode ser destruído, pode ser convertido ou dissipado. Caso o sistema se torne deturpado ou desordenado como resultado de um estresse aumenta a entropia do sistema; ou seja, passa a existir uma maior “desordem”. Dessa forma, cria-se um obstáculo físico ou uma limitação para um sistema fechado e sustentável.

Quando se visualiza essas questões sob a ótica econômica, a sustentabilidade, para o caso de recursos naturais renováveis, requer que a sua taxa de uso não exceda sua taxa de regeneração e, também, a disposição de resíduos em determinado compartimento ambiental não deve ultrapassar sua capacidade assimiladora (PEARCE e TURNER, 1989).

Entretanto, tem-se observado que o mau tratamento dos recursos naturais surge porque não são conhecidos, em termos de preços, os valores para estas funções. São funções econômicas porque todas têm valor econômico positivo, caso fossem compradas ou vendidas no mercado. A incapacidade de valorar objetivamente os bens e serviços ambientais é uma das causas do descaso gerencial (GRIFFITH *et al.*, 2003). Deve-se, então, considerar os efeitos dos custos das externalidades negativas.

3.1.4. Externalidades

Para CONTADOR (1981) externalidades são efeitos, favoráveis (desejáveis) ou desfavoráveis (indesejáveis), no bem-estar de outras pessoas e empresas. Tais efeitos são positivos, quando o comportamento de um indivíduo ou empresa beneficia involuntariamente os outros; caso contrário, as externalidades são negativas. Uma externalidade existe quando as relações de produção ou utilidade de uma empresa (ou indivíduo) incluem algumas variáveis cujos valores são escolhidos por outros, sem levar em conta o bem-estar do afetado e, além disto, os causadores dos efeitos não pagam nem recebem nada pela sua atividade.

Assim, a provisão de bens e serviços para um grupo torna possível a outro grupo receber algum benefício sem pagar por ele, ou incorrer em prejuízos sem a devida compensação. Isso caracteriza os danos causados pelos problemas advindos da utilização inadequada dos recursos em regime de livre acesso, ou seja, na ausência de limitação e de controle de acesso, por exemplo, a água e o ar atmosférico.

Outra característica importante das externalidades é que estas resultam da definição imprecisa do direito de propriedade. Uma fábrica polui a atmosfera, provoca distúrbios respiratórios nas pessoas e prejudica a vida animal e vegetal, porque não existem direitos de propriedade sobre o ar puro, ou seja, o ar é um recurso de propriedade comum e de livre acesso. Dessa forma, os direitos de propriedade são indefinidos ou inexistentes, e sempre que assim for os custos sociais serão diferentes dos custos privados (*ibidem*).

A falta de valor de mercado também é característica das externalidades. Existindo direito de propriedade, envolve uma contratação entre os proprietários e os utilizadores potenciais. Sempre que a contratação e execução de direitos de propriedade forem relativamente baratas, os custos sociais e os custos privados tenderão a ser iguais. Essa é a razão pela qual as externalidades constituem problemas apenas na área de atividades da nossa sociedade que afetam bens de livre acesso e de propriedade comum (entendida como sistema de apropriação comum), quais sejam os bens ambientais - de espaços e recursos (CONTADOR, 1981; BELLIA, 1996; DIEGUES, 1997).

Do ponto de vista econômico, na presença de externalidades, os mercados não distribuem os recursos de forma eficiente, porque normalmente não são registrados os custos de negociação ou de transação. Um empreendedor não recebendo pelas externalidades positivas que produz, não irá atender à quantidade necessária da qual a sociedade deseja, enquanto que aquele que produz externalidades negativas, não sendo punido, produzirá mais do que a sociedade suporta. A principal preocupação com o problema de externalidade, mesmo considerando um mercado de competição perfeito, caso não seja tratada, ela impedirá que a máxima eficiência econômica do ponto de vista social seja alcançada. Assim, na presença de externalidades, sempre haverá divergência entre valores sócio-ambientais e os interesses privados (REZENDE, s.d.).

Na bacia do rio Paracatu externalidades negativas têm surgido, particularmente devido ao consumo de água que aumentou cerca de onze vezes no período 1970-1996, correspondente ao aumento do consumo pela prática da irrigação. Este fato indica a necessidade de adoção de uma gestão adequada dos recursos hídricos que considere a alta taxa de crescimento da demanda em virtude do intenso desenvolvimento econômico existente na bacia (RODRIGUEZ, 2004). Atualmente evidencia-se que a maioria dos projetos de irrigação da bacia aplica água em excesso, reduzindo sua disponibilidade e contaminando os ecossistemas aquáticos, inclusive o lençol freático (RAMOS e PRUSKI, 2003).

Uma forma de eliminar uma externalidade é por meio de acordos voluntários, como pode ser verificado no exemplo da Figura 10, em que as serrarias diminuiriam a quantidade de corte em troca de parte do ganho social (CONTADOR, 1981).

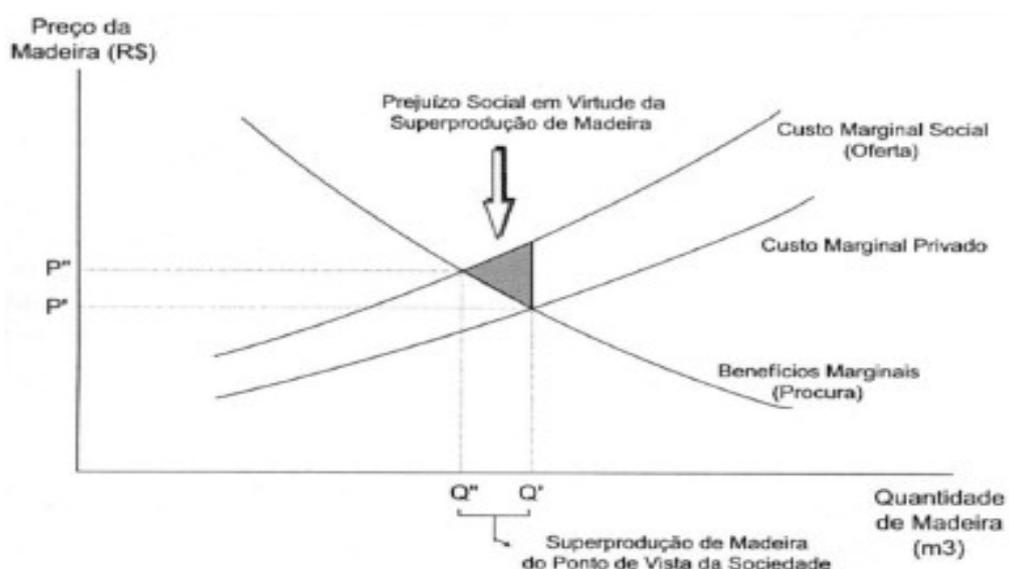


FIGURA 10 - Comparação entre os custos privados (serrarias) e os custos sociais (reivindicados pela sociedade que desfruta dos benefícios proporcionados pelas florestas) da produção de madeira. Fonte: OLIVEIRA (1993).

Verifica-se na Figura 10, que os cálculos internos das empresas que exploram madeira, determinam o nível de produção de madeira Q . A quantidade Q e o preço P do produto (madeira) são fixados pela interseção das curvas de demanda e oferta, determinadas pelo livre funcionamento do mercado. Porém, o custo marginal social, que inclui os efeitos (externalidades) da destruição das florestas, ultrapassa o custo marginal privado das empresas e, portanto, o ponto ótimo de produção do ponto de vista da sociedade seria o nível Q'' . Sem a devida consideração do excesso dos custos sociais sobre os custos privados, há uma superprodução de madeira igual à diferença entre as quantidades Q' e Q'' . A área sombreada indica o valor total do prejuízo social, em virtude da superprodução de madeira (SCHETTINO *et al.*, 2002).

Apesar das análises econômicas tradicionalmente ressaltarem as variações mensuráveis referentes ao aumento das rendas, não têm sido dedicadas avaliações dos custos e dos benefícios externos referentes ao meio ambiente, em face da sua considerável dificuldade (política, teórica e técnica) que permitam a internalização dos custos e benefícios até agora considerados externos. Caso houvesse essa internalização, como beneficiar “produtores de água” ou irrigantes que adotam o manejo da irrigação, auxiliaria os processos de decisão que afetam o meio ambiente e, conseqüentemente, toda a sociedade.

3.1.5. Fatores de desequilíbrio

Como principais conseqüências das Revoluções Industrial e Verde, destacam-se: a) a alteração nos padrões de consumo e nos hábitos da população; b) a severa interferência nos ecossistemas, pelo avanço da agropecuária para suprir a demanda por alimentos; e c) a visão produtiva que deixou de ser rural, sendo direcionada para o setor urbano, alterando as relações de trabalho e os valores culturais (SOUZA, 2004).

Sabe-se que para um perfeito equilíbrio no funcionamento de qualquer sistema ou atividade, são exigidas certas condições básicas: cabe considerar, que este equilíbrio é relativo, posto ser dinâmico. Assim, interferências externas podem agir negativamente nos sistemas, alterando-os e promovendo a degradação ambiental e humana. Como principais fatores de desequilíbrio, estimulados pela Revolução Industrial e cuja conseqüência/postura também tem contribuído para estes desarranjos, podem-se citar: a) o crescimento acelerado da população; b) o modo de produção capitalista; c) a indefinição nas políticas agrícolas para o médio e longo prazo; d) o modelo de pesquisa implementado a partir da década de 1970, que promoveu o êxodo rural, a urbanização e a concentração de renda; e) o enfraquecimento da extensão rural; f) a lentidão nos procedimentos de difusão tecnológica; g) os modelos de produção agropecuários e florestais; h) e os sistemas de administração empresarial, que visavam o lucro imediato.

O crescimento populacional e o modelo de produção levaram a humanidade ao paradoxo da opulência e da miséria no que tange aos padrões de consumo de massa, agravando sobremaneira a disposição dos excessos no meio. Na bacia do rio Paracatu, que teve o seu processo de ocupação iniciado com a mineração e a pecuária, seguido pela agricultura e silvicultura atualmente intensivas, quando se considera o Índice de Qualidade de Água (IQA) como indicador ambiental, verifica-se que este apresentou uma piora em 2005, com relação ao ano anterior (IGAM, 2005). Observa-se na Figura 11 um trecho do rio Preto, que corta a cidade de Unai.



FIGURA 11 - Rio Preto cortando a cidade de Unai. Fonte: PREFEITURA DE UNAI, 2008.

Sabe-se que a biosfera possui um mecanismo de regulação automática com a capacidade de manter saudável o planeta, controlando o meio químico e físico por meio da ciclagem de nutrientes. O processo da vida tem sido descrito de forma compartimentada por várias ciências. A vida é membro da classe de fenômenos que são sistemas abertos e contínuos, capazes de diminuir a entropia interna à custa de substâncias ou de energia natural retirada do meio envolvente e, posteriormente, rejeitadas numa forma decomposta.

Nas últimas décadas, alteraram-se os principais ciclos geoquímicos do planeta. Há um aumento do dióxido de carbono atmosférico, as plataformas continentais e as terras úmidas foram demasiadamente reduzidas. Na floresta tropical a agricultura é ineficaz, as queimadas produzem milhões de toneladas por ano de gás, quantidade superior à liberada pela indústria e pelo influxo do mar. Mesmo que a Terra tenha mecanismos de autodepuração e de auto-regulação, a devastação das florestas pode diminuir tal capacidade de regulação.

Nos últimos anos a espécie humana atingiu um número que ocupa proporção substancial da biomassa total. O comportamento biológico das espécies explica várias estratégias de estabelecimento. Cada espécie modifica seu meio natural de forma a

otimizar sua taxa de reprodução. Assim surgiu a primeira espécie vegetal, a primeira espécie animal, e a Terra com toda a sua biodiversidade atual representa a somatória de todas as modificações individuais e coletivas ao longo de um determinado período.

Várias funções ambientais também são de ordem econômica. O descuido e a exploração excessiva provocaram a ruptura do equilíbrio existente produzindo uma série de externalidades e impactos ambientais negativos que afeta o desenvolvimento econômico. O Brasil tem grande participação na degradação de seus recursos naturais e de seu meio ambiente. Tudo isto é justificado com o discurso desenvolvimentista.

3.2. IMPACTOS E EXTERNALIDADES DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS

Nessa seção serão relacionados os principais impactos das atividades agrícolas, bem como os novos rumos que o setor vem buscando a partir do rápido crescimento da população mundial. Tais fatos levaram à necessidade de grandes incrementos da produção agropecuária, via abertura de novas fronteiras agrícolas com aplicação intensiva de novas tecnologias, como nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Várias são as políticas que vêm sendo definidas para o setor. Contudo, não depende exclusivamente de políticas internas, mas de todo um contexto mundial. Dessa forma, para propor sugestões estratégicas, é fundamental saber qual a realidade que o setor está vivendo nos dias atuais e quais os possíveis cenários a serem projetados, para que se atinjam os resultados esperados.

O agronegócio é hoje o principal impulsionador da economia brasileira e os números são expressivos. Responde por 34% das riquezas geradas no país, 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros. Entre 1998-2003 a taxa de crescimento do PIB agropecuário chegou a 4,67% ao ano. Em 2002, as vendas externas do setor renderam ao Brasil US\$ 36 bilhões, com superávit de US\$ 25,8 bilhões (IRRIPLUS, 2007). O agronegócio brasileiro fecha 2006 com um pequeno crescimento, atingindo R\$ 540,06 bilhões, R\$ 2,43 bilhões a mais que 2005. O PIB da agropecuária cresceu 3,2% em 2006, sendo o setor apontado como tendo um comportamento positivo, acima inclusive da média da economia brasileira, que cresceu 2,9% (CEPEA-USP/CNA, 2006).

Vários fatores vêm contribuindo para o crescimento da agricultura no Brasil. O primeiro foi a reorganização institucional da pesquisa agropecuária, cujo ponto principal foi a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Paralelamente se fortaleceram as instituições estaduais de pesquisa agropecuária, as Universidades, os Centros Técnicos e Tecnológicos e os sistemas estaduais de assistência técnica e extensão rural, estes sim, ainda bastante deficientes. Com investimentos na qualificação dos pesquisadores e com a oferta de mais tecnologias,

nestas últimas três décadas, o país se consolidou como um dos mais importantes produtores mundiais de soja, milho, leite, carne, laranja, aves, suínos, entre vários outros produtos. Mais que a produção, a produtividade e qualidade de culturas e da pecuária atingiram, e em alguns casos superaram o de outras nações, grandes produtoras de alimentos.

Contudo, tem-se observado impactos e externalidades negativos resultantes dessa atividade, e diversas são suas fontes e origens, tais como a elevada taxa de desmatamento, o uso excessivo de agroquímicos, os plantios com espécies transgênicas e, ou, exóticas e o uso inadequado da irrigação. No atual momento, pelo menos dois grandes desafios deverão ser superados por essa atividade: a) adequação aos aspectos relacionados à Legislação Ambiental; e b) promover a inserção dos milhões de pequenos e médios produtores, que não têm conseguido utilizar os conhecimentos desenvolvidos pela pesquisa agropecuária, na escala e na intensidade necessária.

3.2.1. Introdução

No complexo contexto histórico da atividade agropecuária brasileira, com excesso de privilégios a determinados grupos de interesses, particularmente na segunda metade do século XX, o crescimento da urbanização e da industrialização superpôs-se a uma estrutura agrária essencialmente concentrada e desigual. Dessa forma, foi implantada uma rápida dinâmica de transformação rural, expressa no desenvolvimento de complexos agroindustriais fundamentados na mecanização, na irrigação e no uso crescente de agroquímicos (SOUZA, 2004).

No Brasil, a manifestação dessa dinâmica de transformação, envolveu um conjunto integrado de políticas, tais como: a) a renovação nos currículos das principais escolas agrônômicas; b) a criação do “Sistema Nacional de Crédito” em 1966, intenso até os anos 1990, inclusive com subsídios mal administrados; c) o estímulo à transformação da grande propriedade em grande empresa, com o crescimento da mecanização em detrimento da permanência de famílias de baixa renda no campo; e d) o desinteresse pelo modelo familiar, que ficou praticamente excluído até recentemente, do crédito e da assistência técnica (PÁDUA, 2003).

A conseqüência foi o êxodo rural, proveniente principalmente do favorecimento excessivo a algumas regiões específicas. Apesar de existirem variações dentro de cada modelo de produção e de desenvolvimento, com inúmeras formas intermediárias entre eles, dois podem caracterizar e analisar as atividades agropecuárias, em nível mundial (WEID, 1996): a) modelo tradicional ou familiar; e b) modelo convencional ou agroquímico.

O modelo agroquímico, conhecido também como modelo moderno, responsável pela “Revolução Verde”, responde ao anseio milenar do homem de poder controlar a natureza, exercendo sobre ela o máximo domínio e a artificialização do meio ambiente (*ibidem*). O seu objetivo seria a assimilação da agricultura à indústria, onde se pretendia exercer o controle sobre todas as variáveis produtivas ambientais.

O grande problema e restrição desse modelo referem-se à redução da biodiversidade, tornando a produção totalmente dependente de fatores externos ao sistema propriamente dito, tais como: a) as sementes são produzidas em laboratórios; b) os fertilizantes têm origem mineral e são processados industrialmente; c) os defensivos agrícolas também provêm de indústrias químicas; d) a energia utilizada tem origem fóssil; e) alta dependência de equipamentos com elevado consumo energético, necessitando de altos investimentos e tributário de sistemas financeiros (*ibidem*).

Outra característica desse modelo é a concentração de propriedades e a eliminação de postos de trabalho no campo. O seu principal sucesso foi o significativo aumento na produtividade, tendo como consequência direta a segurança alimentar e a queda dos preços dos produtos agrícolas (ALVES e CONTINI, 1987; WEID, 1997; ALVES, 2001; SANTO, 2004). É dominante nos países desenvolvidos e emergentes, enquanto o modelo familiar domina os países periféricos, nos quais 1,4 bilhão de pessoas depende desse sistema para a sua sobrevivência. Em outra estimativa, 80% das terras cultivadas em todo o mundo utilizam o sistema tradicional (WEID, 1996).

O interesse do modelo convencional se concentra nas áreas de maior fertilidade, as quais praticamente já se encontram ocupadas. Pode ser verificada uma forte desaceleração da velocidade de expansão das áreas plantadas dentro do modelo agroquímico, com ausência de ganhos significativos em produtividade. Vários fatores inibem a otimização da produtividade: a) as condições reais são bastante diferenciadas entre si e em relação às condições controladas em situações de pesquisa; b) os limitantes econômicos têm colocado freios significativos no uso das opções tecnológicas disponíveis; e c) as reações do meio ambiente têm levantado questionamentos quanto à eficiência destas opções (*ibidem*).

A sustentabilidade do modelo agroquímico, além das questões já expostas, pode ser questionada por três principais motivos (WEID, 1996): a) a tendência de esgotamento da matriz energética; b) o horizonte reduzido de durabilidade de minerais como o fósforo e o potássio; e c) os altos custos unitários dos insumos de produção. Além desses fatores, há também os impactos ambientais provocados pelo modelo agroquímico, tais como: a) erosão; b) poluição e assoreamento dos corpos d'água; c) desequilíbrio nas cadeias naturais; d) eclosão de novas pragas e doenças; e) chuvas ácidas; f) destruição da camada de ozônio e aumento dos gases de efeito estufa; e f)

destruição das florestas e da biodiversidade de espécies da fauna e da flora. Essa perda de diversidade torna o modelo agroquímico cada vez mais vulnerável, logo insustentável no médio e longo prazo (WEID, 1996; AMADOR, 1999).

A crescente concentração da produção em torno de uma única cultura, característica do modelo agroquímico, criou e continuará criando problemas econômicos, sociais e ambientais. Por estas questões, a extensão e a pesquisa têm estado voltadas, cada vez mais, para uma dupla preocupação: a) intensificação do uso do solo nas terras já ocupadas, sobretudo nas de agricultura e de pecuária; e b) desenvolvimento de fontes de geração de renda em sistemas baseados na conservação dos recursos naturais.

É necessário o desenvolvimento de um modelo capaz de ser produtivo com respeito aos recursos naturais, capaz de gerar emprego e renda, com equidade social. Na visão de ALTIERI (1999), esse modelo deve ser capaz de aperfeiçoar a: a) disponibilidade e o equilíbrio do fluxo de nutrientes; b) proteção e conservação da superfície do solo; c) utilização eficiente dos recursos água, luz e solo; d) manutenção de um nível alto de fitomassa total e residual; e) exploração de adaptabilidade, diversidade e complementaridade no uso de recursos genéticos animais e vegetais; e f) preservação e integração da biodiversidade. Por estas questões, os problemas gerados pela adoção de pacotes tecnológicos nem sempre apropriados às características do ambiente, têm chamado a atenção para o modelo familiar.

Vários são os impactos produzidos pelas atividades agrícolas. Alguns serão destacados, tais como a erosão, a contaminação por agroquímicos, a irrigação e a invasão por espécies exóticas, e referenciadas algumas medidas mitigadoras e, ou, recuperadoras.

3.2.2. Erosão: importância e prevenção

Indicadores apresentados pelo GTAMA (1992), *apud* SOUZA (2004), indicam que são expressivos os impactos, frequentemente irreversíveis, oriundos da modernização agrícola. As perdas de solo por erosão atingem a proporção alarmante de $25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em locais onde não existe manejo do solo, ou estes apresentam condições naturais de erodibilidade; para níveis considerados "normais", de 3 a 12 toneladas, onde é praticado algum tipo de manejo. Estima-se que são perdidas no país quase 200 milhões de toneladas de terra fértil por ano. Terminam sendo lançadas nos corpos d'água, assoreando-os e contaminando-os por lixiviação com agroquímicos. Esses violentos processos erosivos se encontram na base de fenômenos de desertificação que já se manifestam em áreas relativamente extensas, no Brasil, particularmente no Rio Grande do Sul (Itaqui), no Norte de Minas Gerais e em algumas regiões do Nordeste.

A erosão do solo pode ser: a) natural/geológica; ou b) acelerada, como resultado de processos antrópicos. O uso do solo pelo homem, seja por meio da agricultura, pecuária ou outras atividades, representam fator decisivo de aceleração dos processos erosivos (Quadro 5) (MARQUES, 2004).

QUADRO 5 - Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão (médias ponderadas para três tipos de solo do Estado de São Paulo)

Tipo de uso do solo	Perdas	
	Solo (t ha ⁻¹)	Água (% de chuva)
Mata	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Cafezal	0,9	1,1
Algodão	26,6	7,2

Fonte: BERTONI e LOMBARDI NETO (1985).

Por este motivo, a erosão pode ser considerada uma parte do problema poluição, capaz de gerar sérios impactos ambientais. Carreiam inúmeras substâncias e elementos químicos, dos agrotóxicos e dos fertilizantes e corretivos, adsorvidos às frações componentes do solo, além de sedimentos, depositando-os em outros locais, onde pode ocorrer uma concentração excessiva destes. Causa impactos de elevada magnitude e importância nos corpos d'água.

Na bacia do rio Paracatu se tem observado uma piora significativa no Índice de Qualidade das Águas (IQA) nos períodos chuvosos, o que reforça essa teoria relativa à erosão, como pode ser observado nas Figuras 12 e 13. Nessa bacia, destacam-se duas estações de monitoramento: PT001 e PT005, localizadas no rio Preto e no córrego Rico, respectivamente, onde os resultados dos principais parâmetros envolvidos no cálculo do IQA como coliformes fecais, turbidez e fósforo total indicaram o comprometimento das suas águas, refletidos na média final do IQA (IGAM, 2005).

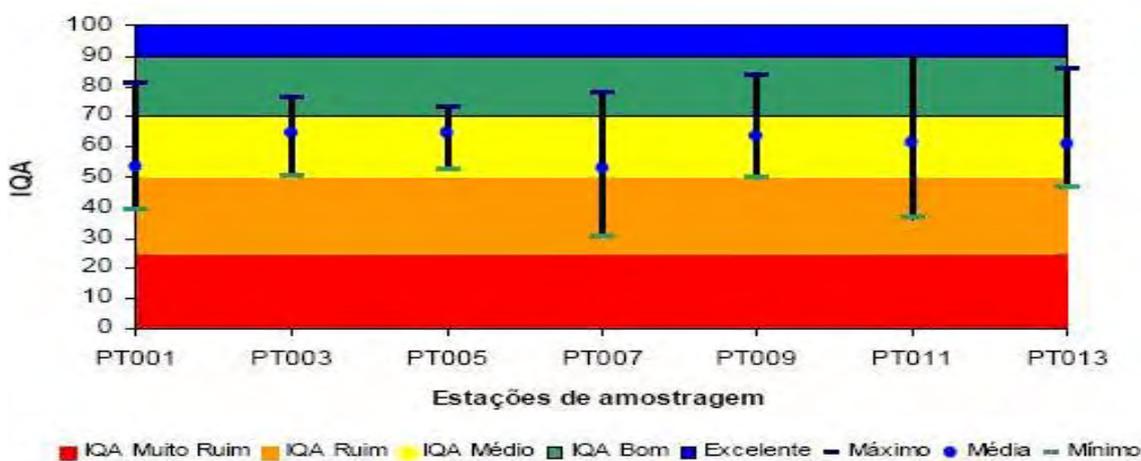


FIGURA 12 - Resultado do IQA na bacia do rio Paracatu no "Período Chuvoso" (1997-2004). Fonte: IGAM (2005).

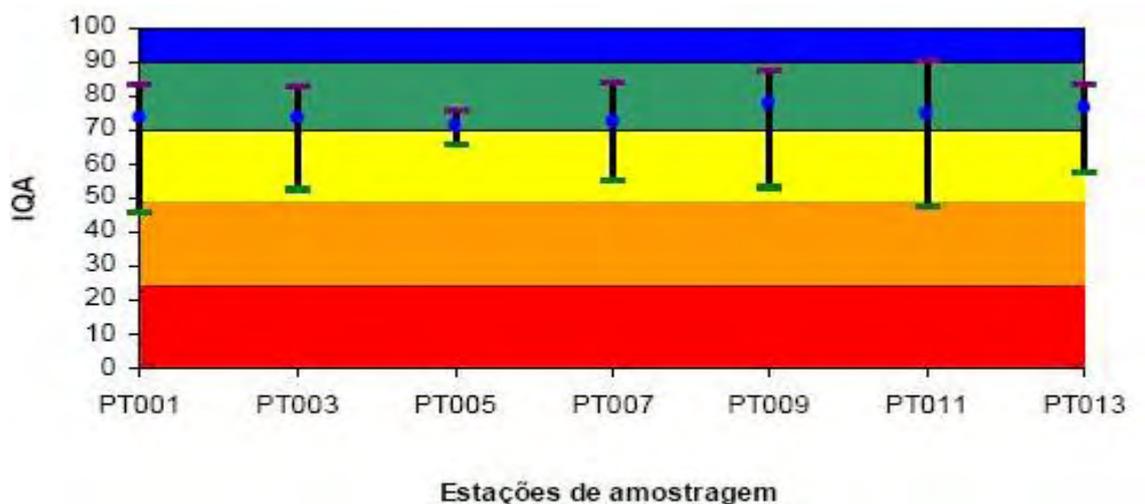


FIGURA 13 - Resultado do IQA na bacia do rio Paracatu no "Período Seco" (1997-2004). Fonte: IGAM, 2005.

Na prática, todas as atividades agropecuárias e florestais, principalmente aquelas que se utiliza de mecanização intensiva, promovem a degradação física, química e biológica do solo, interferindo diretamente na quantidade e na qualidade da água produzida. Pode-se afirmar que a erosão do solo é o perigo ambiental mais preocupante da atualidade, implicando, principalmente, na degradação do solo e da água com diversos impactos e externalidades socioambientais negativos.

3.2.3. Impactos provocados por agroquímicos e metais pesados

O crescimento constante da população e a conseqüente demanda por alimentos implicaram na utilização de fertilizantes minerais e agrotóxicos. Este último destaca-se entre as principais formas de controle de doenças, pragas e plantas invasoras. Porém, seus princípios ativos têm como depósito final o solo ou a água, poluindo e degradando o capital natural. No solo, onde a maior parte é depositada, uma parte é degradada pelos microorganismos e a outra é retida na matéria orgânica e, ou, nas argilas (SOUZA, 2004).

O uso de agrotóxicos pode ser considerado o fator mais importante na redução da biodiversidade, dentre as práticas de produção agropecuária e florestal. Como conseqüência, constata-se o surgimento de novas pragas ou a maior resistência daquelas existentes, exigindo a cada aplicação, doses intensivas para o seu controle, significando maiores danos ambientais.

Os agrotóxicos, quando usados excessivamente, há perdas de recursos, a produção não é maximizada e tornam-se potencialmente capazes de gerar impactos ambientais. Inicialmente, de natureza física, pelo próprio desmatamento; seguidos por aqueles de natureza química, como o processo de eutrofização. A irrigação, quando praticada em regiões onde os níveis de metais encontrados nas águas apresentam

valores superiores àqueles admitidos, a erosão e o deflúvio superficial agrícola favorecem a entrada de maiores quantidades de compostos químicos nos ecossistemas aquáticos.

Dessa forma, ocorre a alteração do estado trófico das águas, inclusive com potencial de contaminação do lençol subterrâneo, tornando-as impróprias para o consumo e com efeitos deletérios à vida aquática. Também, torna-se um caminho de saída desses contaminantes metálicos do meio aquático em direção aos alimentos, disponibilizando esses compostos na dieta alimentar humana, apresentando reflexos negativos em termos ecológicos e de saúde pública.

Metais pesados são elementos com peso específico maior que 5g cm^{-3} ou que possuem número atômico maior que 20. Compreendem 40 elementos químicos com características toxicológicas e efeitos específicos, com a seguinte ordem decrescente de toxicidade: Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, Co, entre outros (MALAVOLTA, 1994). Relacionado aos níveis de tolerância para metais pesados no solo, pode-se variar sob determinadas condições, como as características edafoclimáticas, ou mesmo, pelo rigor da legislação, que são diferenciadas entre países ou mesmo entre estados. Como regras gerais são consideradas os valores do Quadro 6 do ponto de vista da fitotoxidez, referentes a teores totais, e não aos disponíveis.

QUADRO 6 - Concentrações totais de elementos consideradas excessivas do ponto de vista de fitotoxidez

Elementos	Teores (mg dm^{-3})	Elementos	Teores (mg dm^{-3})
Ag	2	Hg	0,3-5
As	15-50	Mn	1500-3000
B	25-100	Mo	2-10
Be	10	Ni	100
Br	10-20	Pb	100-400
Cd	3-8	Zn	70-400
Co	25-50	Se	5-10
Cr	75-100	Sn	50
Cu	60-125	Ti	1
F	200-1000	V	50-100

Fonte: KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1985).

Porém, a mobilidade desses metais no ambiente contaminado, é diferenciada e variável, em função: a) da sua natureza e forma química; e b) das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Dentre as diversas características do solo que influenciam na dinâmica dos metais pesados, podem ser destacadas: a) pH; b) potencial redox; c) textura; d) composição mineral; e) capacidade de troca de cátions (CTC); f) teor e qualidade dos compostos orgânicos na fase sólida e na solução do solo; g) competição por sítios de adsorção e quelatação; e h) propriedades específicas de cada metal (KORCAK e FANNING, 1985).

Outro sério impacto que poderá surgir é a eutrofização dos ecossistemas aquáticos. Pode ocorrer de forma natural, como resultado do enriquecimento com nutrientes de plantas, principalmente o fósforo e o nitrogênio, que são despejados de forma dissolvida ou particulada em lagos, represas e rios e são transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas. A eutrofização “cultural” é proveniente dos despejos de esgotos domésticos e industriais e da descarga de fertilizantes utilizados na agricultura. Esse tipo de eutrofização acelera o processo de enriquecimento das águas superficiais e subterrâneas, com o rápido desenvolvimento de plantas aquáticas. Inicialmente, cianobactérias ou “algas verdes azuis”, que produzem substâncias tóxicas podendo afetar a saúde humana e causar a morte de animais e intoxicações (Quadro 7) (TUNDISI, 2003).

QUADRO 7 - Impactos ambientais associados à eutrofização

Impactos ambientais negativos	Fatores de eutrofização
<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade, gosto e odor da água 	Nutrientes e sedimentos suspensos degradam a qualidade da água, aumentando o custo da purificação de água potável; condições anóxicas e toxinas produzidas durante o crescimento de algas podem causar a morte dos peixes e fazer com que a água se torne nociva para diversos animais. Antibióticos e substâncias orgânicas nos sistemas de agricultura, podem causar danos.
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa diversidade de espécies 	O crescimento estimulado de certos organismos diminui o número e o tamanho da população de outras espécies; com o tempo, os lagos passam a ser dominados por algas e peixes de rápido crescimento. Algumas espécies de algas, as cianofíceas, produzem neurotoxinas que podem levar à morte animais de grande porte.
<ul style="list-style-type: none"> • Prejuízos do uso em recreação e navegação 	O aumento da sedimentação diminui a profundidade do lago, o crescimento vegetativo acelerado bloqueia as águas navegáveis; a biomassa de algas em decomposição promove a proliferação de insetos e produz espumas de odor repugnante.

Fonte: adaptado de SCHAEFER *et al.* (2000).

A recuperação definitiva de áreas eutrofizadas é extremamente difícil e onerosa. O seu controle depende de ações iniciadas nas bacias hidrográficas e nas fontes pontuais de descarga (esgotos urbanos e industriais) e difusas (atividades agropecuárias) de N e P (TUNDISI, 2002).

3.2.4. Impactos da irrigação sobre a qualidade da água

TERBORGH (1999) avaliando questões relativas à conservação da natureza identificou como os maiores desafios os problemas relacionados aos aspectos sociais, tais como: a) superpopulação; b) desigualdades de poder e riqueza; c) exaustão dos recursos naturais; d) corrupção e falta de leis; e) pobreza; e f) intranquilidade social.

Assim, as pressões exercidas pela busca de desenvolvimento econômico e pelo crescimento populacional, particularmente nos trópicos, seriam as principais causas da destruição da natureza. Dessa forma, começa-se analisar o papel da agricultura irrigada nesse cenário, e no Brasil, principalmente quando se consideraram os ganhos em produtividade sob tal prática, suas principais limitações e seus impactos.

Embora as condições de clima no Brasil sejam bastante diferentes em virtude da sua dimensão territorial, a prática da irrigação é crescente, como nas bacias do ribeirão Entre ribeiros e do rio Preto. No noroeste e norte de Minas Gerais, e em grande parte do nordeste brasileiro, a quantidade de precipitação anual é insuficiente para suprir as necessidades hídricas das culturas, sendo impossível a prática sustentável da agricultura sem o uso da irrigação. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste os índices de precipitação são suficientes para o desenvolvimento das plantas, porém a má distribuição dessa chuva faz com que surjam períodos de deficiência hídrica o que acaba afetando a produtividade agrícola.

Vieira (1988) *apud* REBOUÇAS *et al.* (1999), classifica a irrigação como “obrigatória” quando as condições climáticas assim determinam; e como “suplementar”, quando embora as precipitações sejam suficientes, a sua irregularidade acaba comprometendo o metabolismo das plantas e conseqüentemente, a produtividade da agricultura. Dessa forma, de acordo com MANTOVANI *et al.* (2005), dentro do atual contexto onde o agronegócio está inserido, a agricultura irrigada tem um importante papel, possibilitando segurança nos investimentos para produção de alimentos e fibras; e elevada capacidade de geração de empregos e renda estáveis, tornando-se uma resposta efetiva e de qualidade, e permanência do homem no campo. Na Figura 14 têm-se os valores médios de produtividade em condições irrigadas e não-irrigadas.

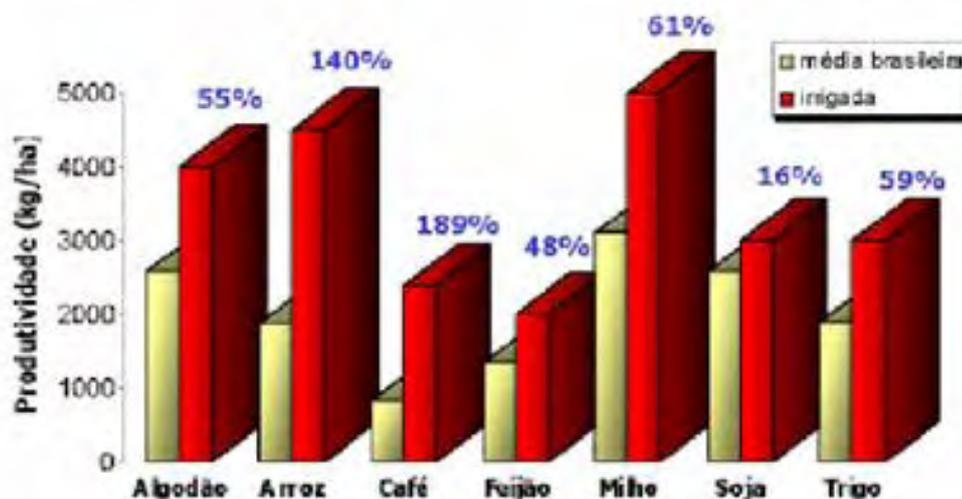


FIGURA 14 - Comparação da produtividade de áreas irrigadas e não-irrigadas para diversas culturas. Fonte: ABIMAQ, 2002 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2006.

Contudo, há de se considerar, que além desses benefícios, a irrigação exige grandes volumes de água e apresenta uso do tipo consuntivo; ou seja, parte da água que é utilizada não retorna ao corpo de água do qual foi retirada. As águas da irrigação são desta forma classificadas, pois parte da água fornecida à planta é retirada para a sua constituição vegetal ou sofre evapotranspiração, são transformados em matéria orgânica e há infiltração no solo. Por esta questão, os usos consuntivos são questionados perante aos demais usos da água (DAKER, 1984; REICHARDT, 1990).

Assim, há de se considerar que em nível mundial, a agricultura irrigada é a atividade que mais utiliza água, demandando mais de 70% dos recursos hídricos disponíveis, em muitos casos, com um aproveitamento médio inferior a 40%. Os outros 60% são desperdiçados por que: a) se aplica água em excesso; b) irriga-se fora do período de necessidade da planta em horários de maior evaporação do dia; c) utilizam-se técnicas de irrigação inadequadas; ou d) pela falta de manutenção nos sistemas de irrigação (KARAM, 2001).

A Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (1996), *apud* MANTOVANI *et al.* (2005), coletou dados oriundos de órgãos estaduais responsáveis por ações de irrigação e concluiu que existem 2.630.000 ha irrigados no Brasil, que representam 4,8% da área cultivada no País. A região Sul se destacou como a mais irrigada, com cerca de 1.150.000 ha, seguida da região Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Norte com 800.000, 400.000, 200.000 e 80.000 ha, respectivamente.

Os métodos de irrigação por superfície, geralmente os de mais baixa eficiência, são os mais usados, totalizando cerca de 60% da superfície irrigada no Brasil. O pivô central cobre cerca de 20%, a aspersão convencional mais de 16% e a localizada, microaspersão e gotejamento, em torno de 4% (Figura 15).

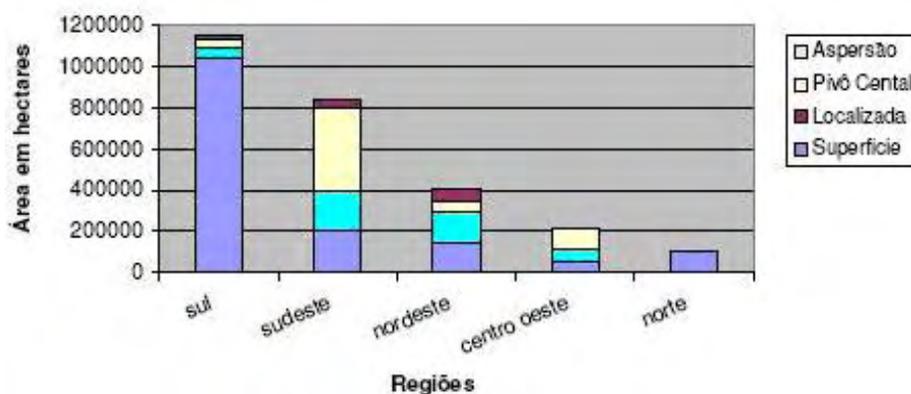


FIGURA 15 - Métodos de irrigação no Brasil. Fonte: REBOUÇAS *et al.* (1999).

A maior parte dos sistemas de irrigação utilizada no Brasil não segue um planejamento adequado. São comuns vazamentos de água nas tubulações e nos

canais de alimentação e de distribuição de água, quase não existe manutenção ou é extremamente precária. Os agricultores, em sua maioria, pouca informação tem sobre a melhor e mais eficaz maneira de irrigar, tendendo a fornecer maior quantidade de água que o necessário. A maioria dos irrigantes não possui qualquer treinamento para a prática da irrigação, não tendo qualquer informação sobre a melhor forma de desenvolvê-la. Fatores naturais, como o vento, também comprometem o uso eficaz da água na irrigação, principalmente a distribuição da água nos sistemas de aspersão.

Uma das maiores causas de desperdícios está associada à eficiência do sistema de irrigação. Estes valores variam consideravelmente em função de dois principais fatores: consumo de água e inovações tecnológicas. Um estudo no Sul do Brasil comprova o desperdício de água que ocorre na agricultura irrigada. GINESTE (2006) realizou a sua pesquisa de tese tendo como principais objetivos: a) estimar o consumo de água utilizada pelos agricultores residentes ao longo da Bacia do Rio Miringuava, Município de São José dos Pinhais, Região Metropolitana de Curitiba; b) identificar os sistemas de irrigação utilizados; c) relacionar o uso adequado destes sistemas com o consumo de água correspondente; e d) verificar se existia um manejo adequado da água utilizada pelos sistemas irrigantes ali encontrados.

Para atingir tais objetivos, foi utilizado um estudo de caso onde aleatoriamente 33 propriedades rurais em comunidades localizadas ao longo da Bacia foram submetidas a um questionário para que se identificassem os procedimentos referentes à irrigação no local. Após constatações em campo, verificou-se que as propriedades rurais possuem áreas entre 3-7 ha e que mais da metade delas apresentam áreas irrigadas iguais ou superiores a 50%. A captação de água é quase que totalmente retirada de reservatórios, por meio de bombas hidráulicas acionadas por motores movidos por energia gerada pelo óleo diesel. O método de irrigação mais utilizado é a aspersão convencional, encontrado em 91% das propriedades.

Segundo essa mesma autora, a Bacia do Miringuava é uma localidade significativa na produção de hortaliças no país. Nessa região, a técnica da irrigação se justifica devido às constatações de má distribuição da precipitação ao longo do ano. Contudo, constatou-se que o uso da água pelos agricultores se faz de maneira rudimentar, sem programas específicos baseados em critérios técnicos, causando um consumo acima do necessário. A irrigação é feita por meio de suposições de quantidades satisfatórias de água sem haver preocupação de excesso de utilização e retirada de água.

Além do aspecto “quantidade”, deve-se também estar atendo à uniformidade de distribuição da água - fator fundamental para medir a eficiência dos sistemas de irrigação. Em sistemas por pivô central, o mais utilizado na bacia do rio Paracatu, o CUC (Coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN) recomendado está na faixa de

75 a 85%, para culturas com sistema radicular profundo como é o caso do cafeeiro, e o CUD (Coeficiente de uniformidade de distribuição) recomendado acima de 70% (BERNARDO, 1995). Na Figura 16 apresenta-se a distribuição das lâminas coletadas em dois pivôs com diferentes uniformidades. Observa-se a grande variação da lâmina coletada no pivô com menor uniformidade (Figura 16 A) quando comparado com o pivô de maior uniformidade (Figura 16 B).

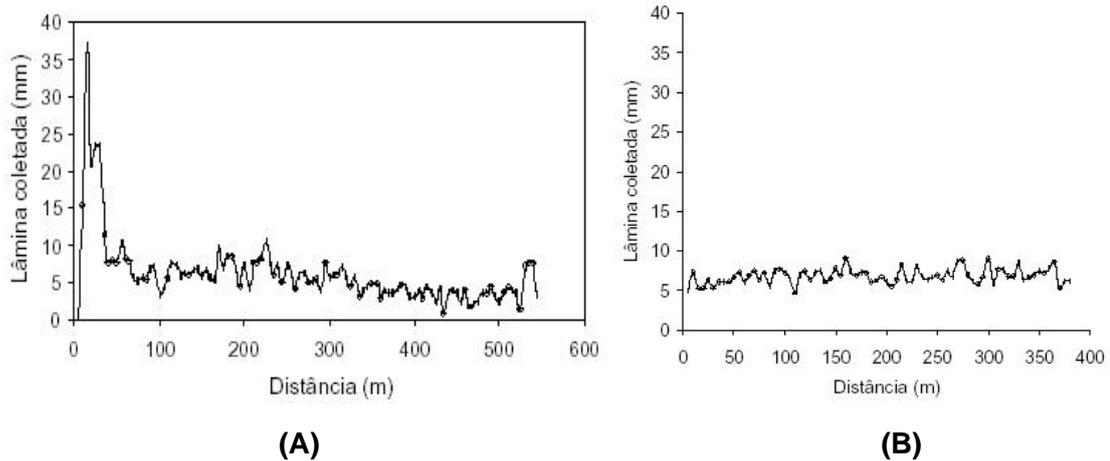


FIGURA 16 - Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs. Pivô com CUC de 66% (A) e pivô com CUC de 89% (B). Fonte: BONOMO, 1999.

Dessa forma, para que a agricultura irrigada possa cumprir o seu papel, é necessária uma ação efetiva de todos os envolvidos na implantação de projetos que possibilitem o uso racional da água. Se mal manejada, a irrigação se constitui em uma das principais fontes de poluição e contaminação do solo, principalmente quando a água utilizada é proveniente de rios que recebem grande carga poluidora (Figura 17).

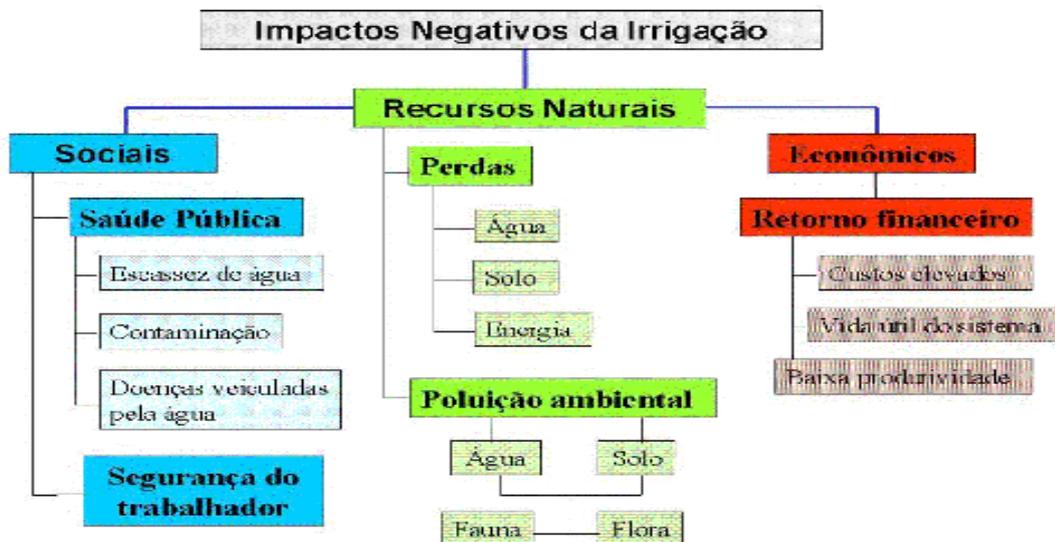


FIGURA 17 - Impactos negativos pelo manejo incorreto da irrigação. Fonte: DRUMOND e FERNANDES, 2001.

Para BERNARDO (1997), a irrigação tem criado impactos ambientais adversos às condições físicas, químicas e biológicas do solo, à disponibilidade e qualidade da água, à saúde pública, à fauna e flora, repercutindo, em alguns casos, de forma negativa nas condições sócio-econômicas do irrigante ou mesmo da comunidade local. De acordo com von SPERLING (1997), deve-se estar consciente que o meio líquido apresenta duas características que definitivamente caracterizam a qualidade da água: a) capacidade de dissolução; e b) capacidade de transporte. A conjunção dessas duas características conduz ao fato da qualidade de uma água resultar dos processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico.

De acordo com AMARAL SOBRINHO (1996), o rio Paraíba do Sul recebe elevada carga poluidora proveniente de indústrias, esgotos domésticos, fertilizantes, agrotóxicos, mercúrio de garimpos, entre outros. Apresenta, portanto, alto potencial poluidor do solo quando utilizado para irrigação, principalmente devido aos sedimentos em suspensão. Um estudo realizado por Ramalho (1994), *apud* AMARAL SOBRINHO (1996), foram obtidos os seguintes teores de alguns metais pesados como resultado de sua pesquisa, podendo ser observado no Quadro 8.

QUADRO 8 - Teores de Cd, Pb, Cr, Co e Ni das amostras de um Cambissolo irrigado por sulcos de infiltração com água do rio Paraíba do Sul e sua respectiva área de controle

Profundidade (cm)	Metais pesados (mg Kg ⁻¹)									
	Cd		Pb		Cr		Co		Ni	
	Irrig.	AC	Irrig.	AC	Irrig.	AC	Irrig.	AC	Irrig.	AC
0 – 5	1,5	0,7	43,3	35,9	50,2	35,8	33,7	25,5	26,5	35,0
5 – 10	1,4	1,2	51,7	34,9	47,4	37,7	32,3	26,6	28,5	36,5
10 – 20	1,3	1,1	49,1	36,7	48,0	40,8	32,9	31,6	31,0	37,5
20 – 30	1,5	1,2	50,6	46,0	48,7	48,6	34,9	35,5	37,0	38,0

Irrig. = Cambissolo irrigado, por sulcos de infiltração, com água de tomada direta do Rio Paraíba do Sul; AC = Área de controle.

Fonte: AMARAL SOBRINHO (1996).

No Brasil, esse problema é agravado principalmente quando associado ao aproveitamento de várzeas inundadas. Para BERNARDO (1997), o uso de sistemas de irrigação por superfície, particularmente por inundação ou sulco, e a drenagem de extensas áreas seguidas de seu intensivo cultivo, causam distúrbios às suas condições naturais. Inicia-se pela eliminação da vegetação nativa, que produzirão alterações na microflora e fauna local e regional, na produção de peixes, na população de insetos e nas condições de erosão e sedimentação na bacia hidrográfica. Além disso, ocorre a indução à monocultura, aumentando o número de pragas devido à eliminação de inimigos naturais, exigindo cada vez mais o uso intensivo de agrotóxicos para o seu controle.

Por estas questões, para a implantação de um sistema de irrigação em uma determinada região, tornam-se necessárias um conjunto de informações de maneira a ser identificado o seu potencial de produção e as condições físicas e operacionais mais adequadas que podem selecionar alternativas a serem tomadas. Nele, as condições a serem consideradas incluem a compatibilidade do tipo de solo, a qualidade e a quantidade de água, o clima e algumas influências externas e agrônômicas. O sistema de irrigação deve ser compatível com o preparo do solo utilizado ou a utilizar na área, bem como com o cultivo e a colheita das culturas selecionadas (VIEIRA *et al.*, 1988).

O excesso de água aplicada à área irrigada, que não é evapotranspirada pelas culturas, retorna aos ecossistemas aquáticos por meio dos escoamentos superficiais e sub-superficiais, sendo conduzidos aos depósitos subterrâneos, por percolação profunda. Assim, arrasta consigo sais solúveis, fertilizantes, resíduos de agrotóxicos, elementos tóxicos e metais pesados, sedimentos, entre outros. De acordo com BERNARDO (1997), são cinco os principais tipos de impactos ambientais inerentes à irrigação: a) modificações do meio ambiente; b) salinização do solo; c) contaminação dos recursos hídricos (rios, lagos e águas subterrâneas); d) consumo exagerado para usos múltiplos da disponibilidade hídrica da região; e e) problemas de saúde pública.

De acordo com esse mesmo autor, segundo estimativas da FAO, aproximadamente 50% dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo apresentam problemas de salinização e saturação do solo. Também, 10 milhões de ha são abandonados anualmente em virtude de tal problema. No Nordeste brasileiro, aproximadamente 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos estão com problemas de salinização, apresentando áreas que já não produzem.

Considerando a agricultura irrigada ser o maior usuário de água doce no Brasil, com 72,50% do volume captado, e com crescimento acelerado, como nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, a sua evolução deverá ser acompanhada de um rigoroso monitoramento. Este pode ser alcançado mediante um sistema eficiente de gerenciamento dos recursos hídricos, evitando novos conflitos de uso da água.

Esse fato é relevante quando se considera o total de solos aptos à irrigação no Brasil, estimados em aproximadamente 29,6 milhões de ha. Desse total, em 1999, apenas 2,87 milhões estavam sendo explorados, demonstrando o grande potencial para expansão dessa prática. O manejo racional dessa atividade demanda estudos que considerem os aspectos sociais, econômicos, técnicos e ecológicos da região (SILVA, 2002).

Segundo FARIA (1987) e KLAR (1991), existem alguns equipamentos e processos de automatização incorporados aos sistemas de irrigação que permitem

operar e controlar totalmente a aplicação da água a partir de informações das condições da planta, do solo e do clima. Estes equipamentos atendem às sofisticados objetivos, mas seus custos de implantação ainda são muito altos o que inviabiliza sua adoção pela grande maioria dos agricultores.

Para MANTOVANI *et al.* (2003), apesar da significativa evolução dos equipamentos modernos, tem havido negligência com o manejo da irrigação. Portanto, para que não ocorra aplicação em excesso (mais comum) ou em falta, a maior eficiência na distribuição da água necessita um eficiente programa de manejo. Para estes mesmos autores, parte da solução deste problema pode ser resolvida com o auxílio de programas de simulação, como o IRRIPLUS. Este é um sistema de apoio à decisão na área da agricultura irrigada, composto de vários “softwares” voltados para o manejo da água, do sistema de irrigação e da rentabilidade da área irrigada.

Esse programa foi desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada - GESAI, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. O sistema incorpora uma visão técnica sem perder a operacionalidade necessária ao seu funcionamento. Uma vez implantado, é uma ferramenta de fácil utilização e controle do momento adequado para irrigar, definir a lâmina e o tempo de irrigação necessária e, também, relacionar a avaliação e definição das condições de distribuição de água e perdas do sistema de irrigação.

Outro fator fundamental na prática da irrigação se refere à sua viabilidade econômica. Existem planilhas de viabilidade econômica, como para a cafeicultura irrigada. Na Figura 18 observa-se a simulação de rentabilidade para áreas de baixa demanda hídrica, com o sistema de irrigação por aspersão tipo malha e produtividade de 30 e 60 sc ha⁻¹, para a primeira safra e média das demais safras, respectivamente, com o valor médio da saca do café de R\$ 180,00.

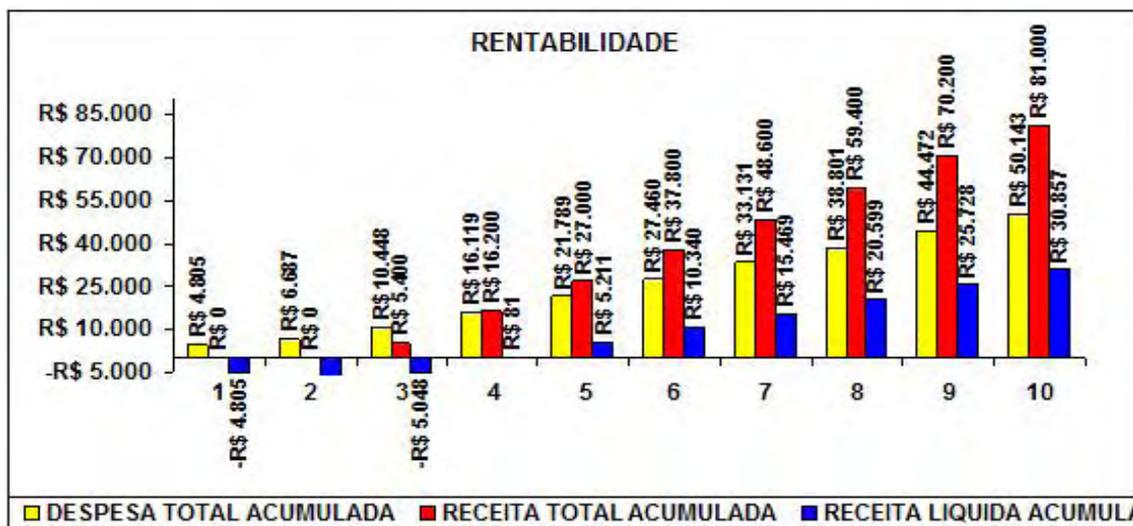


FIGURA 18 - Simulação da rentabilidade para a cafeicultura irrigada, sistema malha, em regiões de baixa demanda hídrica. Fonte: MANTOVANI *et al.* (2005).

3.2.5. Impactos ambientais originados pela introdução de plantas exóticas

As primeiras translocações de espécies de uma região a outra do planeta tiveram a intenção de suprir necessidades agrícolas, florestais e outras de uso direto. Tamanho é o potencial de espécies exóticas de modificar sistemas naturais, que as plantas exóticas invasoras são atualmente consideradas a segunda maior ameaça mundial à biodiversidade, perdendo apenas para a destruição de habitats pela exploração humana direta. O agravante dos processos de invasão, comparados à maioria dos problemas ambientais, é que ao invés de serem absorvidos com o tempo e terem seus impactos amenizados, agravam-se na medida em que essas plantas ocupam o espaço das espécies nativas (ZILLER, 2005).

De acordo com esse mesmo autor, as externalidades negativas, com conseqüências econômicas vultosas principais são: a) a perda da biodiversidade; b) a modificação dos ciclos e características naturais dos ecossistemas atingidos; e c) a alteração fisionômica da paisagem natural. Alguns ambientes são mais suscetíveis à invasão do que outros, em função dos seguintes fatores/condições: a) quanto mais reduzida a diversidade natural, a riqueza e as formas de vida de um ecossistema, mais suscetível ele é à invasão por apresentar funções ecológicas que não estão supridas e que podem ser preenchidas por espécies exóticas; b) as espécies exóticas estão livres de competidores, predadores e parasitas, apresentando vantagens competitivas com relação a espécies nativas; c) quanto maior o grau de perturbação de um ecossistema natural, maior o potencial de dispersão e estabelecimento de exóticas, especialmente após a redução da diversidade natural pela extinção de espécies ou exploração excessiva.

Embora não possa funcionar de forma isolada, a última condição é essencial para a compreensão dos processos de invasão biológica. Práticas incorretas de manuseio dos ecossistemas, como a remoção de áreas florestais, queimadas anuais para preparo do solo, erosão e pressão excessiva de pastoreio contribuem para a perda de diversidade natural e fragilidade do meio a invasões. A fim de serem bem compreendidos, é fundamental que esses processos sejam avaliados de um ponto de vista abrangente, computando-se todas as variáveis que podem exercer algum tipo de influência ambiental.

Esse é um problema de âmbito mundial que não pode ser tratado isoladamente. Plantas exóticas invasoras tendem a produzir alterações em: propriedades ecológicas essenciais como ciclagem de nutrientes e produtividade vegetal, cadeias tróficas, estrutura, dominância, distribuição e funções de espécies num dado ecossistema, distribuição de biomassa, densidade de espécies, porte da vegetação, acúmulo de serapilheira e de biomassa (aumenta o risco de incêndios),

taxas de decomposição, processos evolutivos e relações entre polinizadores e plantas (ZILLER, 2005).

Segundo esse mesmo autor, podem alterar o ciclo hidrológico e o regime de incêndios, levando a uma seleção das espécies existentes e, de modo geral, ao empobrecimento dos ecossistemas. Dentre as espécies de árvores já consagradas como invasoras no Brasil estão *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Casuarina equisetifolia*, muito comum no litoral, *Melia azedarach* (cinamomo), *Tecoma stans* (amarelinho), *Hovenia dulcis* (uva-do-japão), *Cassia mangium*, *Eriobothrya japonica* (nêspera), *Cotoneaster* sp. e *Ligustrum japonicum* (alfeneiro). Entre as gramíneas, o gênero *Bracchiaria* é dos mais problemáticos.

A gradativa perda em frequência e qualidade dessas espécies nativas leva à exaustão do modelo de pecuária sustentável estabelecido ao longo dos três últimos séculos, além da introdução de hábitos de lavração e uso de herbicidas para controlar o avanço da invasora. Estima-se que, dos 15 milhões de ha de campos naturais, três (3) milhões estejam sofrendo processo de invasão, inclusive, de acordo com RODRIGUEZ (2004) e LATUF (2007), nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

3.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nessa seção serão relacionados a origem, as causas e as prováveis externalidades e impactos negativos produzidos pelas mudanças climáticas. A partir dessa nova realidade, novos rumos deverão ser perseguidos pelos setores produtivos e econômicos. Deverão visar à possibilidade de conciliar o crescimento da população mundial com a conservação e recuperação ambiental. Várias são as políticas que vêm sendo definidas na tentativa de alterar o cenário atual.

Deve-se considerar que os efeitos de curto prazo não mais se reverterão, e apenas no médio e longo prazo poder-se-ão sentir os efeitos de tais medidas mitigadoras e, ou, recuperadoras. Além disso, não depende exclusivamente de políticas internas, mas de todo um contexto mundial. Dessa forma, para propor sugestões estratégicas, é fundamental saber qual a realidade que o mundo econômico está vivenciando nos dias atuais e quais os possíveis cenários a serem projetados.

Os climatologistas do “Goddard Institute for Space Studies” (GISS) da NASA descobriram que os anos de 1998 e 2007 foram os anos mais quente em um século na Terra. O aquecimento global teve um efeito maior nas regiões polares, e a perda de neve e gelo se transformou num maior volume de água para os oceanos, consumindo assim mais luz solar e gerando calor. Isso confirma a forte tendência de aquecimento

dos últimos trinta (30) anos. Atribuem-se esse fato ao efeito estufa e outros gases criados pela ação humana (GISS, 2008).

Outra pesquisa, que envolve cientistas de diversas partes do planeta, analisa a influência de nuvens e aerossóis em suspensão na atmosfera no processo e demonstra como a superfície terrestre tem refletido mais radiação do que absorvido: consequência de ações como a derrubada de florestas para a formação de pastagens. Desde a década de 1990, os sinais da mudança têm se mostrado de forma mais evidente, de acordo com essa equipe de pesquisadores, deixando claro que o efeito estufa já promove mudanças climáticas no planeta. Entretanto, alguns países, como os EUA, não ratificaram o tratado internacional que visa ao corte nas emissões de gases que provocam o efeito estufa.

3.3.1. Introdução

Durante a Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, em 1979, as mudanças climáticas foram reconhecidas como um sério problema a ser enfrentado pela comunidade internacional. A Resolução 43/53 da Assembleia Geral das Nações Unidas criou, em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC), sob os auspícios da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (SALATI, 1994).

Em 1990, durante a Segunda Conferência Mundial sobre o Clima, pediu-se a negociação de uma convenção internacional para tratar do problema das alterações climáticas. Nesse mesmo ano a Assembleia Geral da ONU aprovou uma resolução que deu início ao processo de negociação de uma futura convenção sobre mudança do clima, cujo objetivo essencial seria lutar pela estabilização das emissões de gases causadores do efeito estufa e pela conservação e ampliação dos reservatórios e sumidouros de carbono (florestas e oceanos). As negociações para o estabelecimento dessa convenção tiveram início em fevereiro de 1991 e terminaram durante a Rio - 92, quando 154 países e a União Européia assinaram o texto final. Em 1994, após ser ratificada pelo quinquagésimo país, ela entrou em vigor (JOCKYMAN, 2004).

Em dezembro de 1997 adotou-se o Protocolo de Quioto, negociado com vistas à operacionalização das diretrizes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Nesse Protocolo, os países desenvolvidos assumiram o compromisso de reduzir a emissão dos seis principais gases de efeito estufa em pelo menos 5% com relação à emissão verificada em 1990. Tal meta deverá ser alcançada entre 2008 e 2012 (SALATI, 1994, SOUZA, 2004). No dia 16 de fevereiro de 2005, o Protocolo entrou em vigor, com a assinatura da Rússia.

No entanto, há de se considerar, que mesmo com a adoção de várias medidas mitigadoras, alguns problemas vêm se intensificando, ou novos têm surgido, tais

como: a) o incremento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera; b) a diminuição da camada de ozônio estratosférico; c) a diminuição progressiva dos recursos de água doce; d) a redução das terras agricultáveis; e e) a crescente contaminação da atmosfera e dos ecossistemas aquáticos. É fato, não mais suposição, a ocorrência cada vez maior, de fenômenos meteorológicos e climatológicos extremos em diversas partes do mundo. Segundo o GISS (2008), durante esse período, os desastres causaram a morte de 622 mil pessoas e afetaram outras 2 bilhões, assolaram terras cultivadas, propagaram enfermidades e causaram perdas econômicas estimadas em 450 bilhões de dólares.

A indispensável proteção do meio ambiente global depende de mudanças estruturais na economia e na cultura do consumo. Deverá haver limites ao crescimento. Fortalece-se, assim, o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”, que pressupõe maior conhecimento do sistema climático e, em conseqüência, maior capacidade de prever as mudanças climáticas futuras e seus possíveis efeitos nas atividades sócio-econômicas e no meio ambiente. Para subsidiar os cenários elaborados para esse estudo que analisam as conseqüências de possíveis aumentos de temperatura e alterações na precipitação, serão discutidas algumas medidas mitigadoras e, ou, recuperadoras que contribuam para a redução do aquecimento global.

3.3.2. Efeito estufa

A denominação efeito estufa é dada por analogia ao que ocorre nas estufas de cultivo de plantas, normalmente feitas de vidro. Fenômeno semelhante ocorre na atmosfera da Terra, que contém pequenas quantidades dos chamados gases de efeito estufa. Eles permitem que a luz do Sol passe quase livremente, mas impedem parcialmente a saída do calor formado na superfície do planeta (a radiação infravermelha térmica) e emitida pela superfície aquecida da Terra, promovendo o aquecimento da superfície e da camada inferior da atmosfera (Figura 19).

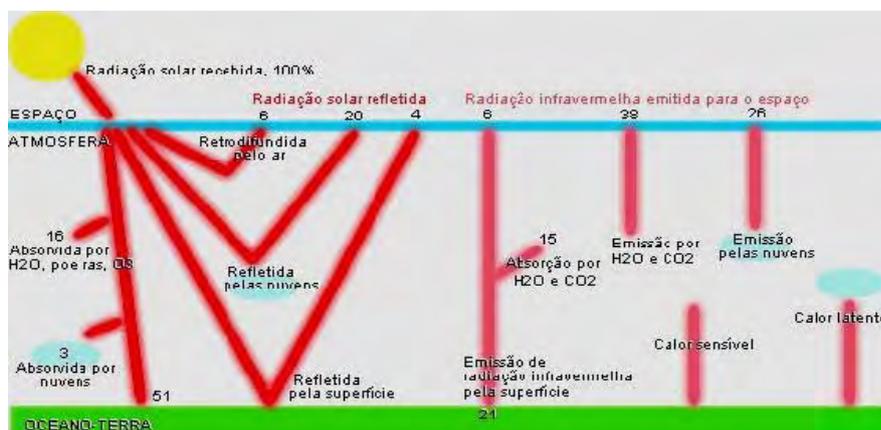


FIGURA 19 - Atmosfera e os gases de efeito estufa. Fonte: PEIXOTO *et al.* (2001).

O efeito estufa ocorre porque a atmosfera tende a reter o calor próximo à superfície. A Terra recebe radiação do Sol nas bandas do ultravioleta, visível e infravermelho, absorvendo uma parte e refletindo o restante ao mesmo tempo em que emite radiação infravermelha. Os gases de efeito estufa deixam passar a radiação visível e infravermelha, mas absorvem muito eficientemente a radiação infravermelha emitida pela Terra. A maior parte dessa energia é reirradiada de volta à superfície (PEIXOTO *et al.*, 2001).

3.2.2.1. Base física do efeito estufa

O Sol é a principal fonte de energia para a superfície da Terra. Essa energia é composta por um conjunto de radiações, denominado espectro solar. Em função da alta temperatura do Sol, cerca de 99% do espectro solar estão entre 0,10 e 4 μm , que correspondem ao ultravioleta, à radiação visível e ao infravermelho curto e médio. As radiações com comprimento de onda abaixo de 0,32 μm são totalmente absorvidas pelo ozônio e pelo oxigênio da alta atmosfera. A radiação visível (0,4-0,70 μm , que são as radiações fotossinteticamente ativas – RFA) praticamente não é absorvida pela atmosfera, e as radiações entre 0,7 e 4 μm , que constituem a região do infravermelho próximo e médio, sofrem pequena absorção por parte do vapor d'água e do CO_2 (HAMAKAWA, 1999).

Na prática, pode-se considerar que a grande porção do espectro solar acima de 0,33 μm atinge a superfície da Terra, promovendo seu aquecimento. Como a superfície do planeta apresenta temperatura média de 288°K (15°C), aproximadamente 99% da energia por ela emitida se situam entre 4 e 100 μm . Ao contrário do que faz com a luz do Sol, a atmosfera impede a livre passagem dessa faixa de radiação, como pode ser observado na Figura 20.

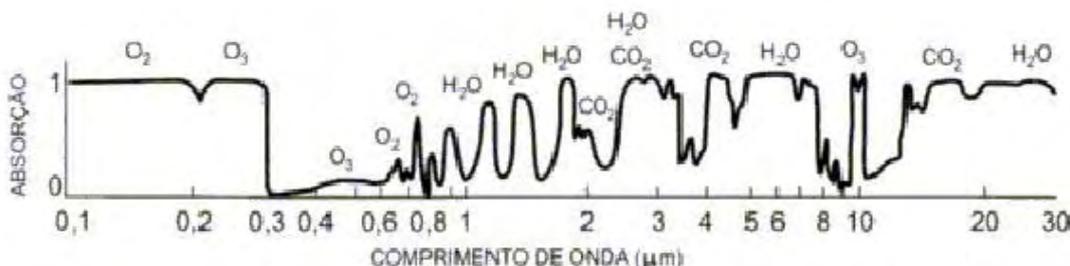


FIGURA 20 - Espectro de absorção da radiação eletromagnética pela atmosfera. Fonte: HAMAKAWA, 1999.

As radiações entre 4 e 100 μm são fortemente absorvidas pelos gases de efeito estufa e reirradiadas em todas as direções, parte delas voltando à superfície e promovendo seu aquecimento. Não fosse a presença dos gases de efeito estufa na atmosfera, a temperatura da superfície da Terra seria de aproximadamente -18°C

(ALVES, 2001; PEIXOTO *et al.*, 2001). Nos dias atuais o que preocupa é o aumento de sua intensidade, em consequência da excessiva concentração dos gases-estufa na atmosfera, provocada basicamente pelas atividades antrópicas (SOUZA, 2004).

O aumento da concentração desses gases provocaria o aumento da radiação na faixa de 4 e 100 μm presa pela atmosfera e conseqüentemente da temperatura na superfície da Terra. Estima-se que, em virtude da intensificação do efeito estufa, a temperatura média na superfície terrestre deverá elevar-se entre 1,5 e 4,5°C (AYOADE, 2001).

3.2.2.2. Gases de efeito estufa

Os principais gases de efeito estufa produzidos por atividades antrópicas capazes de aumentarem o efeito estufa são: vapor d'água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e clorofluorcarbonos (CFCs) (ALVES, 2001; PEIXOTO *et al.*, 2001).

- **Vapor d'água**

Um dos principais gases do efeito estufa. É apontado pelo 4º Relatório do IPCC (2007) como um dos principais mecanismos causadores do aquecimento global, pois funciona como um amplificador do aumento das temperaturas. De 1976 a 2004, a quantidade de vapor d'água na atmosfera teria aumentado em 2,2%.

- **Dióxido de carbono (CO_2)**

É o gás produzido em maior quantidade, contribuindo para o aquecimento global com cerca de 50%. Suas principais fontes antropogênicas são a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Sua concentração hoje é de aproximadamente 353 ppm (partes por milhão); antes da Revolução Industrial, era de 280 ppm, representando um acréscimo de 25% (ALVES, 2001).

Nos dias atuais, a queima de combustíveis fósseis lança anualmente na atmosfera cerca de 5,7 Gt de C (gigatoneladas de carbono); e a derrubada e queima de florestas 2 Gt. Cerca de 75% da queima de combustíveis fósseis ocorre nos países desenvolvidos. Por outro lado, os oceanos e a biota terrestre retiram uma parte desse carbono, ocorrendo um acúmulo líquido na atmosfera de cerca de 3 Gt de C anualmente (PEIXOTO *et al.*, 2001).

- **Metano (CH_4)**

É o segundo gás-estufa em importância, contribuindo com cerca de 18% do aquecimento global. Sua concentração está hoje em torno de 1,72 ppmv (partes por milhão em volume), aumentando a uma taxa de 0,9% ao ano. O CH_4 é produzido

durante o processo de decomposição bacteriana anaeróbica. Suas principais fontes antropogênicas são as plantações de arroz, os animais domésticos (rebanhos de ruminantes, como os bovinos), os vazamentos de gás natural na indústria petrolífera e os aterros sanitários (ALVES, 2001).

- **Óxido nitroso (N₂O)**

Contribui com cerca de 6% para o aquecimento global. Estima-se provirem do solo 90% das emissões globais. Observou-se que seu potencial de absorção térmica é 150 vezes maior do que o do CO₂. Suas principais fontes antropogênicas são os usos intensivos de fertilizantes nitrogenados e a queima de biomassa. Óxidos de nitrogênio são capazes de provocar inibição da fotossíntese e provocar lesões nas folhas das plantas (PEIXOTO *et al.*, 2001).

- **Clorofluorcarbonos (CFC-11 e CFC-12)**

Contribuem com cerca de 14% para o aquecimento global. As principais fontes de CFCs são os vazamentos durante seu emprego na refrigeração e produção de espumas e aerossóis. Uma molécula de CFC tem o mesmo efeito estufa de 10.000 moléculas de CO₂.

Outros compostos, como o ozônio troposférico e certos halogênios, contribuem com 11% para o aquecimento global (MOLION, 2001).

3.2.2.3. Atividades antrópicas e a produção de gases de efeito estufa

3.2.2.3.1. Desmatamento e queimadas

O desmatamento é responsável pelo lançamento anual de aproximadamente 2Gt de C na atmosfera. Alguns pesquisadores estimam que entre 1850 e 1985 o desmatamento foi responsável pelo lançamento de 100-130Gt de C na atmosfera e a queima dos combustíveis fósseis por 190Gt (KRUG, 2001).

Globalmente, os ecossistemas florestais cobrem uma área de 4,1 bilhões de ha, sendo que 42% desse total se encontram na região tropical. O Brasil possui cerca de 10% dessas florestas. O desmatamento global é estimado entre 11 e 15 milhões de ha e está ocorrendo basicamente nas regiões tropicais do planeta. No Brasil, entre 1978-1994, a área desmatada na região amazônica passou de 78 mil km² para 470 mil km², ou seja, 12% da área florestal original. A principal causa desse desmatamento é a conversão de florestas em pastagens e lavouras temporárias (AYOADE, 2001).

O Projeto Redes LBA (Low Biosphere Atmosphere), desenvolvido a partir de Manaus, consiste em um sistema para o monitoramento e entendimento dos mecanismos que governam as mudanças climáticas. Este sistema permite

compreender a influência da região amazônica sobre outras regiões. A captação e o registro das emissões de isopreno na atmosfera e os maiores ou menores índices pluviométricos evidenciam que a floresta produz chuva. Os registros LBA vêm demonstrando, por sua vez, que o desmatamento provoca mudança drástica na atmosfera (IPAM, 2007).

Durante onze anos, a pesquisa do LBA, em Alta Floresta (MT), vem evidenciando a quantidade imensa de partículas em suspensão, decorrentes da intensificação das queimadas na porção norte do estado de Mato Grosso, sendo possível acompanhar a dinâmica do carbono e os ciclos biogeoquímicos na atmosfera. A situação nas regiões de cerrado e caatinga também é grave. Cerca de 40% da vegetação original do cerrado já foi desmatada, e a tendência futura é de aumento do desmatamento em função da expansão da fronteira agrícola. A situação mais grave é a da Floresta Atlântica - bioma que abrangia 17 estados brasileiros cobrindo uma área de 1.130.000 km², resta apenas 9,02% de sua área original, distribuídos em pequenos fragmentos florestais das regiões sul e sudeste (*ibidem*).

Em Minas Gerais, por exemplo, a Mata Atlântica cobria cerca de 35% do território do estado. Hoje restam apenas 4,19% da cobertura original, onde o desmatamento é feito visando à produção de carvão vegetal e à conversão da área desmatada em pastagens, o que tem restado são amplas áreas de pastagem degradadas, cursos d'água assoreados e diminuição da vazão dos corpos d'água no período seco (INMET, 2007).

Recentemente, a conversão do uso do solo destinado a outros fins para florestas plantadas vem se apresentando como uma atrativa alternativa econômica em algumas regiões do país (Figura 21). Em Minas Gerais, áreas de pastagens degradadas estão sendo utilizadas para os plantios florestais e, em casos localizados, áreas tradicionais de café estão sendo substituídas pelo eucalipto. Há de se considerar que Minas Gerais possui a maior área individual com florestas plantadas (1.235.744 ha, sendo 12,3% com pinus e 87,7% com eucaliptos) (ABRAF, 2007).

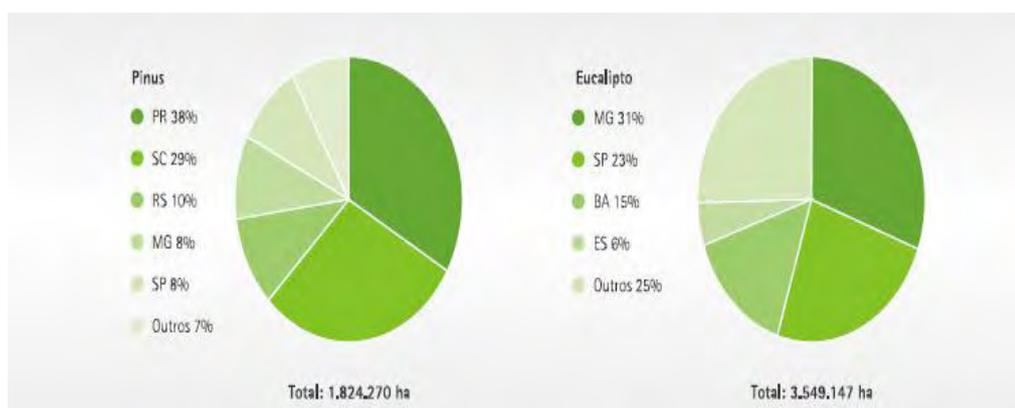


FIGURA 21 - Distribuição das florestas plantadas de pinus e eucaliptos por estados selecionados em 2006. Fonte: ABRAF (2007).

Há de se considerar duas questões que envolvem a agricultura irrigada e o desmatamento: a) a agricultura irrigada tem se expandido para áreas onde se encontram vegetação nativa, como foi o caso do Projeto Jaíba e, recentemente, para a Bacia do rio Paracatu; e, b) ao mesmo tempo, considerando o ganho em produtividade nessas áreas irrigadas, caso não existissem, provavelmente áreas maiores seriam desmatadas para atender a crescente demanda por alimentos.

3.2.2.3.2. Atividades urbano-industriais

Nos grandes centros urbanos, a poluição atmosférica se caracteriza basicamente pela presença de gases tóxicos e partículas sólidas no ar. As principais causas desse fenômeno são as eliminações de resíduos por indústrias; e a queima de carvão e petróleo em usinas, automóveis e sistemas de aquecimento doméstico. São freqüentes os dias em que a poluição do ar atinge níveis críticos, seja pela ausência de ventos, seja pelas inversões térmicas. Outra conseqüência da poluição atmosférica é o surgimento do buraco na camada de ozônio.

3.2.3. Camada de ozônio

A camada de ozônio se situa na faixa entre 25-30 km da estratosfera. O conteúdo de ozônio na atmosfera é baixo sobre o Equador e alto na direção dos pólos, nas latitudes maiores que 50°. O ozônio tem a propriedade de absorver a radiação ultravioleta, atuando como barreira parcial à penetração dessas radiações incidentes na superfície terrestre, protegendo-a dos efeitos prejudiciais à saúde e ao meio ambiente (AYOADE, 2001).

Em 1982, detectou-se o desaparecimento de ozônio em áreas sobre a Antártida. Atualmente esse fenômeno pode ser percebido no Pólo Sul, sobre o Ártico, o Chile e a Argentina. Os cientistas apontam os clorofluorcarbonos (CFCs) como os responsáveis pela situação, que chegando à estratosfera, são decompostos pelos raios ultravioletas. O problema é que os CFCs são muito estáveis: depois de 139 anos, metade da quantidade liberada no ar ainda permanece na atmosfera (*ibidem*).

Em setembro de 1987, o Programa das Nações Unidas para proteção do Meio Ambiente conseguiu que um grupo de 31 países reunidos no Canadá assinasse o "Protocolo de Montreal", determinando a redução em 50% da produção mundial de CFC até o ano de 2000. Em 1989, o documento contava com a adesão de 81 países, inclusive o Brasil. Nessa ocasião, os signatários do protocolo decidiram interromper completamente a produção de CFC até o final do século XX. Entretanto, há outras substâncias que também destroem a camada de ozônio e que até agora não sofreram nenhum tipo de proibição (EL KHALILI, 2004; JOCKYMAN, 2004).

Como principal conseqüência seria o aumento de temperatura, que segundo IPCC (2007), é uma das principais variáveis ecológicas que determinam a distribuição natural das espécies. A fotossíntese é fortemente afetada pela temperatura, sendo as mudanças em sua taxa em resposta às temperaturas, reversíveis quando as variações estão compreendidas entre 10 e 35°C. Quando os tecidos são submetidos às temperaturas próximas àquele limite, ocorre perda de atividade enzimática e as funções das membranas fotossintéticas são alteradas. Já em temperaturas superiores ao limite, ocorre a perda de integridade celular estomática.

Considerando o cenário de aumento da temperatura global, de acordo com esses mesmos autores, pode-se admitir que nas regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, a anomalia positiva que venha a ocorrer será desfavorável ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Por outro lado, culturas mais resistentes a altas temperaturas, provavelmente serão beneficiadas, até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente sejam limitantes ao desenvolvimento de culturas susceptíveis a geada, com o aumento do nível térmico devido ao aquecimento global, passarão a exibir condições favoráveis ao desenvolvimento da planta.

Em um estudo realizado por Assad e Luchiar (1989), *apud* HASTENRATH (2006), mostra que um aumento de 5°C na temperatura de uma região com temperatura média de 22°C, com um máximo de 26,7°C e um mínimo de 17,6°C, supondo que um aumento da concentração de CO₂ provocasse um aumento de 5°C na temperatura, as plantas C₄, como o milho e sorgo, aumentariam a sua produtividade potencial em pelo menos 10kg ha⁻¹ dia⁻¹ de grãos secos. Para as plantas do tipo C₃, como feijão, soja e trigo, esse aumento seria da ordem de 2 a 3 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de grãos secos.

3.2.4. Externalidades e impactos ambientais advindos das mudanças climáticas

Nos termos do IPCC (2006) e da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (adotada em 1992), entende-se por mudança climática: "uma mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana, que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis".

3.2.4.1. Comportamento vegetal e a produção agrícola

Retendo-se ao aumento de temperatura, é possível, segundo AYOADE (2001), apontar algumas alterações/limitações no comportamento vegetal, tais como:

- Temperaturas do ar e do solo afetam todos os processos de crescimento da planta, ou seja, todos os cultivos possuem limites térmicos mínimos, ótimos e máximos para cada um de seus estágios de crescimento;
- O aumento de temperatura aumenta a energia cinética, a excitação de elétrons e os processos enzimáticos e químicos;
- O limite acontece quando com o aumento da temperatura não se tem mais aumento na realização dos processos (o ganho líquido de CO₂ em condições de altas temperaturas é fortemente afetado pela respiração. Em condições de baixa concentração de CO₂ e altas temperaturas, não ocorre fotossíntese, principalmente em plantas C3);
- A fotossíntese responde positivamente à temperatura até certo ponto (plantas C4 apresentam maior taxa de fotossíntese em altas temperaturas; as C3, quando aumenta a temperatura, fecha os estômatos e diminui a fotossíntese);
- As temperaturas letais mais altas para a maioria das plantas se situam entre 50 e 60°C, quando ocorre a desnaturação de moléculas e elas perdem a forma adequada para encaixe com outra molécula;
- A maioria das reações químicas de importância biológica é conduzida por enzimas e proteínas que são capazes de manter a sua estrutura química somente para temperaturas inferiores a 45°C;
- O resfriamento prolongado das plantas, com temperaturas acima do ponto de congelamento, retarda o crescimento vegetal e pode matar plantas adaptadas somente às condições quentes;
- O calor excessivo pode destruir o protoplasma vegetal, pois ele tem um efeito ressecante sobre as plantas e as rápidas taxas de transpiração podem levar ao murchamento.

Segundo AYOADE (2001), o clima é uma das variáveis mais importantes na produção agrícola, apesar dos avanços tecnológicos, pois esse fator afeta a agricultura e determina a adequação da produção de alimentos de dois modos: o primeiro é devido aos azares climáticos, tais como geadas e secas; e o segundo, devido ao controle exercido pelo clima em relação às áreas onde se devem plantar determinadas culturas.

Esta sensibilidade por parte de diversas culturas às variações climáticas - particularmente do regime de chuvas e de temperatura - ressalta a importância estratégica das previsões climáticas e do zoneamento agrícola. Para DOORENBOS (1994), a agricultura é a atividade mais subordinada ao clima, sendo que “o êxito ou insucesso das colheitas dependem em 30% a 40% do comportamento do clima”.

Recentemente, a revista *Science* publicou um conjunto de pesquisas e comentários fornecendo dados que mostram a influência negativa das atividades antrópicas no planeta. Em um desses estudos, cientistas da NASA (agência espacial

americana) comprovam, com a ajuda de satélites, que, em média, 29% da radiação solar que incide sobre a Terra é refletida diretamente de volta para o espaço. O estudo mostra que houve uma pequena redução neste valor nos últimos tempos - ou seja, parte fica retida no planeta. A radiação solar é a fonte básica de energia para que a vida se desenvolva: em um sistema climático equilibrado, a quantidade recebida pela Terra e o que devolve para o espaço é equivalente. Se a relação é alterada, todo o ciclo hidrológico, glacial e ecossistêmico é influenciado (GISS, 2008).

✓ **Estudo de Caso (1): Cenários do efeito do aquecimento sobre culturas selecionadas**

Levando em consideração o panorama traçado pelo “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC, 2001), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2005), por meio da sua unidade Informática Agropecuária, em associação com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da UNICAMP, desenvolveu um projeto que prevê a simulação de variações climáticas, denominado: “impacto das variações do ciclo hidrológico no zoneamento agroclimático brasileiro, em função do aquecimento global”. Este projeto visou avaliar um novo zoneamento, baseado na metodologia existente e em simulações e modelagem dessas variações, a fim de evitar perdas futuras e um aumento da cobertura anual do PROAGRO.

O processo para criar um Zoneamento Agrícola baseado nos riscos climáticos, de acordo com ASSAD e CUNHA (2001), “deu-se através da integração de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, base de dados de clima e de solo, técnicas de análise de decisão e ferramentas de geoprocessamento”. Para o desenvolvimento das simulações se adotou a metodologia que levou em consideração a análise frequencial da precipitação pluviométrica e do ISNA (Índice de Satisfação da Necessidade de Águas das Culturas) que é a relação entre ETR (evapotranspiração real) e a ETM (evapotranspiração máxima).

Trabalhou-se com três tipos de solo segundo a capacidade de armazenamento de água, ou capacidade de água disponível (CAD) que foi estimada em função da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, resultando em valores de CAD de 30, 50 e 70mm, para os tipos I, II e III, respectivamente.

Referente às cultivares (soja), FARIA *et al.* (2001), *apud* ASSAD e CUNHA (2001), elegeram duas cultivares hipotéticas, consideradas perfeitamente adaptadas às condições termofotoperiódicas dos diversos locais, com ciclos diferentes, as quais foram chamadas de Precoce e Tardias (para as simulações desse trabalho adotaram-se a cultivar de 120 dias, devido a grande quantidade de mapas que seriam gerados com as duas simulações). A duração de cada estágio fenológico foi determinada para

cada cultivar. Os coeficientes de cultura (Kc) empregados para estimar o consumo hídrico em cada fase foram adaptados daqueles obtidos por Berlato *et al.* (1986) e por Doorenbod e Kassam (1979).

Na etapa seguinte, de acordo com esses mesmos autores, já com as variáveis obtidas, utilizou-se um modelo BIPZON de simulação do balanço hídrico da cultura. Por fim, usaram programas de interpolação de dados (*Surfer 32*®) e um programa na conversão para o formato da base cartográfica dos estados do Brasil (DXFCONV2®). No Quadro 13 são indicados os principais impactos que podem ocorrer com os aumentos da temperatura para 1, 3 e 5,8°C, respectivamente, para culturas selecionadas (EMBRAPA, 2005). Foram elaborados vários gráficos que representam todos os cenários estudados.

De acordo com ASSAD e CUNHA (2001), no caso da soja, o maior impacto é quando a cultura é cultivada em solo arenoso, saindo de 3.403.085 km² de área potencialmente produtiva para 572.515 km², caso ocorra um aumento de 5,8°C. Isso representa uma redução de 75% na área potencialmente produtiva hoje. No caso do milho, o maior impacto é quando a cultura é cultivada em solo arenoso, saindo de 4.662.284 km² de área potencialmente produtiva para 2.916.664 km², caso ocorra um aumento de 5,8°C. Isso representa uma redução de 37% na área potencialmente produtiva hoje.

No caso do feijão, segundo esses mesmos autores, o maior impacto é quando a cultura é cultivada em solo arenoso, saindo de 4.786.270 km² de área potencialmente produtiva para 3.073.634 km², caso ocorra um aumento de 5,8°C. No caso do arroz, o maior impacto é quando a cultura é cultivada em solo arenoso, saindo de 3.814.409 km² de área potencialmente produtiva para 1.863.127 km², caso ocorra um aumento de 5,8 graus. Para cada tipo de solo, os impactos são quantificados como se apresenta no Quadro 9.

QUADRO 9 - Alteração das áreas de plantio no Brasil em função do aquecimento global para culturas selecionadas

SOJA						
SOLO	ÁREAS	APTA	+1°C	+3°C	+5,8°C	PLANTIO
MÉDIO	km ²	3.403.085	2.934.040	2.197.683	1.097.025	01-10/11
	%	100	86	65	32	
ARENOSO	km ²	2.246.963	1.934.397	1.443.263	572.515	11-20/11
	%	100	86	64	25	
ARGILOSO	km ²	4.277.859	3.964.606	3.089.636	1.859.495	01-10/11
	%	100	93	72	43	

FEIJÃO

SOLO	ÁREAS	APTA	+1°C	+3°C	+5,8°C	PLANTIO
MÉDIO	km ²	5.397.365	5.238.039	4.821.513	4.195.496	21-30/11
	%	100	97	89	78	
ARENOSO	km ²	4.786.270	4.532.408	3.978.153	3.073.634	01-10/12
	%	100	95	83	64	
ARGILOSO	km ²	5.722.890	5.612.058	5.264.249	4.838.790	21-30/11
	%	100	98	92	85	

MILHO

SOLO	ÁREAS	APTA	+1°C	+3°C	+5,8°C	PLANTIO
MÉDIO	km ²	5.113.071	5.029.334	4.768.501	4.350.405	21-30/11
	%	100	98	93	85	
ARENOSO	km ²	4.662.284	4.504.038	3.954.298	2.916.664	21-30/11
	%	100	97	85	63	
ARGILOSO	km ²	5.329.825	5.236.272	5.018.830	4.755.838	21-30/11
	%	100	98	94	89	

ARROZ

SOLO	ÁREAS	APTA	+1°C	+3°C	+5,8°C	PLANTIO
MÉDIO	km ²	4.690.459	4.484.011	3.954.298	3.143.726	21-30/11
	%	100	96	84	67	
ARENOSO	km ²	3.814.409	3.379.329	2.561.100	1.863.127	11-20/11
	%	100	89	67	49	
ARGILOSO	km ²	5.104.334	4.931.068	4.531.819	3.833.355	21-30/10
	%	100	97	89	75	

Fonte: ASSAD e CUNHA (2001).

Também foi realizado um estudo sobre o aumento da temperatura média anual do ar de 1°C, 3°C e 5,8°C promoveu uma forte alteração nas regiões consideradas aptas para o plantio do cafeeiro. Considerando o zoneamento atual do café no Estado de Goiás, existem dois níveis de condições climáticas: favorável com irrigação e desfavorável. Ao acrescentar 1°C na temperatura, ocorre um aumento na demanda evapotranspirativa, provocando maior deficiência hídrica, mesmo considerando um acréscimo de 15% na precipitação pluviométrica (ASSAD e CUNHA, 2001).

Segundo esses mesmos autores, o acréscimo de 1°C na temperatura provoca um aumento significativo nas áreas inaptas para o cafeeiro da espécie *coffea* arábica saindo de 61,6% para 85,9%. Analisando os resultados ilustrados na Figura 22 (A), (B) e (C), ao aumentar para 3°C, 99,9% do Estado de Goiás passam para a condição de inapto, inclusive para o café irrigado. Na situação atual, para garantir a produtividade no Estado de Goiás, o café é recomendado sob condição de irrigação. Em função das temperaturas elevadas, a irrigação aparece como regulador térmico, evitando o abortamento das flores.

Comentam ainda, que com aumento da temperatura, e considerando somente o Cenário 1 (aumento de temperatura de 1°C) há uma diminuição na área considerada

apta com irrigação de 38,6% para 14,1%, conforme apresentado no Quadro 10. Considerando o Cenário 2 (aumento de temperatura de 3°C), a área apta com irrigação é praticamente eliminada. Mantida a tendência de aumento de temperatura para os próximos anos e considerando o cenário mais brando, a cafeicultura passa a ser uma prática de alto risco no Estado de Goiás, mesmo em condições de irrigação.

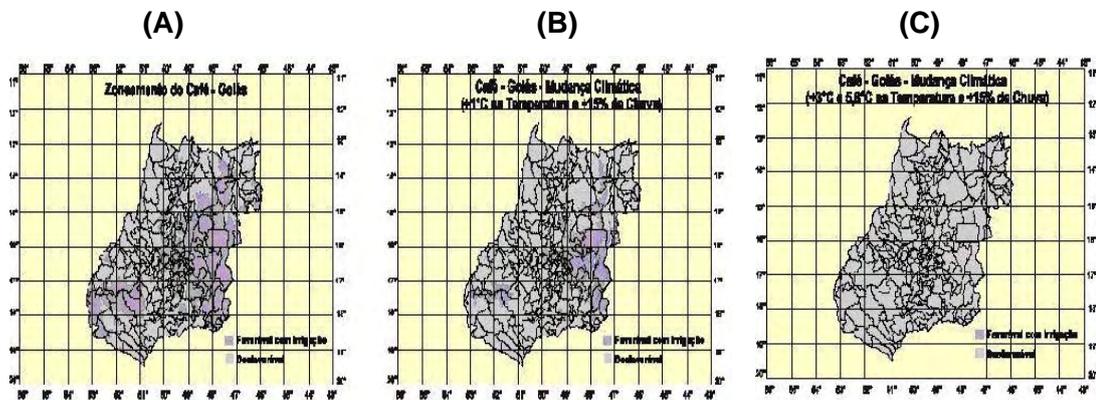


FIGURA 22 - Zoneamento atual do café para o Estado de Goiás (A); Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluviométrica (B); Zoneamento considerando aumento de 3°C na temperatura e 15% na precipitação pluviométrica (C). Fonte: ASSAD e CUNHA (2001).

Na Figura 23 (A, B, C e D) podem-se observar o Zoneamento atual do café para o Estado de Minas Gerais e os cenários previstos.

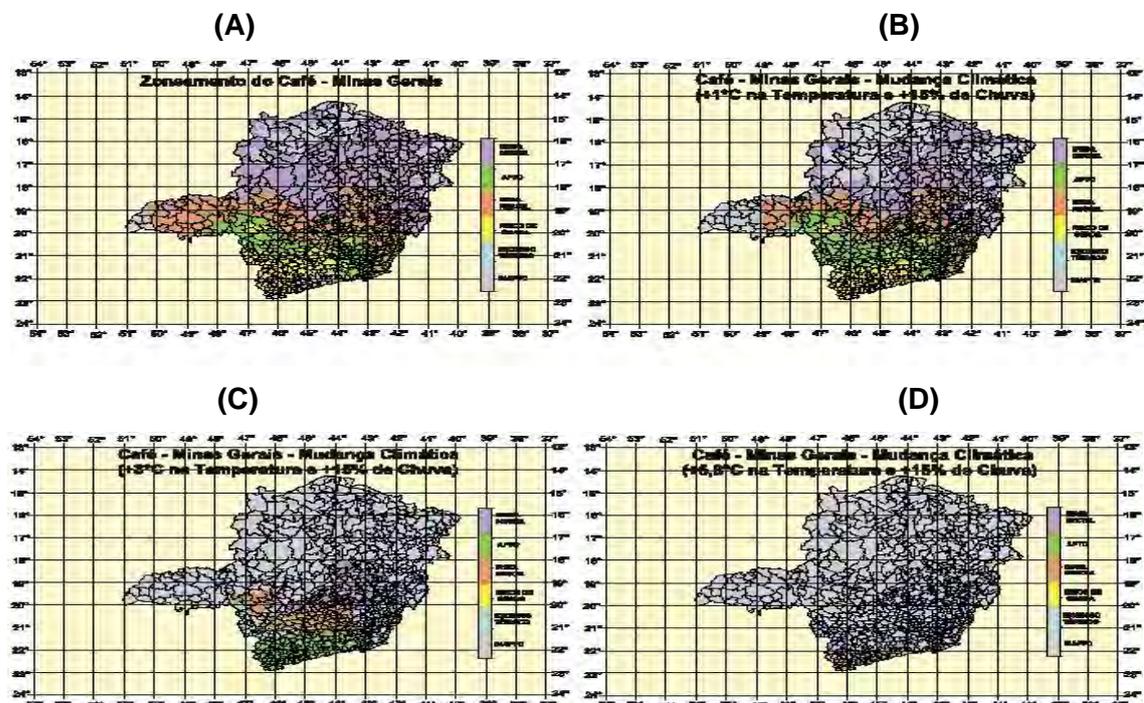


FIGURA 23 - Zoneamento atual do café para o Estado de Minas Gerais (A); Zoneamento considerando aumento de 1°C na temperatura e 15% na precipitação pluviométrica (B); Zoneamento considerando aumento de 3°C na temperatura e 15% na precipitação pluviométrica (C); Zoneamento considerando aumento de 5,8°C na temperatura e 15% na precipitação pluviométrica (D). Fonte: ASSAD e CUNHA (2001)

QUADRO 10 - Resultados finais da simulação do zoneamento do café em Função dos Cenários de Mudanças Climáticas Apresentados pelo IPCC

Goiás						
Porcentagem da Área do Estado por Classe de Aptidão no Zoneamento do Café						
Cenário	Inapto	Excesso Térmico	Risco de Geada	Irrigação Recomendada	Apto	Irrigação Necessária
Atual	61,6	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4
+1°C +15% Chuva	85,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1
+3°C +15% Chuva	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
+5,8°C +15% Chuva	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Minas Gerais						
Porcentagem da Área do Estado por Classe de Aptidão no Zoneamento do Café						
Cenário	Inapto	Excesso Térmico	Risco de Geada	Irrigação Recomendada	Apto	Irrigação Necessária
Atual	24,1	0,4	9,7	19,1	8,9	37,7
+1°C +15% Chuva	43,3	1,0	8,4	13,7	12,4	21,1
+3°C +15% Chuva	76,3	3,6	0,0	6,2	7,7	6,1
+5,8°C +15% Chuva	97,4	0,1	0,0	1,1	0,1	1,4

Fonte: ASSAD e CUNHA, 2001.

3.3.4.2. Ecossistemas aquáticos

Estima-se que, em virtude da intensificação do efeito estufa, a temperatura média na sua superfície deverá elevar-se entre 1,5 e 4,5°C. Essa elevação se dará em resposta ao aumento do nível de CO₂ na atmosfera, que em meados do século, deverá estar em torno de 560 a 600ppm. Ainda não se sabe qual será o padrão de elevação da temperatura, posto que o aquecimento não se dará na mesma intensidade nas diferentes latitudes. Espera-se um aquecimento menor nos trópicos (+2°C) e maior na medida em que se avança em direção aos pólos (+7°C no Círculo Polar Ártico) (PEIXOTO *et al.*, 2001).

O aumento da temperatura terá como consequência mudanças no padrão de circulação atmosférica e, com isso, alterações no regime de chuvas. Estima-se que as áreas atualmente úmidas poderão vir a se tornar mais úmidas e regiões hoje áridas poderão se tornar ainda mais áridas. Haverá, portanto, mudança considerável nos Biomas do planeta, dada a influência da precipitação sobre as comunidades vegetais (MARTINEZ, 2001).

De acordo com esse mesmo autor, a velocidade de mudança do clima será de dez a cem vezes mais rápidas do que a verificada na última transição glacial-interglacial. Com isso, muitas espécies poderão não conseguir migrar com a rapidez necessária para acompanhar a mudança climática e virem a se extinguir. Estima-se, por exemplo, que o aquecimento de 1°C no limite mais quente e seco de uma floresta fará com que cerca de 100 a 200 milhões de ha se transformem em savanas. Espera-se, ainda, que o aumento de CO₂ na atmosfera provoque um aumento da fotossíntese e, conseqüentemente, do crescimento vegetal. Mas suspeita-se de que esse fato não

deverá beneficiar a flora, já que em comunidades naturais as plantas dependem de outros fatores, como nutrientes e água.

A mudança no padrão de chuvas poderá trazer sérias conseqüências em muitas regiões do planeta, às atividades que dependem dos recursos hídricos. Segundo GISS (2008), efeitos devastadores podem ser provocados pelos chamados "eventos climáticos extremos", como inundações e tempestades. A entidade afirma que "65 países em desenvolvimento, representando mais da metade da população total dos países em desenvolvimento em 1995, vão perder cerca de 280 milhões de toneladas em potencial de produção de cereais como resultado das mudanças climáticas".

Diante desses fatos, questiona-se o que poderá acontecer ao Brasil, no que diz respeito à água. As conseqüências das mudanças climáticas são inúmeras e já estão sendo evidentemente sentidas. O que tem sido consenso e divulgado por muitos cientistas, é que mesmo o Brasil, que possui boa parte da água doce e potável do planeta, terá sérios problemas com relação à água e à produção de alimentos. Nos dias atuais, boa parte das cidades de médio e grande porte já tem problemas com o abastecimento de água, tendo de captá-las por intermédio de extensas tubulações, a um elevado custo (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

Os eventos climáticos não ocorrem de maneira isolada. As atividades antrópicas sobre o meio ambiente, tais como a pecuária e a agricultura, estão também alterando a dinâmica do clima, e, por conseguinte, das águas de todo o planeta. Considerando os efeitos individuais e cumulativos do efeito estufa e da destruição da camada de ozônio, pode-se sugerir que os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco poderão ser afetados (BARRETT, 1998). A Figura 24 (A e B) mostra as alterações climáticas ocorridas no Estado de Minas Gerais, quando comparadas as décadas de 1970 e 1990.

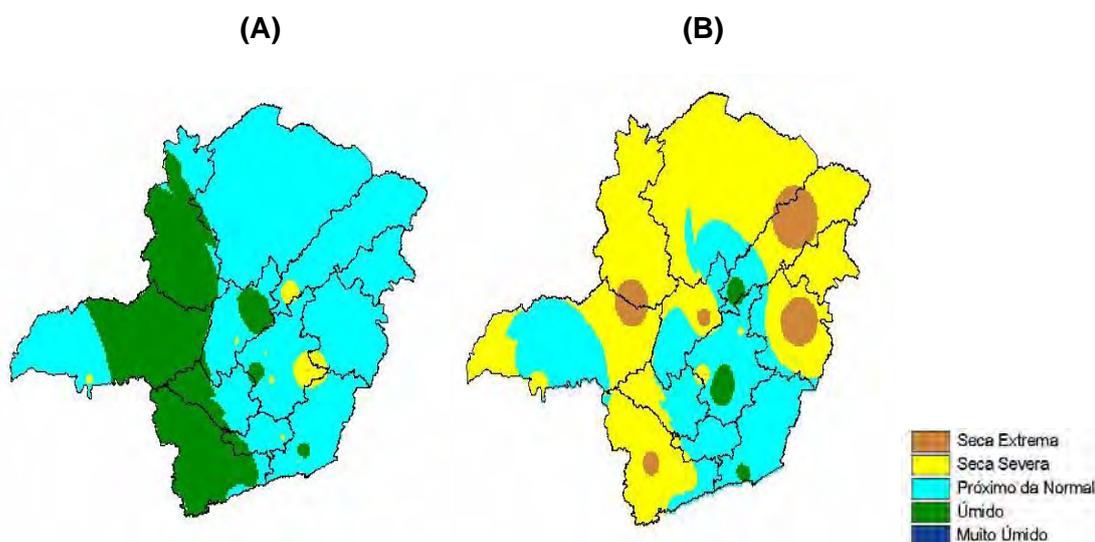


FIGURA 24 - Alterações no clima no Estado de Minas Gerais entre as décadas 1970-1990. Fonte: ANA, 2004.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do nível e da distribuição das chuvas. Nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, já se percebem a redução da precipitação na área de drenagem das bacias (LATUF, 2007). Dessa forma, aí está a importância de natureza climática. Na verdade são de difícil quantificação todas as possíveis conseqüências, especialmente porque muitas das externalidades e impactos são desconhecidos e incalculáveis. As mudanças climáticas podem elevar a necessidade de escolha entre usos, por exemplo, irrigação ou geração de energia, proteção da vida aquática ou diluição de esgoto.

Estudo de Caso (2): Mudanças climáticas e a bacia hidrográfica do rio São Francisco

Os eventos climáticos não ocorrem de maneira isolada. Um exemplo desse fato é que a intensidade de chuva sobre o nordeste e o sudeste do Brasil, áreas geográficas onde a bacia hidrográfica do rio São Francisco está inserida, em parte pode ser explicada pela temperatura da superfície das águas do Oceano Pacífico (HASTENRATH e HELLER, 1997; HASTENRATH, 2006). De acordo com BARRETT (1998), o clima local, global e regional resulta da interação entre variáveis como pressão atmosférica e temperatura das águas superficiais dos oceanos. Essas e outras variáveis afetam, por conseguinte, a ocorrência de chuvas.

Vários cientistas, em todo o mundo, concordam que as mudanças climáticas já afetam e afetarão o ciclo hidrológico; mas os impactos e a capacidade de remediação destes, quando possível, ocorrerão de formas diversas nas diferentes regiões (GLEICK e KIPARSKY, 2004). Essas ligações ou interconexões (teleconexões, de acordo com NASCIMENTO, 2007), como o El Niño, modificam o clima local, regional e global, e, conseqüentemente, alteram o ciclo hidrológico.

As atividades antrópicas, tais como a pecuária e a agricultura, estão também alterando a dinâmica do clima e, por conseguinte, das águas do planeta. Sobre essas relações e alterações, cabe considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia. Tais conceitos partem do princípio que as mudanças ao meio ambiente causadas por ações antrópicas em combinação com outras ações - do passado, presente ou futuras - podem de alguma forma potencializar os efeitos ambientais em uma dada região. Considerando os efeitos individuais e cumulativos das interconexões, do efeito estufa e da destruição da camada de ozônio, sugere-se que os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco poderão ser afetados (SOUZA, 2007; EPE, 2008).

Segundo NASCIMENTO (2007), as teleconexões e mudanças climáticas em geral influenciam os recursos hídricos porque alteram o clima e podem causar eventos extremos, como secas e inundações, levando ao aumento ou redução na vazão dos rios; no nível de evaporação da água contida no solo, da superfície das plantas e dos

corpos aquáticos; na quantidade de água perdida por transpiração por diferentes espécies de plantas; na quantidade e distribuição de chuva; na infiltração de água no solo; entre outros.

Considerando a grande extensão do rio São Francisco e a diversidade de ambientes que compõem a sua bacia hidrográfica, a sua grande população, a geração de hidroeletricidade, a irrigação e a diluição de esgoto, que figuram entre os maiores usos dos recursos hídricos da bacia, tais efeitos poderão ser imprevisíveis e, ou, dramáticos (CBHSF, 2004). Para se analisar os efeitos das teleconexões e mudanças climáticas, em geral, tem-se de pensar em duas situações (NASCIMENTO, 2007): escassez e excesso de chuvas – que, no caso do rio São Francisco, podem ocorrer conjuntamente em regiões distintas da bacia.

A seca é um fenômeno que castiga o Nordeste e afeta a qualidade e quantidade de água disponível, assim como ocasiona outras externalidades e impactos sócio-econômicos e ecológicos. As mudanças climáticas podem afetar a frequência e a intensidade desses eventos. Considerando as zonas áridas do nordeste do Brasil, estudos indicam que sofrerão ainda mais com secas resultantes das mudanças climáticas, se nada for feito para reverter o quadro atual (Marengo, 1992, *apud* LIMA, 2006). A redução do volume anual de chuva no nordeste do Brasil foi correlacionada a anos de ocorrência do El Niño (Aceituno, 1988; Uvo, 1998, *apud* IPCC, 2001).

Uma elevação da frequência e da área de ocorrência das secas afetará o acesso e a distribuição da água da bacia hidrográfica - externalidades e impactos diretos e indiretos podem ser criados. A redução dos recursos hídricos pode, entre outros: levar à ocorrência de desertos (OYAMA e NOBRE, 2004); causar a escassez de água para consumo humano, para espécies de animais e plantas; destruir/reduzir a produção/produktividade agrícola; aumentar a demanda de água para irrigação; incrementar a migração populacional para centros urbanos (AB' SABER, 1999).

A seca pode afetar, também, a geração de energia e o tamanho da população atingida, já que a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), principal empresa de geração elétrica da bacia, é responsável pelo abastecimento de energia das grandes capitais nordestinas (CHESF, 2004). Já se sentiu o efeito da falta d'água durante o racionamento e "apagão" ocorrido no ano de 2001. Espécies aquáticas também serão prejudicadas. A mudança nas características dos corpos aquáticos, como a elevação da temperatura e o aumento da salinidade devido à escassez e baixo nível da água, pode causar alteração na composição de ecossistemas, como a perda de espécies. O decréscimo da vazão na foz pode levar à entrada de água salgada do oceano Atlântico no rio São Francisco, destruindo *habitats* e espécies.

Por outro lado, poderia acontecer o caso de aumento da quantidade e frequência das chuvas. Isso já está ocorrendo em diferentes lugares do mundo, como nos Estados Unidos, e vem sendo atribuído às mudanças climáticas e às teleconexões (National Center for Atmospheric Research, 1994, *apud* SCHMIDT *et al.*, 2001). O El Niño também pode causar aumento de chuva no sul do Brasil, efeito inverso ao que pode ocorrer no nordeste (Ropelewski e Halpert, 1989; Grimm *et al.*, 1996, 2000 *apud* IPCC, 2001). Mudanças climáticas podem alterar a intensidade das chuvas na região sudeste (Marengo, 1992 *apud* OYAMA e NOBRE, 2004).

Considerando que 73,5% da vazão natural média do rio São Francisco vem do estado de Minas Gerais (MMA & SRH-MMA, 2006), dessa forma, a vazão do rio São Francisco seria elevada. Esse fato poderia influenciar o uso das estruturas construídas para a geração de energia e outras formas do uso da água e da terra. Mais chuva levaria a uma maior erosão na bacia, a maior entrada de sedimentos e outros elementos poluentes nos afluentes e no rio São Francisco, por exemplo, resíduos de agroquímicos. A poluição das águas poderia elevar os custos para limpeza e purificação de água pelas empresas de tratamento e distribuição (NASCIMENTO, 2007).

As espécies aquáticas poderiam ser prejudicadas pela destruição dos *habitats*, pelo aumento da quantidade de sedimentos e conseqüente turbidez da água, além da redução da penetração da luz necessária as espécies que precisam desta para realizar a fotossíntese (MASON, 2002). Populações ribeirinhas sofreriam com inundações, perdendo as produções das várzeas e casas; especialmente porque as companhias hidroelétricas, provavelmente, precisariam abrir as comportas para permitir a passagem da água e reduzir o perigo da destruição das estruturas (CHESF, 2004; ANEEL, 2005).

Por outro lado, o crescimento no volume de chuva, em outras regiões da bacia, poderia aumentar o potencial agrícola que hoje depende de irrigação em áreas interioranas e semi-áridas (de Minas Gerais e do Nordeste), se a água chegasse a áreas apropriadas; e poderia elevar a capacidade de produção de energia elétrica, que hoje é abaixo do potencial instalado (*ibidem*).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do nível e da distribuição das chuvas. Dessa forma, aí está a importância de natureza climática. Na verdade é difícil a quantificação de todas as possíveis conseqüências, especialmente porque muitas das externalidades e impactos são desconhecidos e incalculáveis. As mudanças climáticas podem elevar a necessidade de escolha entre usos, por exemplo, irrigação ou geração de energia, proteção da vida aquática ou diluição de esgoto.

As políticas públicas destinadas à administração dos recursos da bacia terão que levar em consideração essas questões e ter em mente a necessidade de existência de diversos cenários para tentar se adaptar às mudanças climáticas. A água doce não tem substitutos para a maioria dos usos e o seu ciclo tem sido diretamente influenciado por mudanças antrópicas para atender as necessidades humanas, como no caso de irrigação e hidroeletricidade (VOROSMARTY e SAHAGIAN, 2000).

3.3.5. Reação da comunidade internacional à mudança climática

Um estudo divulgado pelo IPCC, no início de fevereiro de 2007, apontou para um cenário apocalíptico em consequência do aquecimento global. Contudo, a maioria dos governos, pressionada por interesses econômicos, procura postergar e protelar a adoção de medidas de precaução e de prevenção, baseadas em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias alternativas.

Na COP 12, realizada no Brasil em dezembro de 2006, cada um dos países participantes apresentou um inventário de suas emissões de gás carbono na atmosfera. No Brasil, a maior parte dessas emissões se deve à derrubada e queimada da floresta amazônica. A dificuldade de lutar contra o desmatamento decorre, entre outros motivos, dos financiamentos conseguidos pelos grandes agricultores no Mato Grosso do Sul junto ao Banco Mundial, sob a argumentação que o agronegócio contribui para o desenvolvimento brasileiro e insistem no sentido de que se relaxe a fiscalização e as exigências de licenciamento ambiental.

Os custos sociais e ambientais das atividades extrativistas e agrícolas não são compilados, muito menos compensados. Na verdade, não há uma única solução para estabilizar as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa, principalmente o CO₂. Muitos esforços terão que ser feitos simultaneamente, e todos os países terão que dar sua parcela de contribuição. Algumas medidas mitigadoras e, ou, recuperadoras têm sido apontadas para contribuir com a redução do aquecimento global.

Além das medidas voltadas para reduzir a quantidade de CO₂ liberado na atmosfera, será preciso implementar ações visando acelerar a absorção do CO₂ já liberado. A meta é alcançar a absorção de 1 Gt de carbono anualmente, por intermédio de um amplo programa de reflorestamento, que deverá abranger uma área de 100 a 200 milhões de ha. Essa linha de ação pode abrir novas oportunidades de negócios para os países em desenvolvimento, por meio de projetos financiados pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Em outra estimativa, cerca de 30% do território nacional é constituído de terras impróprias para a agricultura, entretanto passíveis de serem utilizadas para produção florestal. A utilização de metade dessa área, ou seja, 1,2 milhões de km², em regime

de manejo sustentável, poderão produzir cerca de 300 milhões de ton. ano⁻¹ madeira, volume que é o dobro da produção prevista para 2010. É plausível imaginar o reflorestamento de 10 mil km² por ano em todo o Brasil durante os próximos 40 anos (RELATÓRIO...1991).

Considerando essa possibilidade tornar-se uma realidade, no ano 2030, aproximadamente, até atingir o total da área reflorestada, o total de carbono acumulado seria da ordem de 2,5GtC. Após essa fase, a taxa de fixação seria de aproximadamente 0,1GtC ano⁻¹, absorvida até que as florestas atingissem a maturidade (entre 40 a 100 anos). Esse volume fixado de C corresponde a uma percentagem entre 25% a mais de 50% das atuais emissões brasileiras de carbono devido ao desmatamento na Amazônia (*ibidem*).

Dessa forma, fazendo-se um breve retrospecto, desde a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo (Suécia) em 1972, até a 12ª Reunião das Partes das Nações Unidas (COP - 12), realizada no Brasil em 2006, revela raros resultados concretos. A publicação anual "Little Green Data Book", lançada recentemente pelo Banco Mundial, revela que apesar de todos os alertas da comunidade científica sobre as conseqüências do aquecimento global, as emissões dos gases do efeito estufa estão aumentando: em escala global, as emissões de dióxido de carbono em 2003 foram 16% maiores que em 1990.

O documento mostra ainda que, como grupo, os países industrializados estão longe de alcançar as metas do Tratado de Quioto e que as emissões por pessoa na China e Índia são muito menores que nos Estados Unidos e Japão. Um cidadão chinês emite 16% do que um norte-americano emite e um indiano é responsável por apenas 6%. Nos países em desenvolvimento, as emissões originam principalmente da agricultura e mudança do uso da terra.

No Brasil, dados da Embrapa apontam que igarapés da Região Amazônica não têm mais potencial de pesca e apresentam sinais de contaminação, constatados por meio do baixo pH e da baixa concentração de oxigênio da água. A diminuição de oxigênio também decorre da construção de mini-represas e desvios nos cursos dos rios, feitos por fazendeiros para abastecer suas lavouras e pastagens. Numa das amostragens, os pesquisadores analisaram a qualidade das águas em três agrobacias de Paragominas, com cobertura florestal de 18%, 34% e 45%, respectivamente, e compararam os resultados entre si e aos de uma bacia situada a 80 km do município, cuja mata nativa está intacta. A conclusão é que o nível de poluição dos riachos aumenta drasticamente conforme a quantidade de plantações de grãos, reflexo do uso excessivo de agroquímicos.

Embora tenha assinado o Protocolo de Quioto, em 1997, o Brasil não foi incluído no grupo Anexo I - países industrializados que precisariam reduzir suas emissões de

gases causadores de efeito estufa durante o primeiro período de vigência do acordo. Entretanto, junto com a China, Índia e África do Sul, países emergentes de industrialização recente, o Brasil está sendo pressionado a adotar medidas mais concretas para reduzir suas emissões, durante o segundo período.

No setor agropecuário, considerando o atual cenário de mudanças climáticas, os pesquisadores, técnicos e demais envolvidos, defrontam-se com dois dos mais importantes desafios para a humanidade: a) o uso eficiente dos recursos na produção de alimentos, onde o aumento da produção deve estar associado a uma preocupação constante com o uso racional dos recursos tais como solo, água, energia e agroquímicos; e b) atender a tal demanda de forma sustentável, ou seja, aumentar a produtividade, preocupando-se com a conservação dos recursos naturais.

3.4. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Nessa seção serão relacionados os caminhos necessários para se atingir o Desenvolvimento Sustentável, bem como as políticas que vêm sendo definidas para esse fim, com sugestões para a sua efetiva implementação. Isso é de fundamental importância, posto que os limites de crescimento do planeta já foram ultrapassados. Novos modos de produção necessitam ser estabelecidos e praticados para que haja crescimento e desenvolvimento sustentáveis.

De acordo com o relatório da FAO (2002), as projeções de consumo de alimentos vão continuar a crescer nos países em desenvolvimento pelos próximos trinta anos. Deixa claro que em torno do ano de 2030, 3/4 da produção mundial projetada vão estar ocorrendo nos países em desenvolvimento comparados a metade produzida nos anos 1960. A maior parte desses incrementos em produtividade virá da intensificação da produção de alimentos e pressupões que esta derive do incremento da produtividade das culturas e de formas mais intensivas de uso da terra.

Como consequência dessa busca incessante, em face dessa nova realidade, nos últimos anos, o impacto social e ecológico da globalização vem sendo discutido extensivamente por acadêmicos e líderes comunitários. Suas análises demonstram que a nova economia está produzindo uma resultante de consequências interligadas e danosas - aumentando a desigualdade e a exclusão social, um colapso da democracia, deterioração mais rápida e abrangente do ambiente natural e ascensão da pobreza e alienação. Na verdade, passa-se por um período que pode ser chamado de uma profunda crise de percepção.

De acordo com CAPRA (2003), o novo capitalismo global ameaça e destrói as comunidades locais por todo o planeta; e amparado em conceitos de uma

biotecnologia deletéria, invadiu a santidade da vida ao tentar mudar diversidade em monocultura, ecologia em engenharia, e a própria vida numa “commodity”. Daí que surgiu, nas últimas décadas, a preocupação de se desenvolver um novo modelo de produção, de crescimento, de desenvolvimento.

Entretanto, nos últimos anos, o termo “Desenvolvimento Sustentável” passou a ser usado, de forma exagerada e sem qualquer tipo de controle, de forma equivocada e indiscriminada, sem qualquer equacionamento mais profundo de suas bases. Os inúmeros estudos críticos da expressão denotam que o problema já está preocupando os ambientalistas estudiosos, em face ao vazio que resultou das análises precisas realizadas.

3.4.1. Introdução

A expressão “Desenvolvimento Sustentável” havia sido usada publicamente desde 1979, mas só começara a se afirmar em 1987, quando Gro Harlem Brundtland, a presidente da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, explicou à Assembléia Geral da ONU que se tratava de um “conceito político”. O famoso documento Nosso Futuro Comum, de forma intencional, visava estabelecer uma aliança com países da periferia, em um processo que deveria ser decisivo para a realização da Rio-92 (SOUZA, 2004).

De qualquer forma, a partir daí que se iniciaram uma série de mobilizações em todo o mundo. Pode ser percebida como um dos maiores ideais surgidos no século passado, em face do ressurgimento da idéia de “justiça social”. Ambos são valores fundamentais de nossa época por exprimirem desejos coletivos enunciados pela humanidade, ao lado da paz, da democracia, da liberdade e da igualdade. Entretanto, as diversas versões sobre o “Desenvolvimento Sustentável” ainda estão longe de delinear o surgimento dessa nova utopia de entrada no terceiro milênio.

Na abordagem de Marx, *apud* SCHMIDT (1976), as relações sociedade/natureza são enfocadas nas formas como determinada sociedade se organiza para o acesso e uso dos recursos naturais. Na concepção marxista, a relação do homem com a natureza é sempre dialética: o homem informa a natureza ao mesmo tempo em que esta o informa. Com esse conceito de intercâmbio orgânico, Marx introduz uma concepção nova da relação do homem com a natureza. Assim, o universo é visto como um sistema total composto de subsistemas interligados, que se afetam recíproca e continuamente, produzindo movimento e desenvolvimento; ou seja, pressupõe-se teoricamente a indissociabilidade entre natureza e sociedade.

Nesse contexto, pode-se afirmar que a idéia de objetivar o Desenvolvimento Sustentável revela, inicialmente, a crescente insatisfação com a situação criada e imposta pelos modelos vigentes de desenvolvimento e de produção das atividades

antrópicas. Resulta de emergentes pressões sociais pelo estabelecimento de uma maior equidade social. Na elaboração da Agenda 21 Brasileira, foi considerada fundamental que se promova à substituição progressiva dos sistemas agropecuários e florestais simplificados, como as monoculturas, por sistemas diversificados que integrem a produção animal e vegetal. Portanto, exigem a combinação dos conhecimentos agrônômicos e florestais clássicos com o conhecimento “sistêmico”, ou seja, que permitam integrar os diversos componentes de um agroecossistema (SOUZA, 2004).

Dessa forma, a proposta da Agenda 21 é bem mais complexa do ponto de vista metodológico, demandando disponibilidade, aptidão e cooperação dos ensinamentos específicos, assumindo perspectivas interdisciplinares. Esse tipo de conhecimento depende, em grande parte, da adoção de políticas públicas que promovam avanços nessa direção, atentando para o fato de que tão importante quanto gerar novos conhecimentos e tecnologias apropriadas, é fazê-los chegar ao seu destino (*ibidem*).

Ultimamente, organismos internacionais tais como o Banco Mundial (BIRD) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), têm sugerido que o Estado deve ser o coordenador da formação de uma abordagem sistêmica que integre organismos públicos envolvidos nesses sistemas produtivos, de ensino, de pesquisa, de extensão, Organizações não governamentais (ONGs), empresas privadas e sociedades civis organizadas. A extensão e a pesquisa têm estado voltadas para uma dupla preocupação: intensificação do uso do solo nas terras já ocupadas e o desenvolvimento de fontes de geração de renda em sistemas baseados na conservação dos recursos naturais (ENA, 2003).

3.4.2. Conceitos

➤ Visão econômica/antropocêntrica

Define o desenvolvimento “como as modificações da biosfera e a aplicação dos recursos humanos, financeiros, vivos e inanimados, que visam à satisfação das necessidades humanas e a melhoria da qualidade de vida do homem” (MACEDO *et al.*, 2000).

➤ Visão ecológica/ecocêntrica

Em 1987, a Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela ONU em 1983, publicaram um relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”. Com esse documento, iniciou-se um processo de debate sobre as questões ambientais e o desenvolvimento, onde, apesar de o homem ser o centro das preocupações, começou a preocupação com as gerações futuras e da consciência que a sua qualidade de vida é dependente da qualidade do meio ambiente (MASER, 1999). Esse relatório contém a definição a respeito de desenvolvimento sustentável

mais divulgada e reconhecida mundialmente: “é o conjunto de ações que geram processos de transformações na exploração dos recursos naturais, na direção dos investimentos e na orientação do desenvolvimento tecnológico com vistas a garantir a expectativa e o potencial de vida presente e das gerações futuras”.

3.4.3. Análise conceitual: divergências e propostas alternativas

Na visão econômica/antropocêntrica, desenvolvimento significa a manutenção ou a melhoria dos padrões de vida humana. Sob a ótica ecológica/ecocêntrica, significa a manutenção das funções dos sistemas ecológicos. Realmente, alcançar uma relação de harmonização entre objetivos considerados, a princípio tão opostos, como aqueles relacionados à conservação ambiental e à promoção do desenvolvimento sócio-econômico, não é tarefa fácil.

Para GODARD (1997), o futuro do meio ambiente deve ser questionado, sobretudo, no domínio das modalidades de gestão dos seus recursos, tanto no caso dos mesmos estarem sendo sobre-explorados, quanto no caso de sua exploração estar acarretando a degradação do meio ambiente. Para DIEGUES (1997), as estratégias alternativas de desenvolvimento sustentável devem incluir como seus componentes essenciais: a) “o respeito pela dinâmica dos sistemas naturais; b) o uso de tecnologias científicas capazes de incorporar a riqueza embutida nas formas tradicionais de conhecimento dos ecossistemas; e c) a preocupação pela equidade social e pela viabilidade econômica das ações de desenvolvimento”.

3.4.4. Questões ambientais atuais

Apesar de toda a polêmica gerada, recentemente, as questões ambientais têm conquistado adeptos em todo o mundo. Para Sallier (1990), *apud* BELLIA (1996), deve haver um equilíbrio, e não oposição, entre o econômico e o ecológico. PEARCE e TURNER (1989), considerando a importância dos aspectos ecológicos e, também, do econômico, advertem: benefícios imediatos, geralmente, não são consistentes com o bem-estar de longo prazo, ou mesmo, com a própria sobrevivência humana.

Com relação ao uso abusivo dos ecossistemas aquáticos, faz-se necessário a análise do seu comportamento hidrológico. É um passo fundamental na gestão de recursos hídricos, sobretudo para a determinação de disponibilidades hídricas atuais e futuras, posto que modificações no regime de vazões de uma bacia hidrográfica podem ser decorrentes de mudanças do tipo de uso do solo, da variabilidade climática, de construção de barragens ou de aumento da irrigação, dentre outros fatores. A troca de uma cobertura por outra altera o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica, tendendo a alterar o comportamento das vazões (COSTA *et al.*, 2003).

Neste contexto, inserem-se as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, que de acordo com RODRIGUEZ (2004), de 1970-2000, a irrigação apresentou um consumo superior a 78% do total da vazão consumida, chegando à taxa de 93% na bacia do Entre Ribeiros. Na verdade, essa bacia reproduz os diversos ecossistemas brasileiros: a desarticulação entre as ações e estratégias de gestão ambiental e territorial, podendo ser explicada em grande parte, pela incapacidade do estado brasileiro programar políticas de transformação dos comportamentos individual e coletivos. Por exemplo, a realização do manejo correto da irrigação com o auxílio de “softwares”, como o IRRIPLUS, podem mitigar tal impacto e racionalizar o uso da água. O novo modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil tenta romper essa antiga regra.

3.4.5. Política pública

Na prática, apenas a definição de políticas públicas não são suficientes: é preciso que ocorra uma mudança em todo o campo organizacional e nas práticas educacionais que visem transformações sólidas e duradouras. Devem ter a iniciativa de propor posicionamentos mais coerentes com esse apelo por mudanças, necessitando, portanto, de uma visão estratégica do desenvolvimento em longo prazo, que implicam no projeto de uma gestão mais integrada dos recursos naturais e do meio ambiente (GODARD, 1997; HOFFMAN, 1997).

PURSER (1997) afirma que o desenvolvimento sustentável requererá mudanças fundamentais na percepção cultural, como a consciência de que o meio ambiente não está limitado aos ecossistemas biofísicos, mas incluem uma rede de interações entre a consciência humana, os sistemas sociais e o meio natural, formando um centro integrado. Ou seja, fica caracterizada a importância dessa visão holística do meio ambiente. De acordo com BUTTEL (1998), é necessário que haja uma prática sócio-regulatória decorrente de uma regulação ambiental dentro de uma nova visão de sustentabilidade.

As leis ambientais e políticas públicas no Brasil, em função da percepção surgida a partir da década de 1970. As manifestações e críticas nacionais e internacionais que exigiam uma definição na política ambiental receberam especial atenção, particularmente durante a elaboração da Constituição de 1988, resultando em um capítulo inteiramente dedicado às questões ambientais. Efetivamente, houve a elaboração e implementação de políticas públicas com caráter marcadamente ambiental e com forte tendência descentralizadora (SOUZA, 2004).

De acordo com CUNHA e COELHO (2003), é possível identificar, nitidamente, pelo menos três tipos de políticas ambientais: as regulatórias, as estruturadoras e as indutoras de comportamento:

- Regulatórias - referem-se à “elaboração de legislação específica para estabelecer ou regulamentar normas e regras de uso e acesso ao ambiente natural e a seus recursos, bem como à criação de aparatos institucionais que garantam o cumprimento da lei”. Como alguns exemplos mais recentes: criação da Secretaria do Meio Ambiente (1990); Promulgação da Lei dos Crimes Ambientais (1998); criação da Agência da Água (ANA) (2000) e do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (2000);
- Estruturadoras - tais políticas “implicam intervenção direta do poder público ou de organismos não-governamentais na proteção ao meio ambiente”. Como exemplo a formulação da Política Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (1999); e
- Indutoras - referem-se “às ações que objetivam influenciar o comportamento de indivíduos ou grupos sociais, normalmente identificadas com a noção de desenvolvimento sustentável e são implementadas por meio de linhas especiais de financiamento ou de políticas fiscais e tributárias”. Como exemplos: implantação de certificação ambiental (selo verde) e das ISOs (“International Organization for Standardization”), ISO 9000 e ISO 14000; construção da Agenda 21 Local/Regional (a partir de 1992); promoção de ações de educação ambiental e incentiva aos processos de gestão ambiental para a reversão de práticas agropecuárias (década de 1990).

Recentemente, essas políticas têm promovido transformações em todos os segmentos da sociedade, além de cobrar, do poder público, maior atuação na sua fiscalização e monitoramento. Porém, deve-se estar consciente, que o modelo estatal ou tecnocrata de regulação, quando não é acompanhado de políticas estruturadoras e indutoras, corre o risco de não funcionar. Isso acontece frente à carência de pessoal, fundos e equipamentos necessários para a execução dessas atividades, de fiscalização e monitoramento das regras de uso e acesso aos recursos naturais, estabelecidos por leis e decretos, particularmente nos países em desenvolvimento.

Para o relatório do WORLD WILDLIFE FUND - WWF (1999), apesar da posição de destaque do Brasil em face às nossas riquezas naturais e possuindo umas das mais rigorosas legislações ambientais do mundo, afirmam que os órgãos responsáveis pela fiscalização e monitoramento vêm se mostrando ineficazes no combate à devastação, resultando em perda de biodiversidade, por exemplo: o caso da Mata Atlântica no passado e a história atual do Cerrado e da Floresta Amazônica. Considerando as unidades de conservação federais (UCs), esse relatório comenta que: a) das 86 unidades avaliadas, 41% foram consideradas medianamente ou muito vulneráveis à ações antrópicas; e b) aquelas UCs de uso integral (lugar onde o uso dos recursos naturais não é permitido), 41% delas têm mais da metade da área de seu

entorno desmatada e vulneráveis: ocupadas por agricultura intensiva, pólos industriais, centros urbanos ou mineradoras.

Para TUNDISI (2003), as soluções não podem ser desprovidas de embasamento técnico e capacidade real de solução de problemas, desenvolvendo-se parcerias. Para ele, na recente ênfase de gestão de recursos hídricos, a bacia hidrográfica como conceito de estudo e gerenciamento, pode prover esta melhor integração entre ecologia profissional e ativismo ambiental, cujo distanciamento vem trazendo problemas e atraso nas decisões.

O conceito de bacia hidrográfica aplicada ao gerenciamento de recursos hídricos, “estende as barreiras políticas tradicionais (municípios, estados, países) para uma unidade física de gerenciamento e planejamento e desenvolvimento econômico e social” (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002). “A falta de visão sistêmica na gestão de recursos hídricos e a incapacidade de incorporarem/adaptarem o projeto aos processos econômicos e sociais atrasam o planejamento e interferem em políticas públicas competentes e saudáveis” (BISWAS, 1983). Para TUNDISI (2002), o gerenciamento adequado da bacia hidrográfica é fundamental, exigindo que ocorra a integração entre o setor privado e usuários, universidade e setor público.

De acordo com WEID (1997), as políticas públicas voltadas para o meio rural, para que atendam as reais necessidades requeridas para o desenvolvimento sustentável, devem ser direcionadas no sentido de promoverem: a) o acesso à terra, com modelos de associativismo e cooperativismo, incluindo educação ambiental como estratégia de difusão de tecnologia; b) questões no campo técnico e do manejo e conservação dos recursos, visando a mudança do modelo convencional de agricultura para outro que valorize os conhecimentos e a cultura local, com baixo uso de insumos energéticos e de alta diversidade ecológica; c) questões de pesquisa e do conhecimento - exige nova organização em sua execução, posto não poder ser feita em laboratório e nem universalizada, tendo como elaboradores os produtores, os pesquisadores e os técnicos; d) questões econômicas - deve atender os quesitos da sustentabilidade e possibilitar a ascensão do produtor; e) alterações no plano ideológico - apesar do meio científico estar culturalmente ligado ao modelo convencional, a agricultura familiar deve aproveitar o momento de busca pela naturalidade e passar a receber o suporte e o direcionamento de políticas públicas como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF); e f) perspectiva político-organizativa - a política ideológica deve ser no sentido da incorporação de práticas agrícolas alternativas, como a agroecologia, pelas organizações representativas.

3.4.6. Procedimentos necessários para atingir o desenvolvimento sustentável

Na visão do RELATÓRIO...(1991) são os seguintes principais procedimentos necessários para atingir o desenvolvimento sustentável:

- Formação de recursos humanos - destes, deverão resultar a universalização do acesso à educação básica e à conscientização da população com respeito aos problemas ambientais;
- Política pública - deverá ter como prioridade a área social voltada para os recursos humanos, sendo necessário ampliar e intensificar a formação de educadores e profissionais;
- Organização e administração dos processos de trabalho nos diversos setores;
- Descentralização sistemática do aparelho decisório;
- Desenvolver políticas específicas em função das peculiaridades regionais e a promoção prioritária de atividades geradoras de empregos, capazes de assimilar e incorporar tecnologias que maximizem o aproveitamento de recursos energéticos locais;
- Estimular cursos de formação, reciclagem e pós-graduação dirigidos à área ambiental;
- Promover treinamentos intensivos em gestão de recursos e impactos ambientais, nas empresas privadas e nas instituições públicas;
- Criar uma base organizacional compatível com novos modelos de gestão;
- Colocar em prática uma nova gestão ambiental, na qual o Estado deve repartir responsabilidades com o setor privado, ONGs e com a sociedade em geral, tanto por questões financeiras, como democráticas; e
- Criar sistemas tecnológicos fechados, ou seja, com o mínimo de dependência dos recursos naturais.

Porém, segundo esse relatório, apesar de ter ocorrido no Brasil, alterações significativas no tratamento das questões ambientais, do ponto de vista político, legal e institucional, o mesmo não pode ser dito do ponto de vista econômico, financeiro, científico e tecnológico, cujas questões estruturais impedem a plena concretização de soluções de curto prazo. Isso porque também devem ser revistos os conceitos sócio-econômicos, necessitando, portanto, alterações das políticas públicas. Dessa forma, fica evidente a necessidade de formulação de novas estratégias, sobretudo em matéria tecnológica e financeira, envolvendo o setor privado, pelo papel que este desempenha na geração de tecnologias e no sistema financeiro.

3.4.7. Tecnologias apropriadas e sua gestão

De acordo com BELLIA (1996), analisando o comportamento da humanidade ao longo de sua história, observam-se um enorme fascínio pelo uso de novas

tecnologias, associadas ao desenvolvimento de novos produtos e, ou, processos de produção. Porém, apesar de significativas vantagens proporcionadas com essas inovações, servindo de auxílio para a solução de grandes problemas, questiona-se a sua efetividade, com inúmeras dúvidas, como aquelas que questionam se efetivamente tem havido melhoria na qualidade de vida e até onde se devem ir com a modernização dos padrões tecnológicos.

Estas perguntas devem ser profundamente analisadas quando o objetivo é o desenvolvimento sustentável, e as suas respostas devem estar apoiadas no campo ético-moral. Isso porque a busca pelo desenvolvimento sustentável, não podem ser considerados apenas fatores como a eficiência para afirmar que uma determinada tecnologia é apropriada para a manutenção, elevação ou degradação da qualidade de um determinado sistema social, sendo necessário a definição do grupo de critérios a serem utilizados para a determinação se uma tecnologia é apropriada ou não. Questões como o consumo de energia na produção, geração de resíduos e o tempo para a degradação natural de um produto, devem ser considerados no desenvolvimento das novas tecnologias, que deverão possuir os atributos e critérios das tecnologias apropriadas.

Para BELLIA (1996), “três ênfases básicas podem ser identificadas no desenvolvimento do conceito de tecnologia apropriada: a) a preocupação com o significado sócio-político das tecnologias; b) com o seu tamanho, nível de modernidade e sofisticação; e c) com o impacto ambiental causado por elas”. Para VEIGA (1994), os atributos e critérios das tecnologias que garantem o desenvolvimento sustentável são aqueles que garantem a (o): a) manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agropecuária; b) mínimo de impactos adversos aos produtores; c) retorno adequado aos produtores; d) otimização da produção com o mínimo de insumos externos, reduzindo os riscos de poluição e aumento da entropia no sistema; e) satisfação das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais; e f) satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda.

Baseado nesses princípios e condições, considerando a cultura e desejo pessoal dos produtores e das comunidades, deve sair as linhas de pesquisa que definirão as tecnologias apropriadas. CASTOR (1983) propôs um grupo de critérios para analisar de maneira multidimensional as tecnologias: a) eficiência econômica; b) escala de funcionamento; c) grau de simplicidade; d) densidade de capital e trabalho; e) nível de agressividade ambiental; f) demanda de recursos finitos; e g) grau de autoctonia e auto-sustentação.

De acordo com o RELATÓRIO... (1991), os avanços científicos e tecnológicos voltados para o setor produtivo, deverão permitir a implantação de indústrias limpas,

“que estão na base de um crescimento econômico mais equilibrado e integrado como o meio ambiente”. Para isso deve haver uma visão equilibrada e integrada do meio ambiente, sistêmica, que favoreçam a própria gestão da tecnologia. Dessa forma, os usos de tecnologias apropriados oferecerão oportunidades de otimizações regionais, absorvendo a tradição cultural do meio onde estão inseridas, oferecendo uma base empírica para a compreensão dos problemas locais e favorecendo o surgimento de empreendimentos.

Considerando os problemas encontrados nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, relacionados à irrigação, o uso dos programas IRRIPUS e STELLA, podem contribuir de forma significativa para a solução desse problema. Associado a essa questão, o uso da modelagem e da ciência Dinâmica de Sistemas a solução poderá ser encontrada. Principalmente, caso se adote a Avaliação Ambiental Integrada como regra, e os Sistemas de Gestão Ambiental como condição essencial de funcionamento - vislumbrar-se-ia um futuro onde seria possível atender os requerimentos fundamentais ao Desenvolvimento Sustentável.

3.4.8. Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável

O conceito de gestão ambiental ganha um maior número de adeptos no início da década de 1990, fruto da crescente conscientização da sociedade pela necessidade da conservação dos recursos naturais e da consolidação das políticas ambientais do tipo indutoras de programas e projetos com caráter ambiental.

Nesse período, aconteceu a Conferência Mundial do Meio Ambiente (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro e a edição da série ISO 14000 que certifica o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) da empresa. A implantação dos SGAs nas empresas torna possível a redução e o controle dos impactos causados ao meio ambiente por suas atividades produtivas, compatibilizando o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (SOUZA, 2006).

Para BELLIA (1996), o objetivo básico da gestão, considerando a consciência de que os recursos naturais são finitos, é a obtenção dos maiores benefícios por meio da aplicação dos menores esforços. Dessa forma, o indivíduo, a comunidade e as empresas, buscam aperfeiçoar o uso dos recursos disponíveis, sejam eles de ordem financeira, material ou humana. Para GODARD (1997), a gestão de um sistema tem por objetivo assegurar seu bom funcionamento e seu melhor rendimento, mas também sua perenidade e seu desenvolvimento.

O SGA busca melhorar o desempenho ambiental e a operacionalização de uma organização, levando a empresa a adotar uma postura preventiva ao invés de corretiva. Dessa forma, são evitados os desperdícios, por meio da redução no uso de matéria-prima e da prática de reciclagem dos resíduos. Com essa medida, economizam-se recursos e a própria produção de resíduos, reduzindo os impactos ao

meio ambiente (SOUZA, 2006). Nesse sentido, a gestão da qualidade ambiental depende do conjunto de questões relativas à apreensão da especificidade dos sistemas vivos nos processos de conhecimento e ação.

Inicialmente, deve ser promovido o conhecimento do capital natural, com enfoque patrimonial, no qual o ponto de partida reside no reconhecimento da complexidade, da globalidade, da totalidade e da interatividade que caracterizam os sistemas vivos e a esfera humana. De acordo com OLLAGNON (1997), essa realidade faz com que sejam consideradas três orientações gerais: a) um enfoque sistêmico; b) o acolhimento a todas as formas de conhecimento; e c) um procedimento centrado num objetivo de ação. Para PURSER (1997), a implantação do SGA deve estar fundamentada e apoiada em três pilares, que garantirão que esta seja viável em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais (Figura 25).

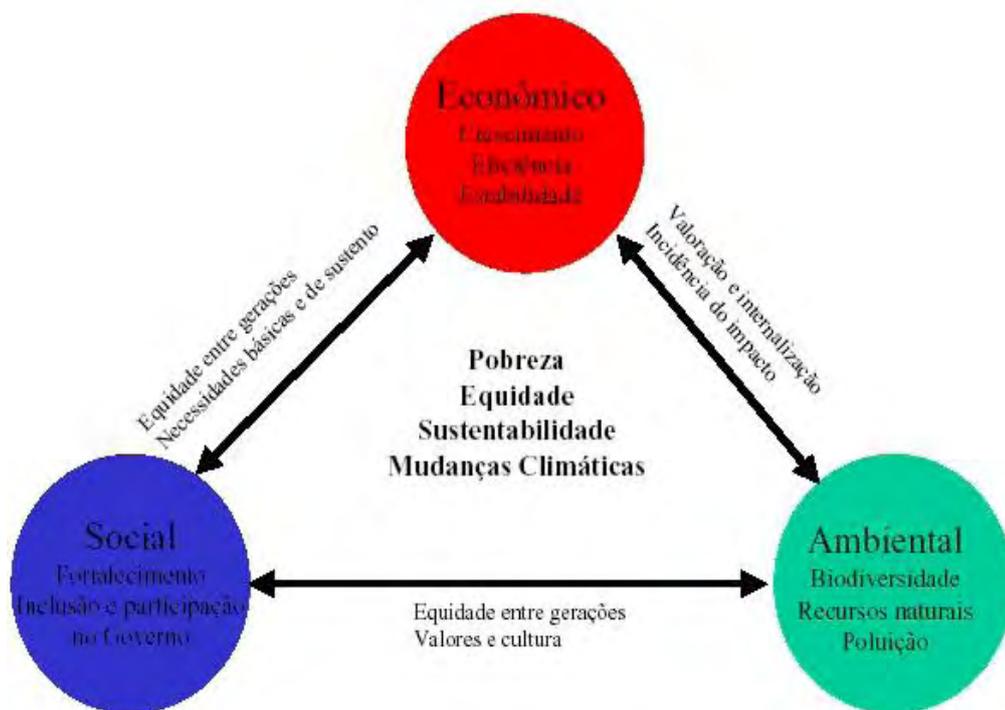


FIGURA 25 - Elementos chave do Desenvolvimento Sustentável e suas interconexões. Fonte: ENA (2003).

Considerando a importância no fortalecimento desses três aspectos, a gestão ambiental tende a evoluir do controle centralizado e rígido e do planejamento ineficiente atual, para uma linha de ação que induza a cooperação de um grande número de atores com um comportamento coerente e participativo, contudo, sem a necessidade de constituir uma organização formal (SOUZA, 2006).

Para SACHS (1997), a descentralização oferece importantes espaços de manobra para a implantação de procedimentos de gestão patrimonial, na medida em que ela amplia a responsabilidade direta dos agentes do setor público sobre aquilo que configura a qualidade cotidiana da vida em suas comunidades, seus estados ou

suas regiões. Para isso, a participação deve ser pensada em todos os seus níveis: a) nos processos de formulação das políticas e nas estratégias de gestão ambiental descentralizada das instituições públicas; e b) nas etapas de implementação dos projetos (CUNHA e COELHO, 2003).

O modelo de gestão das bacias hidrográficas, adotados na legislação brasileira com a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, pela Lei 9.433/97 (Lei das Águas) e regulada pelo Decreto 2.612/98, é baseado nos pressupostos do co-manejo e da descentralização das tomadas de decisão. A abordagem tradicional sempre foi realizada de forma compartimentada e não integrada. Com o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, representou um avanço conceitual importante e integrado de ação. Nesse sentido, os comitês de bacia e as agências de água representam (re) arranjos institucionais com o objetivo de conciliar interesse diversos e muitas vezes antagônicos, assim como controlar conflitos e repartir responsabilidades (SILVA, 2002; CUNHA e COELHO, 2003; TUNDISI, 2003).

Desta perspectiva, “a promoção de uma gestão integrada de recursos naturais e do meio ambiente pode nos levar não só ao questionamento de certas modalidades técnicas de exploração, mas também estimular a busca de transformações das condições sociais que cercam seu exercício. A simples gestão de recursos naturais pressupõe certamente que se possam apreender ao mesmo tempo os aspectos técnicos e sócio-institucionais do processo de desenvolvimento” (GODARD, 1997).

Na escala da sociedade, a gestão ambiental aparece como um dos principais componentes da gestão das interações entre sociedade/natureza e de suas transformações reciprocamente impostas ou possíveis numa perspectiva de co-evolução no longo prazo. Portanto, o SGA deve garantir a princípio: a) assegurar sua boa integração ao processo de desenvolvimento econômico; e b) assumir as interações entre recursos e condições de reprodução do meio ambiente, organizando uma articulação satisfatória com a gestão do espaço e aquela relativa aos meios naturais (SOUZA, 2004).

O sucesso dependerá da orientação inicial do SGA que deverá estar de acordo: a) com os interesses sociais representados; b) com os objetivos que estimulam o desenvolvimento sócio-econômico; e c) com os meios e instrumentos que se encontram à disposição dos gestores. Portanto, a gestão ambiental constitui atualmente o centro onde se confrontam e se reencontram os objetivos associados ao desenvolvimento e ao ordenamento, com aqueles direcionados à conservação da natureza ou da qualidade ambiental (SOUZA, 2006).

Para o desenvolvimento do Sistema de Gestão Ambiental, devem ser seguidos os passos constantes na NBR ISO 14.001, que são: o estabelecimento da política

ambiental e o planejamento de sua implantação. Constitui o primeiro passo: a) o comprometimento da alta administração; b) a revisão dos aspectos ambientais envolvidos; e c) a elaboração da política ambiental propriamente dita. Posteriormente, passa-se a fase de planejamento: deve-se orientar pela política ambiental preestabelecida, identificando e avaliando os aspectos ambientais, analisando os requisitos legais, os critérios internos de desempenho e definindo os objetivos e metas ambientais a serem alcançados (NARDELLI e GRIFFITH, 2000).

Percebe-se, entretanto, que a expressão Desenvolvimento Sustentável tem causado controvérsias e gerado polêmica. Afinal, refere-se a um novo modelo de pensamento que visualiza um mundo diferente daquele em que atualmente se vive. O novo modelo, chamado de visão holística, concebe o mundo como um todo integrado, em uma rede de fenômenos interconectados e interdependentes, e não uma superposição de partes dissociadas.

As tendências que apontam para a integração e autodepuração estão presentes em todos os sistemas vivos: caso se dê ênfase a uma em detrimento da outra, gera o desequilíbrio. Os valores atuais e futuros deverão ter uma visão ecocêntrica, reconhecendo a importância inerente da vida em qualquer forma que se adote, posto que todos os seres vivos são membros de comunidades ecológicas ligadas em uma rede de interdependência.

No cenário desenhado pelas mudanças climáticas o ambiente natural foi severamente degradado e visualiza-se a escassez dos recursos naturais, posto serem escassos e limitados. Há de se considerar que a tecnologia atingiu o cotidiano de praticamente toda a população; contudo, verifica-se fortemente, ainda, o atraso sócio-econômico e cultural. Na verdade, os problemas trazidos para o século XXI não podem ser entendidos isoladamente, porque também são sistêmicos, interligados e interdependentes. De fato, a escassez dos recursos e a degradação ambiental se combinam com populações em rápida expansão e sem planejamento. A crença no progresso ilimitado via crescimento econômico e tecnológico se mostraram insustentáveis.

Dessa forma, a tão discutida retomada do crescimento, intensamente discutida nos dias atuais, não é suficiente para a solução dos diversos problemas e não é a melhor alternativa para se chegar ao Desenvolvimento Sustentável. É necessário que haja, paralelamente à transformação da estrutura produtiva que garanta a recuperação do dinamismo econômico, políticas que promovam uma maior equidade social. Os critérios de eficiência econômica, orientados apenas pelas forças de mercado não são suficientes para reduzir as desigualdades sociais e regionais, típicas no Brasil, e ao uso racional dos recursos naturais.

Contudo, o que se percebe, é que apesar de terem ocorrido no Brasil alterações significativas no tratamento das questões ambientais, do ponto de vista político, legal e institucional, o mesmo não pode ser dito do ponto de vista econômico, financeiro, científico e tecnológico, cujas questões estruturais impedem a plena concretização de soluções de curto prazo. O que se tem verificado é a expansão de áreas desmatadas em todo o País, o aumento de áreas de pastagens degradadas, o crescimento de áreas contaminadas por agroquímicos, a ausência de saneamento básico, entre outros. Na verdade, discutiram-se nessa seção quais são os principais procedimentos necessários para se atingir o desenvolvimento sustentável, que na prática não vêm sendo praticados em sua forma plena.

3.5. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Essa seção tem como objetivo levantar informações de interesse prático sobre as instituições atuantes no setor de recursos hídricos, sejam aquelas que congregam organismos de bacia, sejam aquelas que apóiam os projetos e programas do setor, técnica e, ou, financeiramente. Na verdade o objetivo é verificar como andam as ferramentas tradicionais e aquelas inovadoras para a gestão das águas. Assim, pretende-se inserir os conceitos de Pensamento Sistêmico e de Dinâmica de Sistemas, que serão discutidos na seção 3.6. da presente revisão de literatura, como uma estratégia que venha contribuir e satisfazer de forma ampliada ao princípio da gestão participativa, um dos pontos sagrados do esquema de tomada de decisão sobre o uso dos recursos hídricos.

Na verdade, o setor tem que constantemente se renovar, posto que a base de dados no Brasil ainda é insuficiente. O setor já é capaz de abrigar uma variada gama de ações e tarefas capaz de atrair uma série também variada de instituições e entidades, além dos órgãos governamentais, algumas na condição de agentes executivos, outras como apoiadoras e, ou, financiadoras. Esta peculiaridade do setor de recursos hídricos é uma decorrência natural das características do recurso natural de que trata, principalmente a participação deste na trama de relações inter-setoriais da economia, na qual transita com incrível ubiqüidade.

Há de se considerar que foi a natural evolução da sociedade brasileira, que levou à construção de todo um novo arcabouço institucional, capaz, ao que se pretende agora apresentar, de conferir a necessária racionalidade a seu sistema de gestão de recursos hídricos. Sabe-se que o problema da limitação da quantidade de água não constitui apenas, uma preocupação das regiões áridas e semi-áridas. Caso se contabilizasse o total de perdas - somente as físicas - de água no conjunto de

atividades de todos os usuários desse recurso, mesmo nas regiões úmidas chegar-se-ia a um número surpreendentemente elevado, como vem ocorrendo na prática da irrigação.

3.5.1. Introdução

Tem-se verificado, a partir da década de 1960, em função dos modelos de crescimento e desenvolvimento implementados, que a água vem se tornando um fator cada vez mais crítico para o desenvolvimento econômico e social de longo prazo, bem como para a sustentabilidade ambiental. De acordo com GARRIDO (2004), a primeira e grande dificuldade para a gestão dos recursos hídricos provém de sua distribuição irregular, espacial e temporal, em praticamente, todo o planeta. Há de se considerar ainda como agravante, o fato que atualmente cerca de 70% da população mundial vive em cidades.

Os indicadores precedentes demonstraram que o Brasil é a maior potência hídrica do mundo, apesar de alguns contrastes regionais. A escassez de água nos anos recentes, associada aos lamentáveis episódios de contaminação de rios, lagos e acumulações subterrâneas, além dos conflitos entre usuários competidores, conduziu à formulação, em bases inteiramente novas, da política para o setor de recursos hídricos, cujos aspectos institucionais serão explorados nesta seção.

Por instituições de um setor se compreendem as entidades atuantes no mesmo, além dos textos legais, dos mercados existentes e de aspectos outros que emolduram o quadro em que se inserem os problemas desse setor. No caso dos recursos hídricos, são as naturezas física, biótica e, sobretudo, antrópica, presentes no espaço geográfico da bacia, que conformam o conjunto de seus problemas (GARRIDO, 2004).

Historicamente, toma-se como marco inicial da abordagem da questão dos recursos hídricos no Brasil o dia 10 de julho de 1934, quando foi decretado o Código de Águas pelo então Presidente Getúlio Vargas e seu ministério. Apesar dos quase setenta e quatro anos de homologação, o Código de Águas é, até hoje, considerado pela Doutrina Jurídica como um dos textos modelares do Direito Positivo Brasileiro, pois ainda constitui o elemento básico da substancialidade da norma, encontrando-se a maioria de seus dispositivos perfeitamente atual neste início de novo século (CEDRAZ, 2003).

Considerando a hidrografia brasileira, com rios caudalosos passando por diversos acidentes topográficos, é previsível a opção pela geração hidrelétrica, razão pela qual a produção energética do país é predominantemente de origem hidráulica. É neste cenário que se desenrolaria a questão da utilização dos cursos d'água do país, como que renunciando um vasto programa que viria a ser estabelecido, a partir de

1978, por meio de um intenso debate em decorrência do qual viriam a surgir novas instituições, com a redefinição de papéis de organismos existentes e, sobretudo, com a criação de instrumentos de gestão verdadeiramente revolucionários (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

O que é importante salientar é o fato de que, até o final dos anos 1970, a imensa maioria das barragens brasileiras era construída com a finalidade exclusiva de geração de energia hidrelétrica, sem se tomar em consideração os demais usos da água que atualmente ainda sofrem as restrições impostas pela utilização dos recursos hídricos para fins energéticos (GARRIDO, 1998).

Essa assimetria de tratamento, privilegiando o setor energético, viria, mais tarde, sofrer vários tipos de reações, nomeadamente a partir dos interesses de outros setores usuários dos recursos hídricos, tais como: a agricultura irrigada, o abastecimento urbano, além, evidentemente, das reações desencadeadas a partir de 1972, em favor da preservação ambiental, tendo em vista o debate que se generalizou depois da realização da Conferência Mundial do Meio Ambiente e do Bem Estar Humano, em Estocolmo (GARRIDO, 1996).

As reações contribuíram decisivamente para que se instalasse uma longa fase de transição, a qual ainda se desenrola, com a construção, capítulo por capítulo, do novo setor de gerenciamento de recursos hídricos do país. Há quem considere não tratar-se de um setor a gestão dos recursos hídricos, pois esta se dispõe, em verdade, como um corte em vários segmentos econômicos, principalmente aqueles que são os chamados setores usuários da água (GARRIDO, 2003).

Entretanto, o fato de passar a ter um programa anual próprio, com orçamento claramente definido e, sobretudo, por se organizar multidisciplinarmente, envolvendo um extraordinário conjunto de conhecimentos tecnológicos e científicos, o planejamento e gerenciamento do uso dos recursos hídricos se firmou como uma atividade que envolve os mais variados agentes econômicos, consagrando-se como um setor propriamente dito (*ibidem*).

3.5.2. Os problemas reais

Pode-se afirmar que o movimento em favor da instalação de um sistema nacional de gestão de recursos hídricos começou a avançar com a edição das portarias interministeriais dos anos de 1978 e 1979, que recomendaram a classificação e o enquadramento das águas do país, e criaram e regulamentaram o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas - o CEEIBH. A partir desse momento o debate em torno da gestão por bacia hidrográfica cresceu sobremaneira, e inúmeros comitês de bacia foram instituídos, ampliando-se o número de técnicos, de usuários da água, de integrantes de ONGs e de outros tipos de

organizações. Gerou-se grande expectativa em torno do estabelecimento do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH), que deveria trazer, em seu conjunto, as normas e diretrizes que permitiriam a colocação em prática de vários instrumentos indutores do uso racional da água (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

Ocorre que esse sistema novo de gestão trazia consigo o ineditismo da gestão compartilhada, conferindo importante papel aos usuários das bacias, aos poderes executivos detentores de domínio sobre as águas e, principalmente, à sociedade civil organizada, uma das mais importantes revelações do século e milênio que se acabavam. Entretanto, tais recompensas viriam encontrar o Estado brasileiro ainda imergido em um período de arbítrio, que se estendera de 1964 a 1985, espaço longo o suficiente para que o mesmo se houvesse desacostumado ao cumprimento de suas funções básicas de dar sustentação aos sistemas de educação, saúde, segurança e de assegurar o desenvolvimento regional integrado (CEDRAZ, 2003).

Nesse período, o Estado passou a consagrar o seu tempo, talento e prioridades financeiras às atividades que são inerentes, por excelência, à iniciativa e ao capital privado, como a produção petroquímica, a mineração, a irrigação, a construção e operação de sistemas de energia elétrica e de comunicações, entre outros. Assim, ficou evidente a demonstração de que a ênfase maior deveria ser dada ao seu enfoque de estado-empresário. É inegável que a economia brasileira tenha crescido no mencionado período, a taxas invejáveis, concretizando um nível de produção que a colocou na confortável posição de uma das dez maiores economias do mundo. Mas é obrigatório apontar que vários setores tiveram que pagar um elevado preço por esta postura de intromissão do estado na atividade produtiva (*ibidem*).

A evolução institucional do setor de recursos hídricos, por exemplo, ficou paralisada por longos anos, percorrendo a série dos anos 1980 e parte dos anos 1990, para dar nascimento, de modo concreto, ao SNRH. Os anos que começam com o Presidente Sarney, em 1985, representaram o ponto de inflexão da curva que, a partir daí, permite o aquecimento do rico debate de que resultou a construção do referido sistema de gestão (CARRERA e GARRIDO, 1992).

Os estados federados, mais ágeis e sob a liderança de São Paulo, optaram por avançar na parte que lhes cabia, para tanto se apoiando no fato de que são autônomos para se organizarem administrativa e em termos orçamentários. E foi assim que eles começaram a discutir os termos das leis de organização administrativa para a gestão das águas de seus respectivos domínios. O estado de São Paulo iniciou o processo editando a Lei nº 7.663/91, sendo seguido por várias unidades da Federação (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003).

Na seqüência de ações, vários desses estados ainda cuidaram de consolidar ações práticas tais como (GARRIDO, 2004): a) o fortalecimento dos comitês de bacia

já existentes e a criação de novos; b) o aprofundamento dos estudos relativos à criação das agências de bacia e ampliando os estudos e o debate sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, além de acelerarem a aplicação do mecanismo de outorga; e c) sofisticarem, cada um a seu modo, os sistemas de informações para o setor, entre muitas outras providências.

O movimento dos estados atuou como um forte impulso ao Governo da União que, somente a partir de 1995, colocou na ordem do dia a questão do SNRH, do que resultaram grandes avanços, tendo sido a promulgação da Lei nº 9.433/97 a mais importante dessas conquistas. Mas é ainda a falta de aplicação de alguns instrumentos de política que faz com que o setor não esteja marchando com o vigor que se observa em outros países mais desenvolvidos (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

Entre os instrumentos por implementar, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos se situa como o de maior relevância. Ao lado dos demais, é o único capaz de assegurar, em caráter permanente, os fundos necessários aos programas do setor no espaço da bacia. Este é um dos importantes problemas que a gestão dos recursos hídricos hoje enfrenta, uma vez que as decisões tomadas nem sempre têm sido colocadas em prática pela falta do aporte dos recursos financeiros. O comitê é o verdadeiro fórum no qual os problemas e as necessidades são levantados, subsidiando todos os agentes interessados no processo de gestão e as próprias organizações de governo (GARRIDO, 1996; REBOUÇAS, 2004).

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil começou a ser posta em prática com a experiência pioneira do Estado do Ceará, iniciada em novembro de 1998, cobrando-se, inicialmente, na Região Metropolitana de Fortaleza, ação que logo se estendeu para todo o estado. Há, também, a cobrança pela geração hidroelétrica, definida pela lei federal que criou a Agência Nacional de Águas – ANA, que está estruturando a sua colocação em prática. Também, a partir do ano de 2002, a implementação da cobrança em algumas bacias que já avançaram na gestão dos recursos hídricos, como as bacias do Paraíba do Sul e do Piracicaba-Capivari-Jundiá. Esta última um notável exemplo de gestão empreendido por duas importantes instituições, o comitê da bacia e o Consórcio Intermunicipal (GARRIDO, 2007).

Ainda no campo dos problemas reais, as bacias hidrográficas brasileiras sofrem, consoante sua situação geográfica, diferentes tipos de impactos que, para cessarem, requerem sejam atacados em suas causas. Destaque se deve dar aos problemas da contaminação de uma enorme quantidade de rios, lagos e aquíferos do país, além da crônica série de episódios de secas severas, no semi-árido, e das danosas inundações que costumam ocorrer no sudeste brasileiro, como as que ocorreram no mês de janeiro desse ano de 2008.

3.5.3. A Reforma do Estado e a configuração atual do setor de recursos hídricos

O marco principal da atual Política Brasileira de Recursos Hídricos é a Lei Federal nº 9.433/97. A nova lei deveria ser simples o suficiente para (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002): a) proclamar os princípios fundamentais do setor; b) criar os instrumentos de gestão do uso dos recursos hídricos; e c) estabelecer um “arranjo” de instituições, algumas criadas no próprio corpo da lei, outras já existentes, de tal maneira que os instrumentos de gestão pudessem vir a ser utilizados eficiente e eficazmente.

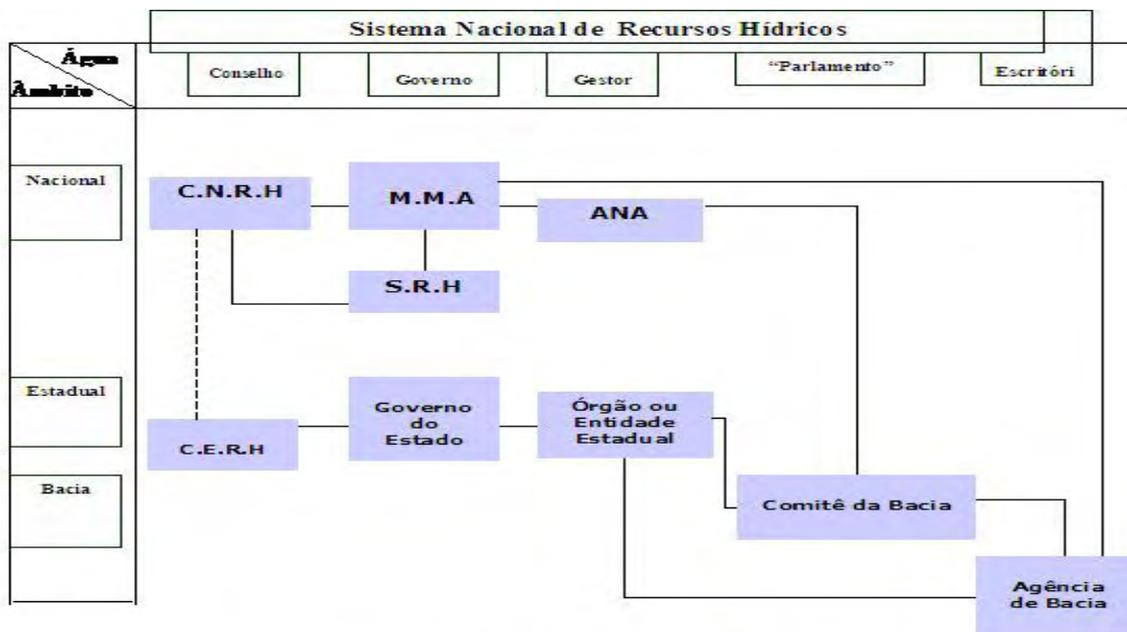
A Lei Federal nº 9.433/97 estabeleceu, entre outros, inúmeras outras disposições, a estrutura institucional do setor de recursos hídricos. Essa estrutura trazia de novo, para a esfera federal do Poder Executivo, a criação dos comitês de bacia e agências de água, o que já havia sido feito por vários estados por intermédio de suas respectivas legislações.

Ocorre que, naquele momento estavam sendo concebidos os capítulos da Reforma do Aparelho do Estado, que estabelecia, entre várias diretrizes, a necessidade de se separarem as atividades de formulação de políticas setoriais daquelas de implementação dessas mesmas políticas. Como recomendação chave em relação a essa diretriz, a reforma sugeria a criação de novas autarquias, mais ágeis, sob a forma de agências reguladoras e implementadoras de políticas, as quais se encarregariam das funções exclusivas do estado. É nesse contexto que seriam criadas as agências reguladoras do petróleo (ANP), de energia (ANEEL), de telecomunicações (ANATEL) e a de recursos hídricos - a ANA (GARRIDO, 2004).

A criação da ANA fez com que o Governo Federal passasse a contar com duas autoridades para o tema dos recursos hídricos, uma já funcionava desde 1995, a Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, a integrar o Núcleo Estratégico do Governo, de acordo com os termos da reforma, e passando a se ocupar da formulação da PNRH; e a nova agência, a ANA, criada pela Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que tem a função de regular e implementar essa mesma política. A nova e atual configuração do setor passa a ter o formato representado na Figura 26, que ilustra o convívio de organismos de finalidades distintas, alguns habitando o espaço dos poderes executivos, outros se localizando no espaço das bacias hidrográficas, separando-se, ainda, nas distintas esferas, federal e estadual.

Esse esquema gráfico mostra que são poucas as relações de subordinação no âmbito do setor de recursos hídricos. As mais notáveis são aquelas relativas à condição de mais elevada hierarquia de que desfruta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. A este, todos os organismos do setor se subordinam de modo igual, e a condição de subordinação das agências de bacia a seus respectivos comitês, condição essencial para a governabilidade da bacia, tomada como unidade

de planejamento no âmbito da PNRH. No mais, os agentes integrantes dessa estrutura atuam com elevado grau de independência e de liberdade, o que confere ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos – SINGREH a característica de um conjunto participativo, próprio da gestão compartilhada, um dos princípios do setor (GARRIDO, 2004).



PRINCIPAIS ATRIBUIÇÕES

- Conselhos** – dirimir conflitos e subsidiar a formulação da Política Nacional de Recursos Hídricos.
- MMA/SRH** – formular a Política Nacional de Recursos Hídricos e subsidiar a formulação do Orçamento da União.
- ANA** – implementar o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, outorgar e fiscalizar o uso de recursos hídricos de domínio da União.
- Gestor Estadual** – outorgar e fiscalizar o uso de recursos hídricos de domínio do Estado.
- Comitê de Bacia** – decidir sobre o plano de recursos hídricos (quando, quanto e para que cobrar pelo uso de recursos hídricos).
- Agência de Bacia** – escritório técnico do Comitê de Bacia e agente local para implementação do SNRH, através de contratos com a ANA e com os gestores estaduais.

FIGURA 26 - Configuração estrutural do setor de recursos hídricos do Brasil. Fonte: ANA/SRH/MMA (2002).

A Lei Federal nº 9.433/97 deferiu ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH a tarefa de estabelecer as diretrizes complementares para a implementação da política do setor. O trabalho do CNRH já avançou passos importantes, tendo editado uma série de resoluções sobre a aplicação dos instrumentos de política do setor. Por outro lado, os governos estaduais também vêm desenvolvendo todo um trabalho de regulamentação de suas respectivas leis de organização administrativa para a gestão de recursos hídricos, evitando desarmonia entre as legislações federal e estadual e materializando um conjunto de textos legais homogêneos (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

Aliado a essa condição, a ANA vem enriquecendo sobremodo o amadurecimento da legislação brasileira, atuando em articulação com os estados e, diretamente, sobre os corpos d'água de domínio da União. Adicionalmente, foi

aprovado o Projeto de Lei (PL) nº 1.616/99, que acrescentou dispositivos relativos à gestão e à organização institucional do SNGRH. O projeto apresenta os seguintes aspectos relevantes: a) remete para o comitê da bacia a decisão de como tratar o dispositivo que indica que os recursos da cobrança devem ser aplicados prioritariamente na bacia que tiver gerado a receita; b) prevê a possibilidade das vazões outorgadas variarem sazonalmente; c) aperfeiçoa o regime de racionamento a que se devem submeter os usuários quando de situações de escassez; d) cria a possibilidade de o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM obter reserva de disponibilidade para as autorizações de pesquisa e lavra de água mineral, termal, gasosa, potável de mesa e destinadas a fins balneários; e) dispõe sobre a outorga de águas subterrâneas no caso de aquíferos subjacentes a mais de uma unidade federada; f) regulamenta o instituto das agências de bacia, sugerindo-lhe a natureza jurídica de fundação de direito privado; g) generaliza a prática do contrato de gestão entre a agência de bacia e a entidade ou órgão gestor, no caso dos estados; e h) redistribui as faixas percentuais de aplicação dos recursos da cobrança¹ (GARRIDO, 2004).

Vários princípios têm sido objetos de consideração não apenas na experiência dos países que mais avançaram no setor, mas também na experiência de alguns Estados brasileiros. Desses princípios, quatro têm prevalecido mais em quase todas as experiências (TUNDISI, 2003): a) adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento; b) usos múltiplos da água; c) reconhecimento da água como um bem econômico e, como tal, dotado de valor econômico; e d) gestão descentralizada e participativa do uso da água.

3.5.4. Instrumentos de Gestão

Os instrumentos adotados na gestão dos recursos hídricos constituem uma parte importante dos aspectos institucionais do problema. Em seu conjunto, eles são capazes de exercer influência sobre quase todo o universo do planejamento e gerenciamento do uso da água. São, portanto, as ferramentas que permitem a realização de um trabalho concatenado, sincronizado, como engrenagens de uma grande máquina. Algum deles, não adequadamente exercitado, pode prejudicar o resultado global do sistema de planejamento e gestão, considerando a dinâmica desses sistemas. De tão relevantes em seu papel, alguns deles são responsáveis pelo aparecimento de organismos novos para a gestão do uso da água. É o caso das agências de água, concebida para aplicar o mecanismo da cobrança e para auxiliar o comitê na tomada de decisão de natureza técnica, além de cooperar com o órgão

¹ Flexibiliza o percentual previsto no Art. 22 da LF nº 9.433/97, estabelecendo que: a) até 90% do total devem financiar os estudos, projetos e intervenções na bacia geradora dos recursos; b) até 7,5% do total devem apoiar o custeio do SINGREH; e c) um mínimo de 2,5% devem ser destinados a estudos, projetos e intervenções prioritariamente em áreas com escassez de água, desde que essa prioridade conste do PNRH e que o CNRH a confirme.

público encarregado do exercício do instrumento da outorga quanto à avaliação dos pleitos dos usuários (GARRIDO, 2004).

Há de se considerar que cobrança e outorga é a própria origem das agências de água, o que bem pode dar uma idéia do alcance desses instrumentos, sendo 6 (seis) os principais (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002): A) Planos de Recursos Hídricos; B) Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos; C) Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos; D) Sistema de Informações em Recursos Hídricos; E) Enquadramento dos Corpos D'água em Classes de Usos Preponderantes; e F) Compensação aos Municípios.

3.5.4.1. Planos de recursos hídricos

O plano de recurso hídrico é o documento programático para a bacia ou região hidrográfica, contendo as diretrizes de uso dos recursos hídricos e medidas correlatas. Devem ser planos com horizontes de prazo compatíveis com os prazos das metas estabelecidas, apresentando um conteúdo mínimo baseado nos seguintes pontos (GARRIDO, 2004): a) diagnóstico da situação da bacia ou região hidrográfica; b) análise das possibilidades de crescimento e transformações demográficas, alterações no perfil da atividade econômica da região, sobretudo a atividade econômica produtiva, além das tendências de alterações nos padrões de ocupação do território; c) projeção do balanço hídrico no médio e no longo prazo, em termos de quantidade e de qualidade, a manterem-se as tendências de uso dos recursos hídricos constatadas na região; d) metas a serem alcançadas, projetos a serem realizados, programas a serem implementados; e) prioridades para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos; f) critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e g) indicação de áreas a serem classificadas como reservas para proteção contra ações degradantes.

Os planos de recursos hídricos, também denominados planos diretores de recursos hídricos, devem ser aprovados pelos comitês de bacia hidrográfica e as suas deliberações se devem submeter todos os organismos integrantes do SNRH². Na elaboração dos planos diretores de bacias ou regiões hidrográficas alguns fatores colocam-se como fortes condicionantes. Tais fatores são (*ibidem*): a) a área física de abrangência; b) o horizonte de tempo que o plano deve alcançar; e c) o papel das partes envolvidas com a elaboração e com a utilização do plano.

Esses fatores servem à orientação dos Termos de Referência (TDR) que são o balizamento do trabalho de preparação do plano diretor. Eles representam, portanto, o

² A LF (Lei nº 9.433/97) adotou a nomenclatura “Planos de Recursos Hídricos”, enquanto que as leis estaduais já promulgadas preferiram intitulá-los “Planos Diretores de Recursos Hídricos”. Quando em uma bacia hidrográfica existir pelo menos um rio de domínio da União, esta participará do comitê e da agência de água, envolvendo-se, por conseguinte, na aprovação do plano de recursos hídricos para a bacia ou região hidrográfica. Neste caso, a única possibilidade de alteração de algum dispositivo do plano corre por conta do CNRH. No caso de bacias hidrográficas em que todos os corpos d'água forem de domínio do estado, a aprovação do plano diretor de recursos hídricos da bacia é feita consoante a legislação estadual.

ponto de partida do trabalho que desaguará no PNRH que é, ao mesmo tempo, a consolidação e a síntese de todos os planos diretores do País. No que concerne ao alcance do plano diretor em termos de horizonte de tempo, para GARRIDO (2004), alguns pressupostos básicos devem ser tomados em consideração. Em primeiro lugar a adoção de um horizonte estratégico de dez anos é indispensável, conforme ilustra a Figura 27, dado que:

- O objetivo fundamental de um plano diretor de usos múltiplos da água é a recuperação ou conservação dos recursos hídricos da região ou bacia, incluindo o conjunto de outros recursos naturais influentes, tais como solos, vegetação e matas ciliares. Acontece que o tempo de uma década corresponde ao horizonte no qual se podem produzir efeitos mais duradouros e mais importantes. Ou seja, a dinâmica dos processos naturais se prende aos ciclos que encontram no prazo de dez anos um intervalo razoavelmente confortável para seu desenvolvimento. Além disso, trata-se de um período longo o suficiente para bem se avaliar, e corrigir, se for o caso, os resultados, positivos ou negativos das diretrizes estabelecidas; e
- A interação das decisões orientadas para a base de recursos naturais, em particular os recursos hídricos, com os outros domínios da política de ordenamento espacial e desenvolvimento regional, demanda um horizonte de, pelo menos duas a três gestões de governo, seja regional ou local, o que termina por apontar para um horizonte também aproximadamente decenal.

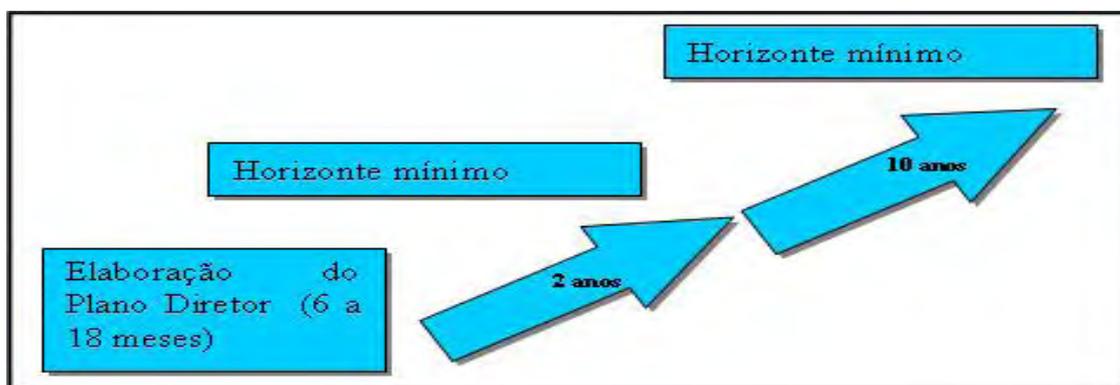


FIGURA 27 - Horizonte temporal de enquadramento. FONTE: GARRIDO (2004).

O PDRH da Bacia Hidrográfica do rio Paracatu, finalizado em 2005, constitui-se em uma atualização/adequação do primeiro Plano Diretor da referida bacia, elaborado no período 1996-1998 (PLANPAR/1996). O PLANPAR (1996) se constitui em um estudo referencial de importância para a bacia hidrográfica, apresentando uma elevada qualidade técnica, ressaltando a proposição de uma matriz de restrições e potencialidades, no que tange aos recursos naturais da bacia, com especial ênfase para os recursos hídricos regionais. Entretanto, este Plano se encontrava desatualizado, especialmente no que concerne ao conteúdo mínimo para Planos

Diretores estabelecido pela Lei nº. 13.199/90 em seu Art.11, incisos I a VIII (MMA & SRH-MMA, 2006).

O atual Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Paracatu, elaborado em 2005, tem como objetivo principal, além de se adequar aos novos preceitos da Lei das águas Estadual e Federal, focar os instrumentos de gestão de recursos hídricos na bacia. O mesmo possui a característica de um documento gerencial, com o objetivo de munir o CBH-PARACATU de informações estratégicas, auxiliando-o em sua tomada de decisões. O processo de planejamento inaugurado neste Plano pretende ser dinâmico, promovendo contínuo monitoramento e avaliação das proposições apresentadas pelo CBH-PARACATU. O Plano (2005) tem um horizonte de planejamento de 10 anos (2005-2015) e prevê sua atualização a cada quatro anos (*ibidem*).

3.5.4.2. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos

A palavra outorga, cujo significado é consentimento, é um instrumento de gestão que objetiva garantir o controle quantitativo dos usos dos recursos hídricos, ao mesmo tempo em que garante o efetivo exercício do direito do usuário de acesso a esses recursos. As outorgas estão condicionadas às prioridades de uso estabelecidas nos planos diretores de recursos hídricos, e devem respeitar a classe em que o corpo d'água estiver enquadrado, além da manutenção, quando for o caso, das condições para o transporte aquaviário. Além disso, a outorga não pode ser expedida se deste ato decorrer prejuízo para os chamados usos múltiplos da água, consoante a vocação da bacia ou região hidrográfica (CODEVASF, 1995).

A experiência mostra que as outorgas têm a faculdade de reduzir conflitos. A filosofia por trás desta afirmação se apóia no fato, já constatado, segundo o qual os usuários competidores estão sempre mais próximos de um conflito quando não há ordem no setor. Há regiões do Estado da Bahia onde os conflitos foram amenizados ou desaparecidos totalmente em algumas situações particulares, tão logo o instrumento da outorga começou a ser aplicado. Isto ocorreu, sem alguma dúvida, porque os usuários em conflito passaram a dirigir-se à autoridade detentora do poder outorgante, a qual buscou, via a mediação, solucionar as dificuldades (GARRIDO, 2004).

A outorga de direito de uso, bem como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, integram o conjunto dos seis instrumentos de gestão definidos pela lei federal brasileira e pelas leis estaduais para o setor. A importância destes dois instrumentos reside no fato de serem eles os verdadeiros indutores do uso racional da água: o primeiro combatendo a ocorrência de conflitos, e o segundo evitando, tanto quanto possível, as externalidades negativas no uso dos recursos hídricos. Por isso eles se

colocam na centralidade do problema da gestão, com a condição adicional de serem inseparáveis (CODEVASF, 1995).

No Brasil, há poucas experiências concretas da implementação do binômio "outorga-cobrança" e, mesmo assim, incipientes. Sabe-se que a complexidade da cobrança já não mais tem sido quanto à questão da formação de preços. Estudos avançados mostram que este já é um ponto superado. A dificuldade na implantação da cobrança é estritamente operacional (REBOUÇAS, 2004). Um dos pontos mais amplamente discutidos em todo o processo de formulação da PNRH foi a chamada "unicidade da outorga", ou seja, a necessidade de o exercício do mecanismo de outorga ser praticado por apenas uma entidade.

Segundo a legislação³, os seguintes usos são objetos da outorga (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002): a) derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo hídrico para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo; b) extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; c) lançamento em corpo hídrico de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; d) aproveitamento de potenciais hidrelétricos; e e) outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo hídrico, como a atividade de irrigação, inclusive a construção ou uso de reservatório em curso d'água. Os seguintes usos estão dispensados da obrigatoriedade da outorga (*ibidem*): a) aqueles que visam à satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural; b) as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes, seja do ponto de vista de vazão, seja do ponto de vista de carga poluidora; e c) as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

GARRIDO (2004) considera ser verdade que no texto da Lei nº 9.433/97 não se estabeleceram os níveis de insignificância, nem para derivações e lançamentos, tampouco para as acumulações de água. Essa especificidade foi deixada para a fase de regulamentação da lei. Um aspecto interessante a assinalar no que se refere a esses usos considerados insignificantes é o fato de que, embora eles independam de outorga, os mesmos não ficarão fora do cadastramento e da fiscalização dos órgãos públicos. A questão do cadastro é relevante, pois ainda que os usos sejam considerados insignificantes, eles podem exercer um efeito de conjunto apreciável. Há de se considerar que em Minas Gerais esse prazo se encerra ao final desse ano de

³ Lei nº 9.433/97: a) uma vazão de seis litros por segundo para as derivações e captações, bem como para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, considerando-se, como critério de medida dessa vazão, a soma da parcela derivada ou captada com a parcela devolvida ao corpo d'água; e b) um volume de duzentos mil metros cúbicos, limitada a altura máxima do barramento a quatro metros, para o caso de acumulação de água.

2008, contudo, os produtores rurais não receberam as informações de forma adequada. Provavelmente, os prazos terão de ser dilatados.

A Deliberação Normativa nº. 09, de 16 de junho de 2004, define os usos considerados como insignificantes para os corpos de água de domínio do Estado de Minas Gerais, que são dispensados de outorga, mas não de cadastro pelo IGAM (por exemplo, é considerado consumo insignificante aquele que for \leq a 1 L s^{-1} ou reservatório/barramento com acumulação $< 5.000 \text{ m}^3$). Tendo em vista a significativa variação da oferta hídrica entre as diferentes regiões do Estado, principalmente quando consideradas as águas superficiais e a sua menor disponibilidade nas regiões norte, noroeste e nordeste, os usos insignificantes para águas superficiais apresentam valores distintos conforme a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH em que ele ocorre (FROÉS, 2003).

A análise de um pleito de outorga demanda conhecimento técnico especializado no que se refere à hidrologia e à hidrogeologia. Por outro lado, esta atividade impõe, também, um conhecimento técnico relativo aos setores usuários de água e suas respectivas demandas unitárias (GARRIDO, 2004). Deverá observar, primordialmente, as disposições contidas nos planos diretores das bacias hidrográficas, especialmente no que se refere (CONAMA, 1999): a) as prioridades de usos definidos para a bacia; b) a classe de enquadramento do corpo d'água, de acordo com a Resolução nº 20/86 do CONAMA; c) a preservação dos usos múltiplos previstos; e d) a manutenção das condições adequadas ao transporte aquaviário.

Algumas situações devem ser esperadas e, para as mesmas, as soluções devem estar previstas. Analise-se, por exemplo, o caso de um pleito de outorga em bacia hidrográfica para a qual ainda não se disponha de um plano diretor. Em primeiro lugar, o tratamento para casos dessa natureza deve considerar práticas conservadoras quanto às vazões que serão outorgadas, evitando-se problemas para o planejamento futuro da bacia ou região hidrográfica. Entretanto, por mais conservadora que seja a atitude na liberação de uma vazão outorgada, deve-se procurar trabalhar com um nível de garantia de 90%. É importante assinalar que o poder outorgante deve estabelecer um cálculo mensal da vazão outorgável para corpo hídrico superficial, em função deste nível de garantia (GARRIDO, 2004).

Outro aspecto a considerar é o fato de que, uma vez que quanto menor for o nível de garantia tanto maior será a vazão outorgável. O poder público somente deverá trabalhar com níveis de garantia inferiores a 90% quando existir uma forte motivação social, ambiental ou econômica que recomende essa decisão. Por fim, o poder público poderá outorgar vazões superiores à vazão outorgável, seja para o corpo hídrico sobre o qual o pleito venha a ser dirigido, seja para corpos hídricos situados a montante ou a jusante daquele (*ibidem*).

No que concerne ao ato administrativo da outorga, que tem o nível hierárquico de portaria, seja para outorgas da União ou dos estados, deste deve constar (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002): a) a localização geográfica e hidrográfica, quantidade, qualidade, nível de garantia e finalidade a que se destina a água; b) o prazo de outorga não superior a trinta e cinco anos; c) a obrigação de recolher os valores da cobrança pelo uso do recurso hídrico, quando exigível; d) informação sobre o incremento de vazão outorgada resultante da outorga, para o corpo hídrico pertinente, e para os corpos hídricos localizados a jusante; e e) a condição expressa segundo a qual os efeitos jurídicos da outorga cessarão nos casos em que o licenciamento ambiental venha a ser indeferido definitivamente.

Segundo GARRIDO (2004), a renovação de uma outorga implica a repetição de todo o ritual cumprido na fase anterior, dispensando-se, evidentemente a apresentação daqueles documentos julgados ainda atuais na fase renovatória. Entretanto, o usuário interessado em renovar sua outorga deve dar partida no processo em um prazo de pelo menos cento e oitenta (180) dias antes do término da validade da outorga vigente. É importante assinalar que as condições, normas, critérios e prioridades em prática à época da renovação podem vir a ser outras em determinada bacia hidrográfica. Neste caso, é com base nessas novas condições que a renovação da outorga será analisada.

A suspensão da outorga pode ocorrer pelo advento de circunstâncias que não são de responsabilidade da administração pública e nem do outorgado. São previstos os casos seguintes para a suspensão, parciais ou totais por período determinado ou em definitivo, da outorga: a) a necessidade de água para atender as situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; b) a necessidade de prevenir ou reverter quadros de grave degradação ambiental; c) necessidade de serem atendidos os usos considerados prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; e d) a necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo hídrico (*ibidem*).

Por outro lado, da outorga dada decorrem algumas obrigações para o usuário dos recursos hídricos. No caso em que este venha a deixar de cumprir alguma dessas obrigações, poderá perder o direito adquirido. Por exemplo, a ausência de uso por três anos consecutivos constitui motivo para a revogação do ato de outorga. Também constitui motivo para a perda desse direito o indeferimento definitivo da licença ambiental do empreendimento. Além disso, a outorga se extingue naturalmente no término de seu prazo de validade, caso o usuário não tenha solicitado renovação, ou ainda caso ele não pague os valores fixados para cobrança pelo uso dos recursos hídricos outorgados, segundo os prazos e critérios estabelecidos pelo comitê de bacia correspondente ou, na ausência deste, pelo poder outorgante (*ibidem*).

Uma série de outras faltas cometidas pelo usuário outorgado leva às penalidades distintas da revogação da outorga. Relacionam-se, a seguir, algumas dessas infrações (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002): a) utilização de recursos hídricos em condições que não estejam de acordo com aquelas estabelecidas no ato de outorga; b) fraude em medições das vazões utilizadas em proveito próprio; c) desatendimento a determinações recebidas da autoridade responsável pela outorga; d) desatendimento a normas a que está obrigado por força das peças do regulamento do SNRH; e e) interposição de dificuldades à ação fiscalizadora das autoridades competentes no exercício de suas funções.

Assinale-se que o poder público outorgante poderá solicitar às agências de água que elas exerçam algumas atividades relacionadas com a outorga de direito de uso dos recursos hídricos situados em suas respectivas áreas de atuação. Tal é o caso da ação dessas agências para (*ibidem*): a) receber os pleitos de outorga; b) analisar tecnicamente os pleitos de outorga; e c) emitir parecer técnico sobre os pedidos de outorga. Mas é oportuno comentar o fato de que o exercício dessas atividades por parte das agências depende da anuência de seus respectivos comitês de bacia hidrográfica.

Em Minas Gerais, as outorgas em águas de domínio do Estado são obtidas junto ao IGAM ou às SUPRAM's; e as outorgas em águas de domínio da União são concedidas pela ANA. Desde o ano de 2003, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) estabeleceu a integração dos processos de licenciamento ambiental, outorga de direito de uso de recursos hídricos e autorização para exploração florestal, por meio da Resolução SEMAD nº. 146, de 05 de junho de 2003. Assim, as licenças e autorizações supracitadas são tratadas em um processo único pelos três órgãos ambientais: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, Instituto Estadual de Florestas - IEF e IGAM (FROÉS, 2003).

3.5.4.3. Cobrança pelo uso dos recursos hídricos

Ao lado da outorga e de outras “ferramentas”, a cobrança atua como um dos mais eficazes indutores do uso racional dos recursos hídricos. Trata-se de uma peça de cunho econômico que vem reforçar uma série de outros elementos comumente utilizados pelas organizações, públicas e privado, para estimular o combate ao desperdício no uso da água (TUNDISI, 2003).

A análise do mecanismo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos sob o ponto de vista institucional toma, também, como ponto de partida, os objetivos desse importante instrumento. São objetivos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos (KELMAN, 1997): a) gerenciar a demanda, influenciando, inclusive, na decisão da localização da atividade econômica; b) redistribuir os custos sociais, na medida em

que impõe preços diferenciados para agentes usuários diferentes entre si; c) melhorar a qualidade dos efluentes lançados nos corpos d'água, uma vez que também será aplicada à diluição e transporte dos rejeitos urbanos e industriais⁴; d) promover a formação de fundos para os projetos, intervenções, obras e outros trabalhos do setor; e e) incorporar ao planejamento global as dimensões sociais e ambientais.

A cobrança atua, ainda, como um elemento indutor da gestão participativa, descentralizada e integrada, uma vez que (*ibidem*): a) os integrantes dos comitês deverão discutir os níveis de preços, a maneira de se colocar em prática e as necessárias alterações de rumo, quando o instrumento da cobrança estiver sendo aplicado; b) as principais decisões sobre a cobrança serão tomadas no âmbito da bacia, com o apoio técnico da agência de água correspondente, razão porque se a toma como atividade descentralizada por excelência; e c) a definição dos valores a serem cobrados leva em conta as questões incidentes sobre as disponibilidades, sobre a qualidade e seus fatores intervenientes, integrando os agentes sociais, institucionais e políticos, induzindo, deste modo, a integração em todas as direções.

Os agentes que estão obrigados a pagar são todos aqueles usuários dos sujeitos ao instrumento da outorga, isto é, estão desobrigados do pagamento pelo uso dos recursos hídricos os usuários de vazões consideradas insignificantes, que também estão desobrigados de se submeterem à outorga. Assim sendo, deverão constituir o contingente de pagadores pela utilização dos recursos hídricos (*ibidem*): a) as empresas e, ou, os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário; b) as indústrias e agroindústrias localizadas fora das redes públicas de distribuição de água e coleta de esgotos; c) os irrigantes; d) os piscicultores; e e) outros usuários não especificados, mas que dependam da outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

Tratando-se de um instrumento voltado para a gestão dos recursos hídricos, a cobrança deve ter a totalidade de sua arrecadação aplicada em atividades do próprio setor. Isto significa dizer que a maior parcela dos valores cobrados deverá ser utilizada em ações e intervenções na bacia ou região hidrográfica onde foram arrecadados (GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 1997). Entre as fontes de recursos desse sistema encontra-se: a) o usuário pagador⁵, por intermédio do pagamento dos valores

⁴ A rigor também deveriam ser considerados os “efluentes” da agricultura irrigada. Isto, todavia não ocorre porque ditos “efluentes” são a própria corrente de água, com a adição de substâncias várias, que escoam ou que percola pelos terrenos, de forma difusa, retornando aos corpos d'água, superficiais e, ou, subterrâneos, da bacia.

⁵ Sempre que se faz referência ao “usuário-pagador”, também se alude ao “poluidor-pagador”. Mais recentemente, no Brasil, busca-se caracterizar, no que se refere à gestão dos recursos hídricos, a existência apenas do primeiro, com isso entendendo-se que o “poluidor-pagador” também utiliza recursos hídricos para descartar efluentes (daí a presença da palavra “poluidor”) os quais são transportados e diluídos pelas massas líquidas passantes. Em outras palavras, dentro de cada “usuário-pagador” está a figura de um “poluidor-pagador”. O que se busca com esta simplificação terminológica é sedimentar o entendimento segundo o qual, sempre que o usuário, pagador no caso, descartar efluentes em cursos d'água, ele estará despejando rejeitos cujos parâmetros de degradação se situam em níveis aceitáveis; ou seja, aqueles que não alteram a classe de enquadramento do corpo d'água e que estão devidamente outorgados.

cobrados pelo uso dos recursos hídricos; b) o usuário contribuinte, por meio do rateio de custos da obras de uso comum e interesse coletivo; c) o usuário contribuinte, por meio da compensação financeira; d) o Tesouro da União, por meio de investimentos previstos em planos de governos; e e) as agências financeiras e bancos, nacionais e internacionais, por meio de empréstimos e programas de desenvolvimento; além de doadores (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

A prática da cobrança tem enfrentado algumas barreiras. Segundo GARRIDO (2004), as duas principais são: a) os dois domínios das águas, cujas ações dos titulares nem sempre estão marchando de modo harmônico; e b) o problema da administração dos orçamentos públicos, no Brasil, em razão do mecanismo do contingenciamento que, ao não permitir que os montantes arrecadados sejam canalizados para a própria bacia, termina por gerar um sentimento de dúvida de parte do usuário-pagador. Ambos os problemas constituem parte do desafio que a Agência Nacional de Águas tem pela frente.

Contudo, nos dias atuais, essas questões já estão resolvidas, posto que os recursos arrecadados tenham de ser aplicados na própria bacia hidrográfica. Já é possível perceber que a evolução natural dos instrumentos da outorga e da cobrança venha a permitir o entrosamento de dois importantes aspectos institucionais relativos ao uso dos recursos hídricos: o das políticas públicas para o setor da água e o de um possível mercado do uso desse recurso natural. Recentemente, existem casos em andamento em alguns estados brasileiros, sobre a internalização de externalidades positivas, relativas à produção de água, onde o produtor receberá por cuidar de zonas de recarga de aquífero e, ou nascentes.

Deve-se ter sempre presente o fato de que essas medidas se reforçam. Juntas serão capazes de produzir resultados extremamente satisfatórios no que diz respeito ao uso racional da água, contribuindo verdadeiramente para o Desenvolvimento Sustentável, numa mostra definitiva de que os cuidados com o meio ambiente não se dão apenas por meio da execução das políticas públicas, tampouco somente pelo livre jogo das forças do mercado. Em verdade, meio ambiente e economia marcham juntos, pois as práticas ecológicas corretas demandam os mecanismos econômicos adequados.

Esses 3 (três) aspectos agora comentados podem ser considerados aqueles mais relevantes. Muito embora esses dois instrumentos, a outorga de direito de uso e da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, seja considerada como os que produzem os efeitos práticos mais imediatos, é interessante observar que eles dependem da consistência e da boa operacionalidade de outros instrumentos com os quais essa gestão se realiza.

3.5.5. Outros instrumentos de gestão

3.5.5.1. Organizações civis de recursos hídricos

O texto final da Lei 9.433/97 agrupou, sob a denominação de “organizações civis de recursos hídricos”, uma série de diferentes entidades. O artigo 47, por intermédio de seus incisos, considera como organizações desta natureza (CABRAL, 1997): a) os consórcios intermunicipais e as associações atuantes no campo dos recursos hídricos; b) as associações de usuários da água, regionais, locais ou setoriais; c) as organizações técnicas, de ensino e pesquisa, com ação voltada para os problemas dos recursos hídricos; d) as organizações não-governamentais dirigindo suas ações em favor do interesse coletivo da sociedade; e e) outras organizações reconhecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Para serem consideradas como organizações civis de recursos hídricos, as entidades de todas essas categorias devem estar legalmente constituídas. Não se discute a importância de todas elas, pois um dos pontos sagrados do esquema de planejamento e gestão do uso dos recursos hídricos é exatamente a participação de todos os “stakeholders” no processo de tomada de decisão. Daí considerar-se a introdução dessas organizações civis de recursos hídricos como um dos aspectos mais relevantes da PNRH (GARRIDO, 2004).

De acordo com esse mesmo autor, na experiência brasileira, deve-se dar destaque, entre as organizações civis de recursos hídricos, ao papel desempenhado pelos consórcios intermunicipais. Esclareça-se, entretanto, que um consórcio de municípios tem um espaço próprio no qual deve atuar o que faz dele um tipo de entidade com características próprias e diferentes de todas as demais do setor de recursos hídricos. Os consórcios são associações livres dos municípios que fazem parte, integral ou parcialmente, de uma bacia hidrográfica. Normalmente os consórcios canalizam os seus recursos e a sua capacidade para contribuir e reforçar as ações do setor de recursos hídricos em suas respectivas áreas de atuação, preenchendo importantes lacunas não cobertas pelas demais organizações atuantes no setor.

Segundo GARRIDO (2004), um exemplo de consórcio intermunicipal bem sucedido é o consórcio intermunicipal de bacias é o do Piracicaba e Capivari, criado em outubro de 1989, que veio a constituir a iniciativa mais efetiva no sentido da recuperação, valorização e preservação dos recursos hídricos dessas bacias. A região abrangida pelo Consórcio, com cerca de 14.000 km², estende-se da Serra da Mantiqueira (MG) até a Serra Geral (SP), englobando 59 municípios, dos quais 55 são paulistas e 4 são mineiros. O esgoto industrial chega a 310 t dia⁻¹ (70% são tratados) e os engenhos e usinas liberam quase 1.400 t dia⁻¹ de resíduos (100% tratados). Segundo esse mesmo autor, mais recentemente o Consórcio inovou, passando a

admitir, como membros, as empresas e organizações usuárias da água, o que lhe tem ampliado as perspectivas de ação, em virtude das grandes possibilidades de reforço de caixa.

3.5.5.2. Medidas de economia no uso da água

A demanda por água deve e pode ser controlada por meio de uma série de medidas. Os vários tipos de ação que podem ser postas em prática com o objetivo de reduzir a demanda por água ou mesmo controlá-la, mantendo-a em um determinado nível previamente estabelecido, e por um determinado período de tempo, constituem, em geral, medidas que devem ser atribuídas aos organismos encarregados da gestão de recursos hídricos (SOUZA, 2006).

Alguns desses organismos são de governo, e outros são não governamentais. Aliado a isso, a atitude do próprio usuário final da água é, também, muito importante, como meio de se conter o consumo desse recurso natural. Como medidas que já se demonstraram acertadas no cumprimento dos objetivos pretendidos, destacam-se: a) reuso doméstico da água; b) recirculação em processos industriais e de mineração; c) prática da irrigação noturna; d) manejo da irrigação com o uso de *softwares*, como o IRRIPLUS; e) recarga de aquíferos; f) adoção de tecnologias limpas para os processos industriais e cuidados com os rejeitos das minerações; e g) educação ambiental.

A irrigação nessa região onde se dará o estudo merecerá atenção especial, principalmente no que se refere ao manejo da irrigação. Considerando tal prática, sabe-se que uma das características marcantes das regiões semi-áridas é o seu elevado grau de solaridade. Este, juntamente com outros fatores, é capaz de gerar uma evapotranspiração da ordem de 2.500 mm anuais, portanto, perdas de água bastante elevadas. Dessa forma, nessas regiões, a irrigação pode dar preferência aos períodos noturnos, com isso promovendo uma farta economia de água. Uma medida indutora dessa prática é a adoção da tarifa de energia elétrica diferenciada, cobrando-se preços menores nesses horários (SETTI, 1994). Em recente estudo realizado por MANTOVANI *et al.* (2006), no Oeste da Bahia, a implementação desse modelo noturno resultou em significativa economia ao irrigante (IRRIPLUS, 2007).

Além dessas, há uma série de outras medidas de ordem prática, via de regra relacionadas à concepção de projetos de engenharia, buscando adequá-los as principais condicionantes de regiões onde há escassez de água, como em regiões semi-áridas. Ainda que oneroso em termos de investimento, o transporte de quantidades de água bruta por meio de tubulações constitui uma forma bastante segura de evitar a evaporação e outras formas de perda de água, particularmente em face ao elevado índice de insolação (GARRIDO, 2004).

Recentemente, com o crescimento do setor de recursos hídricos e do número de organismos de bacias hidrográficas, tem-se verificado o interesse de uma série de agências e bancos tradicionais de fomento ao desenvolvimento, que passou a perceber a gestão dos recursos hídricos como um campo de atividade com identidade própria. Ao lado da nova preocupação das agências financiadoras com os programas no campo dos recursos hídricos começou a aparecer, mais recentemente, o que se convencionou chamar de redes de organismos de bacias hidrográficas (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

Também, há que se considerar com importante ferramenta de auxílio à gestão dos recursos hídricos, os Organismos multilaterais e agências governamentais estrangeiras de crédito. A cooperação técnica internacional é um elemento importante para as mudanças estruturais em um país que dela se beneficia, pois o *know-how* técnico e a própria troca de experiência se incorporam, comumente, ao desenvolvimento do país. São vários os setores atendidos pela cooperação técnica internacional no Brasil. No campo do meio ambiente e dos recursos hídricos, o Brasil tem se beneficiado pela cooperação bilateral com a Alemanha, Canadá, Espanha, França, Itália, Japão e Reino Unido. No que concerne à cooperação multilateral são inúmeras as fontes das quais o Brasil tem recebido cooperação (GARRIDO, 2004).

O Ministério de Ciência e Tecnologia mantém um vasto programa de apoio à pesquisa científica e tecnológica por meio de fundos de C&T. São vários fundos que compõem a estrutura do programa, sendo um desses fundos voltado exclusivamente para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, denominado CT-HIDRO. Esse programa já vem aplicando recursos desde 2001, tendo dado uma contribuição muito importante para a ampliação do conhecimento técnico, tecnológico e científico aplicado ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Por último, devem-se citar as Redes de organismos de bacias hidrográficas. São organizações que não têm, em geral, uma personalidade jurídica definida, sendo formadas pelo conjunto que inclui os comitês de bacia hidrográfica, as agências de água, as organizações de governo com atuação no setor de gestão do uso da água, além das organizações civis de recursos hídricos tal como estabelecidas na Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (*ibidem*).

Há de considerar, ainda, dois fatores fundamentais como ferramentas de gerenciamento dos Recursos Hídricos: o Licenciamento Ambiental e a implantação de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). Este último deve ser estimulado não somente ao nível de empresas, mas também em caráter regional.

A legislação brasileira de recursos hídricos inclui, entre os instrumentos de gestão, a cobrança pelo uso da água. É uma ferramenta indutora do uso racional dos recursos hídricos, uma vez que alerta o usuário para a deseconomia que

eventualmente seria praticada caso este não sofresse qualquer tipo de penalidade por utilizar a água bruta em quantidades acima da necessária.

O aprofundamento do estudo da cobrança veio mostrar que todo uso capaz de promover alguma alteração no regime hidrológico, aí embutido o conceito hidrogeológico, deve ser cobrado, de forma a inibir tal alteração. Assim, a derivação de água de um rio ou lago, tanto quanto a abstração de águas subterrâneas, sejam para o abastecimento urbano, industrial ou para a irrigação, do mesmo modo que o represamento das águas para a geração hidroenergética, todos constituem exemplos de alteração do regime hidrológico sendo, como tal, suscetíveis de cobrança.

A relação existente entre os serviços de água - abastecimento e esgotamento sanitário - precisa ser colocada na pauta dos governos bem assim no debate com os usuários e com a sociedade. Além da harmonização necessária entre esses serviços de utilidade pública, outra conseqüência direta e relevante do entrosamento dessas políticas é a redução dos custos totais motivada pela economia de escala que daí resulta. O planejamento dos recursos hídricos pode complementar o planejamento do uso e ordenamento do solo, ou por este ser complementado.

Desta forma, os três níveis de governo devem trazer ao debate com a sociedade as possibilidades de consolidar os serviços de gestão do uso da água com os demais serviços da infra-estrutura urbana, buscando fazê-los com eficiência e eficácia. Devem-se combinar as tarefas da hidrologia e hidrogeologia com a dos serviços de saneamento e com a dos planejadores urbanos, paisagistas, tirando-se o máximo proveito da ação conjunta de todas essas categorias. A legislação é, também, um ponto a ser revisto em face da necessidade do entrosamento desses serviços, sobretudo se considerando que os agentes governamentais envolvidos são de diferentes esferas de poder.

Conforme mencionado na seção de abertura desta revisão, o seu objetivo é o de levantar informações de interesse prático sobre as instituições atuantes no setor de recursos hídricos, sejam aquelas que congregam organismos de bacia, sejam aquelas que apóiam os projetos e programas do setor, técnica e, ou, financeiramente. Na verdade o objetivo era verificar como andam as ferramentas tradicionais e aquelas inovadoras para a gestão das águas. Assim, pretende-se inserir os conceitos de Dinâmica de Sistemas e a elaboração do modelo das águas para as bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto como uma estratégia que venha contribuir e satisfazer de forma ampliada ao princípio da gestão participativa, um dos pontos sagrados do esquema de tomada de decisão sobre o uso dos recursos hídricos.

Esse modelo permitirá aumentar a compreensão acerca das atividades antrópicas e seus empreendimentos existentes na região de estudo, bem como as interferências promovidas em seus diversos ecossistemas. O entendimento da

dinâmica desses sistemas e a elaboração do modelo das águas será uma ferramenta de auxílio à definição de políticas públicas para estimar futuras demandas e ofertas de Recursos Hídricos, contribuindo e servindo de apoio a novas propostas de sugestões aos principais instrumentos de gestão existentes.

3.6. DINÂMICA DE SISTEMAS

Nessa seção, que finaliza a revisão bibliográfica, tem como objetivo apresentar os conceitos relativos à “Dinâmica de Sistemas”. É antes de tudo uma nova linguagem que permite expressar mais adequadamente as cadeias de eventos circulares existentes na natureza, analisando-os de forma integrada.

Esse fato é importante posto que o isolacionismo foi responsável pelo efeito positivista que sustentou a Ciência moderna. Tal situação foi manifestada pelo aspecto científico de “neutralizar” as influências externas para que haja um “controle” preciso das medições e dos experimentos realizados na produção de conhecimentos (CAPRA, 1996). O que se pode observar, é que esses “aspectos importam à compreensão da visão de mundo hegemônica da presente sociedade, refletindo na separação sociedade *versus* natureza, na postura antropocêntrica e individualista de dominação do homem sobre a natureza” (MORIN, 1997).

Como conseqüência, a história do mundo e do pensamento ocidental foi comandada por um paradigma de disjunção, de separação. Separou-se o espírito da matéria, a filosofia da Ciência; separou-se o conhecimento particular que vem da literatura e da música do conhecimento que vem da pesquisa científica. Separam-se as disciplinas, as ciências, as técnicas. Separou-se o sujeito do conhecimento do objeto do conhecimento. Assim, vive-se em um mundo em que é cada vez mais difícil estabelecer ligações... (*ibidem*).

Para CAPRA (1996), quanto mais são pesquisadas as questões ambientais, maior a consciência que se passa a ter de que elas não podem ser compreendidas isoladamente, posto serem sistêmicas, interconectadas e interdependentes. De acordo com SENGE (1990), grande parte dos problemas hoje existentes, em todo o mundo, está associada ao descaso e desconhecimento humano de entender e controlar sistemas cada vez mais complexos.

Assim, a “ciência” Dinâmica de Sistemas é antes de tudo uma nova linguagem que permite expressar mais adequadamente as cadeias de eventos circulares existentes na natureza. Por intermédio da modelagem, utilizando-se de diversos tipos de diagramas (causais, estoque e fluxo), é possível expressar graficamente um sistema, possibilitando perceber mais claramente a complexidade dinâmica das relações entre as partes do mesmo (VILLELA, 2007).

A base dessa nova ciência assenta-se nos conceitos do pensamento sistêmico, onde o princípio da interdependência demanda que mudanças em qualquer um dos componentes de um determinado sistema, direta ou indiretamente, estão associadas ou afetarão os demais componentes.

3.6.1. O pensamento sistêmico

O contexto teórico subsequente ao da ecologia é a teoria dos sistemas vivos, que só atualmente está sendo completamente desenvolvida. No entanto, está arraigada em vários ramos da ciência, compondo um complexo integrado, cujas características não podem ser reduzidas àquelas das partes menores. A teoria do sistema apresenta um novo modo de pensar, o chamado “pensamento de sistema” ou “pensamento sistêmico”, significando pensamento em termos de relações, união e contexto (GUNTER, 1999).

O modelo ideal desses sistemas é encontrado principalmente na natureza, por exemplo, a condição de homeostasia em uma floresta natural. Compreendendo-se ecossistemas, compreende-se também relação, que é o aspecto central do pensamento sistêmico. Conseqüentemente, a atenção é deslocada de objetos para relações, ou seja, uma comunidade viva tem consciência das relações estratificadas entre seus integrantes. Estimular esta comunidade significa estimular as relações (*ibidem*).

Quando se observam ecossistemas, constata-se que todos seus organismos têm sua função. Contudo, eles também produzem detritos exatamente como o homem; porém são dinamicamente transformados - o detrito de uma espécie serve de fonte de alimento para outra, de modo que em um ecossistema, praticamente todos os detritos são reciclados continuamente. Baseados nesse modelo se podem fazer nas organizações humanas, o espelho de organização da natureza, que não pode ser concebida como uma soma mecânica de partes. Podem-se remodelar os modelos agropecuários, florestais, urbanos e industriais (*ibidem*).

Para GRIFFITH (2001), o uso da modelagem conceitual pode contribuir para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, o que facilita procedimentos de gestão ambiental, mesmo em situações extremamente complexas como aquelas relacionadas à gestão dos recursos hídricos. A partir da modelagem de uma determinada área, degradada ou não, e com a possibilidade da realização de simulações, o seu funcionamento fica melhor visualizado e as soluções para as intervenções necessárias são concentradas nos pontos mais vulneráveis, irradiando-se por toda a estrutura do sistema.

Assim, HARRISON e SHIROM (1999) asseguram que no pensamento sistêmico, o princípio da interdependência demanda que mudanças em qualquer um

dos componentes de um determinado sistema, direta ou indiretamente, estão associadas ou afetarão os demais componentes. Por este motivo, as informações existentes dentro desse sistema, provocam a sua retroalimentação interna e nas suas relações com o meio no qual está inserida, podendo alcançar as mudanças desejáveis propostas, ou mostrar o direcionamento necessário para que lacunas diagnosticadas dentro do atual modelo sejam alteradas, atingindo, assim, os resultados esperados. Na visão destes mesmos autores, devem ser considerados os contextos político e sócio-econômico, bem como as suas principais inter-relações, no qual o setor em estudo está inserido.

3.6.2. Princípio da Dinâmica de Sistemas

A utilização dos princípios da Dinâmica de Sistemas vem alcançando sucesso em diversas atividades por todo o mundo. Desde os famosos modelos urbanos e globais de Forrester e Collins na década de 1960 e 1970 aos "simuladores de vôos gerenciais", que vêm sendo usados nas grandes corporações ao redor do mundo, que a metodologia Dinâmica de Sistemas vem provando seu potencial como ferramenta auxiliar em várias áreas do conhecimento (VILLELA, 2007).

De acordo com esse mesmo autor, os primeiros estudos e conceitos sobre Dinâmica de Sistemas foram propostos e desenvolvidos na década de 1950 pelo engenheiro eletricitista Jay Forrester na escola de administração "Sloan School of Management" do MIT ("Massachusetts Institute of Technology"). Forrester trabalhou durante a II Guerra Mundial no Laboratório de Servomecanismo do MIT, para as forças armadas americanas, desenvolvendo controles automáticos para armamentos militares. Percebeu que poderia dar uma grande contribuição às ciências administrativas, econômicas e sociais, usando os mesmos conceitos da teoria de controle e servomecanismos, bastante desenvolvida na engenharia elétrica.

Ainda segundo esse mesmo autor, em 1961, Forrester publicou o livro "Industrial Dynamics" (Dinâmica Industrial) que se tornou o marco conceitual da disciplina que hoje se conhece como Dinâmica de Sistemas. Entretanto, foi por intermédio do contato de Forrester com o ex-prefeito de Boston, John F. Collins, que trabalhava na época (1968) como professor visitante no MIT, que a disciplina começou a provar sua real utilidade nos famosos modelos de estudos estratégicos urbanos e mundiais, editados nos dois "best sellers": "Urban Dynamics" (Dinâmica Urbana) e "World Dynamics" (Dinâmica Mundial).

O avanço maior se deu posteriormente quando Peter Senge, engenheiro formado em Stanford e orientado de Forrester, trabalhou na década de 1970 na realização de seminários com executivos, introduzindo a prática do pensamento sistêmico dinâmico no seio das grandes organizações. Hoje, o trabalho de Senge está

se consolidando como uma metodologia de administração de empresas que utiliza basicamente o ferramental de Dinâmica de Sistemas e é conhecida como “Organizações que aprendem” (“Learning Organizations”) e “Pensamento sistêmico” (“System Thinking”).

Senge lançou em 1990, seu famoso “best seller” “A Quinta Disciplina - Arte e Prática da Organização que Aprende” (“The Fifth Discipline - The Art & Practice of The Learning Organization”) e “The Fifth Discipline Field Book”. A “quinta disciplina” referenciada na obra de Senge é o pensamento sistêmico que utiliza todo o ferramental metodológico desenvolvido por Jay Forrester na década de 1950 e estruturado no início da década de 1960 no livro “Industrial Dynamics”.

3.6.3. Aplicações da Dinâmica de Sistemas

Dinâmica de Sistemas se presta para a identificação das seguintes características básicas de qualquer sistema (VILLELA, 2007): a) as relações de causa e efeito; b) o tempo de resposta; e c) os efeitos de realimentação. Para RICHARDSON (1991), as principais características que envolvem a metodologia de Dinâmica de Sistemas são: a) definição dos problemas dinamicamente; b) enfoque nas características intrínsecas dos sistemas; c) conceituação dos sistemas reais por intermédio da interconexão contínua de círculos de retroalimentação e de casualidade; d) identificação de estoques e fluxos de entrada e saída; e) formulação de um modelo comportamental, capaz de reproduzir a dinâmica do problema; f) entendimentos e esclarecimentos derivados de mudanças políticas efetuadas no modelo e seus conseqüentes resultados; e, g) implementação de mudanças e novas políticas com base nesses entendimentos.

Para FORRESTER (1994), a Dinâmica de Sistemas revela a partir de simulações sobre o futuro como chegar ao presente. Partindo daí se identificam os caminhos que levam a melhoria do sistema, por meio da observação e das dificuldades causadas no desempenho deste, durante o processo de simulação. De acordo com PIDD (1996), os sistemas dinâmicos podem usar tanto para reforçar a importância da retroalimentação que existe em sistemas, assim como para compreender seus comportamentos e ajudar a identificar formas mais adequadas de conduzi-los. Todo este panorama de análise de conseqüências gera distintas ações.

Na verdade, a Dinâmica de Sistemas é um enfoque capaz de revelar as interdependências que há em um sistema, de evidenciar a existência de decisões alternativas e possibilidades de aplicações em um determinado aspecto. Por outro lado, permite observar se as decisões tomadas geram conseqüências não desejadas em outras áreas do sistema em estudo. Seu grande potencial reside em que se trata de uma modelagem dinâmica, centrada no tempo, o qual permite identificar as

conseqüências que podem produzir no curto, médio e em longo prazo as decisões adotadas (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006).

Entre outras vantagens de uso da metodologia Dinâmica de Sistemas, STERMAN (2000) destaca: a) a possibilidade de estudar relações entre macro e micro estruturas, bem como os efeitos correspondentes sobre o sistema; b) a modelagem e solução de problemas reais que incorporam elementos físicos, biológicos e econômicos; e c) a melhoria no desempenho do sistema por experimentação.

Portanto, a Dinâmica de Sistemas é antes de tudo uma nova linguagem que permite expressar mais adequadamente as cadeias de eventos circulares existentes na natureza, por intermédio da modelagem, possibilitando perceber mais claramente a complexidade dinâmica das relações entre as partes do mesmo. A sua base se assenta nos conceitos do pensamento sistêmico, onde o princípio da interdependência demanda que mudanças em qualquer um dos componentes de um determinado sistema, direta ou indiretamente, estão associadas ou afetarão os demais componentes.

Percebe-se, atualmente, que as relações entre o uso do solo e recursos hídricos têm sido marcadas pelo insucesso, com prejuízos significativos para o ambiente, o que tem se transformado em perdas para toda coletividade. Assim, modificações no regime de vazões de uma bacia hidrográfica podem ser causadas por mudanças do uso do solo, pela variabilidade climática, pela construção de barragens ou pelo aumento da irrigação. A troca de uma cobertura por outra altera os componentes do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica alterando necessariamente o regime de vazões. Neste contexto inserem-se as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

De acordo com COSTA (1993), pode-se utilizar na gestão dos recursos hídricos o enfoque sistêmico na análise e no aperfeiçoamento dos sistemas. Compreendo-se que as unidades que conformam o sistema de recursos hídricos de uma bacia é um sistema dinâmico e complexo, dentro dos limites físicos de uma bacia, onde podem co-existir múltiplas atividades e explorações que interagem com insumos, tais como: trabalho, energia, capital, adubos, defensivos; e gerando produtos agropecuários, energia, resíduos e contaminantes de origem agrícolas, entre outros.

Assim, percebe-se que esta ferramenta possui um elevado potencial de aplicação nas fases de definição de âmbito e de avaliação de alternativas de um processo de planejamento e gestão da água. Devem ser considerados os contextos político e sócio-econômico, bem como as principais inter-relações na qual o setor em estudo está inserido, para que se possam elaborar os círculos de causalidade.

3.6.4. Círculo de causalidade

O círculo de causalidade é uma das ferramentas do pensamento sistêmico por meio do qual é possível expressar graficamente o comportamento, ao longo do tempo, das diversas variáveis envolvidas em uma dada questão. É composto por variáveis - palavras ou frases curtas que resumem os fatos envolvidos no problema estudado - conectadas por meio de setas que indicam o sentido da alimentação do ciclo ou da influência das variáveis.

Os sinais “+” e “-” indicam, respectivamente, se o movimento de alimentação está no mesmo sentido da influência original ou se está em sentido oposto. A letra “B” indica se está ocorrendo um processo de balanceamento (ou contrapeso), a letra “R” indica se está ocorrendo reforço (NARDELLI e GRIFFITH, 2000), como pode ser observado na Figura 28 que representa a modelagem da Dinâmica do setor florestal brasileiro.

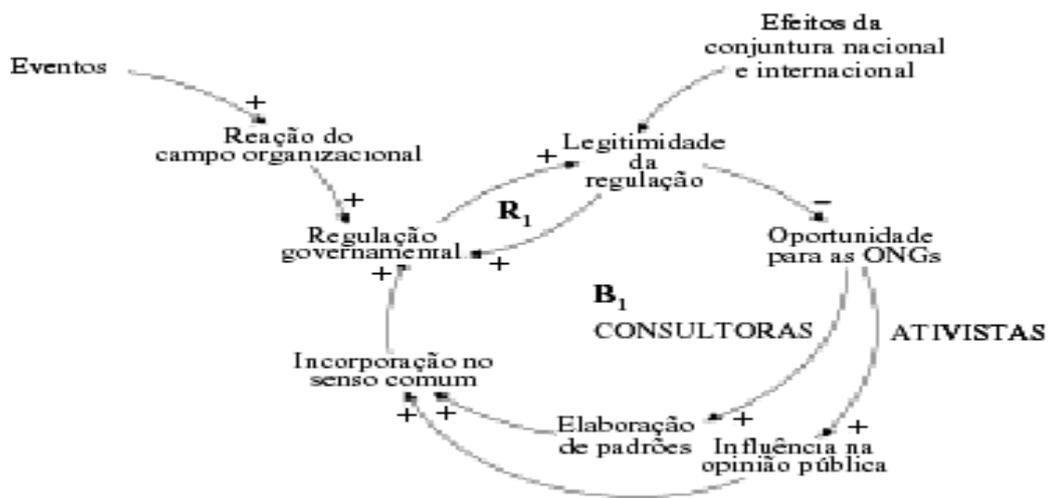


FIGURA 28 - A Dinâmica do setor florestal brasileiro. Fonte: SCIELO (2008).

Ou seja, os círculos de causalidade consistem de variáveis (que podem aumentar ou diminuir no transcorrer do tempo) interligadas por conectores (arcos com setas que indicam direção ou sentido de causalidade). Há duas possíveis relações entre as variáveis: na primeira, uma variável aumenta (ou diminui) enquanto a outra também aumenta (ou diminui). Alternativamente, na segunda situação, uma variável aumenta (ou diminui) enquanto a outra diminui (ou aumenta). No primeiro caso, o sinal é positivo (“+”); no segundo, negativo (“-”) (SENGE, 1990; ANDERSON e JOHNSON, 1997).

A Figura 29 representa a estrutura do sistema dos recursos hídricos, em estudo realizado por SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.* (2007) para analisar a sustentabilidade do recurso água na região das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

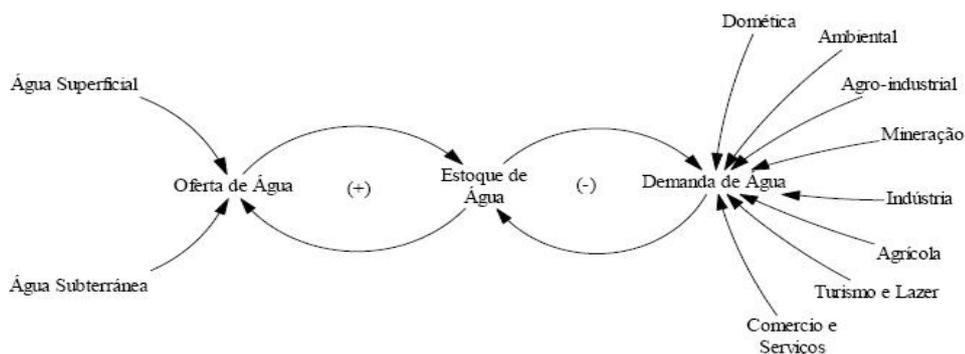


FIGURA 29 - Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí. Fonte: SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.* (2007).

O círculo de causalidade elaborado para um sistema ou empreendimento permite a visualização do conjunto de inter-relações existente entre todos os aspectos ambientais e antrópicos a eles relacionados, anteriormente, de forma isolada, permitindo definir com precisão o contexto de análise correspondente. Isso porque todo fenômeno “é resultado necessário de uma causa conservada no efeito: tudo é previsível, pelo menos em teoria. Então, o passado desencadeia perfeitamente o presente” (BENSAID, 1999).

Dessa forma, percebe-se que o princípio elementar do estudo sistêmico é o da conectividade, a partir no momento em que se entende sistema como um conjunto de elementos com ligações entre si e o ambiente. Cada sistema se compõe de subsistemas, e todos formam parte de um sistema maior, cada um é autônomo e simultaneamente aberto e integrado ao meio, tendo inter-relação direta com este (SANTOS, 1982).

Contudo, há de se considerar, que os modelos causais (ou diagramas causais) são muito bons para representarem QUALITATIVAMENTE as relações de causa e efeito que ocorrem em um sistema complexo. Entretanto, quando se necessita representar QUANTITATIVAMENTE estas mesmas relações de causa e efeito, os modelos causais não são adequados. Para isto, usam-se os Modelos de Estoque e Fluxo. Estes são semelhantes aos modelos causais, com a diferença de que as relações são expressas por intermédio de fórmulas lógico-matemáticas (VILLELA, 2007).

De acordo com esse mesmo autor, os modelos causais (assim como seus correlatos modelos de estoque e fluxo) são representações de uma realidade composta de informações. Por intermédio deles se podem inferir novas informações, consistentes com aquelas que nos foram dadas inicialmente. Estes modelos estão para a Dinâmica de Sistemas assim como as equações estão para a Matemática.

Representam um conhecimento empacotado, sistematizado. Quem chega a um modelo (a uma equação) válido (aceito), detém um conhecimento.

3.6.5. Modelo analítico

Quando se conhece o Princípio de Sistemas, aprende-se a importância da modelagem para que o ser humano possa melhor compreender a natureza. É por intermédio dos modelos que os homens têm tentado dominá-la e descrevê-la, ao mesmo tempo em que desenvolve tecnologia. Nos dias atuais, na elaboração de projetos e como auxílio à gestão de recursos hídricos, é inquestionável a necessidade da aplicação de modelos para estudos. Principalmente em face à complexidade do ambiente em corpos d'água naturais, especialmente em lagos, reservatórios, estuários e zona costeira adjacente das bacias hidrográficas. Modelos são ferramentas integradoras, sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica de processos nestes complexos sistemas ambientais.

De acordo com ROSMAN (2006), dados ambientais são em geral escassos, e paradoxalmente imprescindíveis para estudos, projetos, diagnósticos, gestão e gerenciamento de corpos d'água naturais. A escassez decorre do alto custo envolvido no levantamento de dados que, usualmente se obtêm de variáveis ambientais, são séries temporais de valores medidos em poucos pontos distribuídos na área de interesse. Para esse mesmo autor, os dados medidos de fato representam apenas uma diminuta fração do todo, tornando-se fundamental se dispor de ferramentas confiáveis que permitam que tais dados sejam interpolados e extrapolados, tanto no espaço quanto no tempo.

Dessa forma, por meio de modelos, pode-se interpolar e extrapolar espacial e temporalmente as informações obtidas nos poucos pontos onde os dados foram medidos, para toda a área de interesse. De fato, se os modelos, uma vez calibrados, são capazes de bem reproduzir valores nos pontos onde se fez medições, não há porque duvidar que possam ser usados para interpolar e extrapolar informações para além de tais pontos. A extrapolação temporal pode ser interpretada como simulação de novos cenários. Neste caso, modelos podem ser usados tanto para prever impactos de modificações a ser introduzidas no meio, quanto para prever situações com cenários diferentes dos que ocorreram nas situações de medições.

NEELAMKAVIL (1987) classifica os modelos em físico (estático ou dinâmico); simbólico (matemático ou não matemático); e mental. Exemplos de modelos físicos estáticos são estátuas e maquetes; e de modelos físicos dinâmicos se podem citar os protótipos de circuitos elétricos. Modelos simbólicos matemáticos se subdividem em dinâmicos e estáticos. Os modelos que nos interessam para o presente estudo são os matemáticos dinâmicos, estes são usualmente descritos por equações diferenciais ou

de diferenças. Segundo BASSANEZI e FERREIRA JÚNIOR (1988), equações diferenciais são equações de variações instantâneas, de fenômenos que se desenvolvem continuamente; enquanto equações de diferenças são funções de uma rede de pontos, nas quais as variáveis envolvidas foram discretizadas, ou seja, têm-se as médias das variações.

Os modelos de simulação dinâmica são descrições abstratas do mundo real que permitem representar problemas complexos caracterizados por sua dinâmica, não-linearidade, relações de retroalimentação e defasagens em tempo e espaço (Wiazowski *et al.*, 1999 *apud* SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.*, 2007). Um modelo de simulação dinâmica deve capturar somente os fatores essenciais de um sistema real e deve abstrair-se dos demais fatores. O uso principal dos modelos é o de comunicar um ponto de vista do mundo, não procuram ser a realidade, mas procuram se aproximar dela. Esta característica dos modelos permite compreender um problema específico, e visa prever o comportamento do sistema (Pérez Maqueo *et al.*, 2006 *apud* SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.*, 2007).

Na pesquisa científica, os modelos são utilizados para tentar compreender o mundo real e a estrutura lógica dos sistemas. Tenta-se prever o estado futuro ao que poderia levar um processo dinâmico qualquer. Outra aplicação é para “controlar”, em outras palavras, para intervir, manipular, criar restrições guiadas do comportamento de um sistema para obter uma condição desejada ao final. Contudo, o usuário deve estar sempre consciente das limitações do modelo que está utilizando. Dessa forma, a informação disponível é um insumo de fundamental importância (SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.*, 2007).

Existem diversas formas de utilizar modelos de simulação para focar um problema, já que se podem construí-los para tomadores de decisões ou para pesquisadores, sendo as suas funções diferentes. Em outras situações não existe o modelo; portanto é preciso criá-lo e gerar as equações que o representem. Contudo, quando se participa desde a concepção até a construção do modelo, a compreensão do problema particular que está sendo modelado é maior (*ibidem*).

De acordo com GRIFFITH e TOY (2005), a maioria dos gerentes de gestão ambiental está à procura de técnicas operacionais de elevada praticidade, mas que tenham, também, base em modelos teóricos bem fundamentados. De outra maneira, seus êxitos de amenizar ou reverter impactos nocivos podem ser apenas acertos de sorte - pela aleatoriedade das ações, continua a possibilidade do fracasso. Segundo esses mesmos autores, caso os gerentes tenham modelos para correlacionar os componentes ou indicar lacunas de conhecimento, não haverá aprendizagem sistemática, apenas tentativa e erro. Afirmam ainda que os modelos sirvam a outros propósitos, especialmente para o trabalho em equipe. A indicação de problemas e

soluções proporcionada pela modelagem pode trazer segurança na hora de executar as obras. Um modelo bem fundamentado em teoria garante que aquilo que parece correto intuitivamente, na prática é consistente em propósito e pensamento.

Por este motivo, as informações existentes dentro desse sistema, provocam a sua retroalimentação interna e nas suas relações com o meio no qual está inserida, podendo alcançar as mudanças desejáveis propostas, ou mostrar o direcionamento necessário para que lacunas diagnosticadas dentro do atual modelo sejam alteradas, atingindo, assim, os resultados esperados.

GRIFFITH e TOY (2005) realizaram um estudo para elaborar o Modelo Físico-Social nos procedimentos da Recuperação Ambiental. Para isso, fez-se necessário tomar em consideração a Unidade Básica de Síntese, a qual se presta para diagnosticar a Dinâmica de Sistemas em geral. Sendo assim, entendem que os sistemas devem operar com base nas informações contidas na Figura 30.

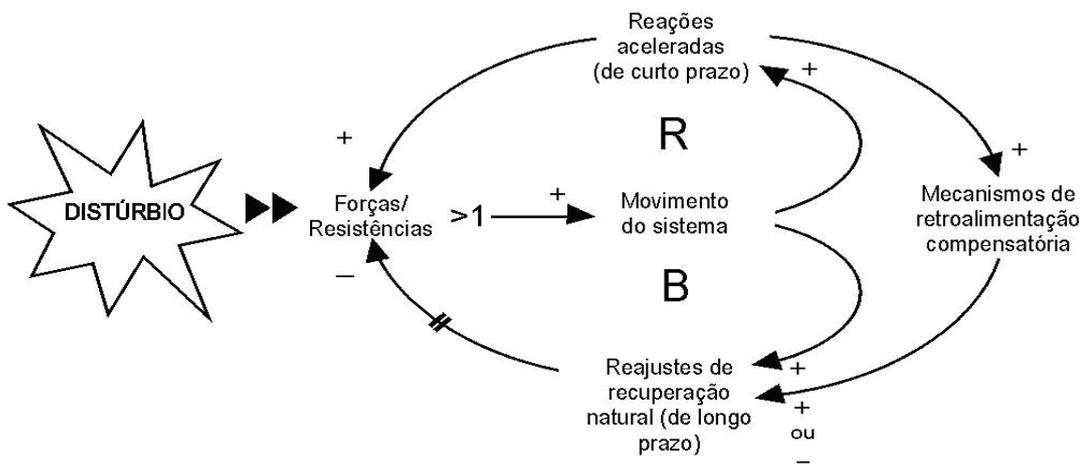


FIGURA 30 - Unidade básica de síntese da Dinâmica de Sistemas. Fonte: GRIFFITH e TOY (2005).

Esses mesmos autores chamam esse modelo inicial de Unidade Básica de Síntese porque sintetizar significa utilizar o padrão inteiro como o objeto de estudo. A dinâmica dessa unidade é organizada da seguinte forma: um distúrbio ou perturbação pode desencadear o movimento no sistema. Não obstante, se esse movimento procede ou não, depende da relação entre as forças e resistências encontradas naquele momento. Mesmo havendo forças potentes, se a magnitude do distúrbio for menor que as resistências prevaletentes ($F/R < 1$), nada acontece. Neste caso o sistema é denominado “resiliente”.

Entretanto, se a relação for $F/R > 1$, o evento superará a resiliência natural do sistema e o fluxo liberado de energia ou causalidade (pode ser físico ou psíquico) começará a percorrer os circuitos internos. Daí em diante, o fluxo segue de variável a

variável, passando pela seqüência indicada pelos conectores. A Figura 30 mostra essa organização de movimento.

Ao examinar mais detalhadamente os vários volteios da referida figura, percebe-se que a tendência de um sistema perturbado é agir no sentido de restabelecer sua estabilidade. Entretanto, o diagrama não revela o seguinte fato importante: essa nova condição de estabilidade, uma vez alcançada, pode ser bastante diferente do equilíbrio que existia antes do episódio. Ele revela apenas como essa nova estabilidade é alcançada no transcorrer do tempo, e a nova configuração depende do desencadeamento dos movimentos internos do sistema. Esse movimento é sempre expressado em termos de reforços (“R”) e balanceamentos (“B”).

O sistema aberto permite relação constante de intercâmbios com sua circunvizinhança, pois se modifica constantemente. Baseado nesse princípio, GRIFFITH e TOY (2005) modelaram conceitualmente as inter-relações entre degradação e recuperação ambiental que abrange os sistemas físico e social (Figura 31).

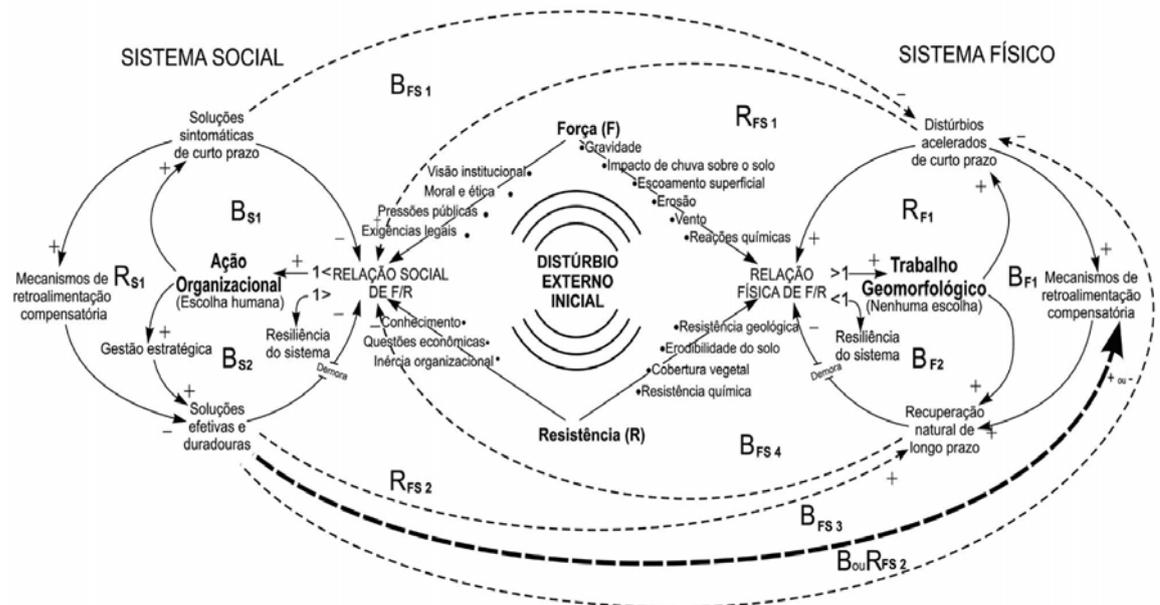


FIGURA 31 - Modelo conceitual de inter-relação entre degradação e recuperação ambiental que abrange os sistemas físico e social. Fonte: GRIFFITH e TOY (2005).

Segundo esses mesmos autores, uma de suas principais teses é reconhecer que os sistemas físicos e sociais respondem às causas perturbadoras naturais ou humanas, tal como ocorre na atividade minerária, até chegar a um estado de equilíbrio. Isto ocorre, mais cedo ou mais tarde, por meio de mecanismos sistêmicos de retroalimentação. O tempo entre o distúrbio inicial, por exemplo, da abertura de uma nova mina, e o retorno a um estado de equilíbrio depende da capacidade de recuperação natural do próprio sistema. Esse retorno pode ser facilitado pelas obras

de recuperação. Por causa dessa característica altamente sistêmica, sugerem que se adote a abordagem conhecida como “pensamento sistêmico” como proposto por SENGE (1990) e ANDERSON e JOHNSON (1997).

Observa-se na Figura 31 que o sistema social exerce grande influência sobre a sustentabilidade do ecossistema. Considerando a ocorrência de um evento, caso as soluções de recuperação propostas sejam sintomáticas de curto prazo, produzirão resultados que simplesmente aliviam o sintoma (B_{s1}), produzindo distúrbios acelerados de curto prazo sobre o sistema físico (R_{f1}), agravando ainda mais o problema. Ao mesmo tempo, caso os procedimentos de recuperação adotem práticas de manejo eficientes, seguindo um planejamento previamente proposto e adequado, as soluções serão efetivas e duradouras (B_{s2}). Entretanto, cabe considerar, que as ações deverão ser prontamente tomadas, diagnosticando as rupturas de causas diversas que desencadeiam tais processos: caso contrário, o que ocorrerá será uma nova condição de balanceamento (B_{fs2}), que também produzirão distúrbios acelerados de curto prazo. Do ponto de vista físico-químico, a manutenção da biomassa vegetal, a utilização de práticas conservacionistas e um eficiente manejo, têm papel fundamental na manutenção do sistema, permitindo a fixação de carbono e ao mesmo tempo transformando-se num agente de ciclagem de nutrientes, mantendo no sistema um determinado “status” de nutrientes que resulta na estabilidade ou sustentabilidade do sistema (*ibidem*).

3.6.6. A dinâmica de sistemas e o uso da modelagem

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia de simulação, baseada em computação, que busca entender a evolução de um sistema, evidenciando o seu funcionamento e desempenho em um período pré-estabelecido. Esta abordagem tem como principal premissa o fato de que o comportamento de um sistema é determinado por sua estrutura interna. Logo, utilizando-se de uma linguagem própria para modelar um sistema, é possível investigar o seu comportamento ao longo do tempo; ou seja, testar os diferentes tipos de comportamento que o sistema real pode experimentar, tornando viável a identificação e avaliação de melhorias potenciais, por intermédio da adoção de um ou mais pontos de alavancagem.

Entre os diversos *softwares* existentes no mercado para transformar diagramas causais em modelos computacionais, tais como o POWERSIM, VENSIN e I THINK, tem-se o STELLA, que trabalha com programação orientada a objetos (SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.*, 2008), tendo sido o escolhido neste estudo. A razão pela qual se optou por sua utilização, além de sua fácil manipulação, se deve ao fato deste ser frequentemente usado por pesquisadores que trabalham com o enfoque de dinâmica de sistemas na modelagem de problemas complexos que integram variáveis físicas,

sociais e econômicas, como é o caso dos recursos hídricos. De acordo com ORELLANA GONZÁLEZ (2006), há que se considerar que foi o primeiro *software* desenhado que avalia todos estes tipos de variáveis.

Ao trabalhar-se com as variáveis essenciais de um determinado fenômeno observado, o modelo matemático que simula tal fenômeno poderá levar às soluções bastante próximas daquelas observadas na realidade. Dessa forma, com os resultados que serão obtidos nesse trabalho, poder-se-á simular situações para outras bacias hidrográficas, facilitando o gerenciamento dos recursos hídricos, de forma preventiva, mitigando danos ao meio ambiente e poupando recursos financeiros, tão escassos em nosso País. É uma ferramenta com grande potencial para auxiliar na promoção do Desenvolvimento Sustentável.

3.6.6.1. Etapas de desenvolvimento de um modelo de Dinâmica de Sistemas

NEELAMKAVIL (1987) descreve a modelagem como um processo de estabelecer relações entre entidades importantes de um sistema a partir do qual é construído um modelo simplificado objetivando uma maior compreensão do sistema real. Para KURTZ dos SANTOS (1995), a habilidade em modelar dependerá da experiência, conhecimento, intuição, julgamento, percepção e imaginação.

BASSANEZI e FERREIRA JÚNIOR (1988) afirmam que um problema real não pode ser representado de maneira exata, em toda a sua complexidade, por uma equação matemática ou um sistema de equações. No entanto, trabalhando-se com as variáveis essenciais do fenômeno observado, o modelo matemático que simula tal fenômeno poderá levar às soluções bastante próximas daquelas observadas na realidade, podendo, inclusive, conciliar demandas e ofertas de água para usos ambientais e humanos futuros.

Para FORRESTER (1994), os passos a serem percorridos para desenvolver um modelo de Dinâmica de Sistemas devem ser: a) identificação do problema a estudar e as perguntas que deverão ser respondidas; b) estabelecer as inter-relações entre os elementos do sistema; c) descrição do problema e linguagem matemática; d) simulação do modelo; e) interpretação dos resultados; e f) revisão do sistema e experimentação.

Segundo FORD (1999), o processo de modelagem, baseado em Dinâmica de Sistemas, envolve as seguintes etapas: a) identificação do modelo em estudo e definição do problema de forma concisa, precisa e clara; b) determinação e assimilação dos fatores que parecem interagir e criação dos sintomas observados no problema; c) elaboração dos círculos de realimentação de informação de causa–efeito chamados de diagramas causais, que unem as decisões com as ações; d) construção de diagramas de estoques e fluxos; e) elaboração de um modelo matemático que

reflita o real funcionamento do sistema em estudo; f) estimativa dos parâmetros do modelo; g) simulação e contraste dos resultados com a realidade; e h) realização de análises de sensibilidade e evolução do impacto de novas políticas e regras que determinam as decisões a tomar.

É importante não perder de vista aonde se quer chegar com esse modelo e saber quais os caminhos leva a construir um sistema, que contenha as variáveis essenciais que representem a realidade que se queira estudar.

STERMAN (2000) define a estrutura de um modelo dinâmico como o conjunto de “ciclos de retroalimentação, estoques e fluxos, não-lineares e lineares que são criados pela interação dos elementos físicos e institucionais do sistema com os processos de decisão dos intervenientes que nele atuam”. Atualmente, o processo de construção destes modelos é amplamente facilitado por programas de computador, como o STELLA, que assiste o utilizador na construção dos elementos da estrutura e na formulação matemática das suas equações.

Os blocos de construção desta estrutura incluem, essencialmente: os estoques (que representam as acumulações no sistema); os fluxos de entrada e de saída desses estoques; e as variáveis auxiliares (que suportam a definição dos fluxos). Uma vez quantificados estes elementos, o programa executa automaticamente os cálculos numéricos, obtendo-se a simulação do comportamento dinâmico das variáveis ao longo do horizonte temporal especificado pelo utilizador.

De forma sintética, podem-se resumir as etapas de desenvolvimento de um modelo de Dinâmica de Sistemas em três etapas: a) de concepção; b) de formalização; c) de avaliação e exploração (simulação). Naturalmente, a partir dessa última etapa, se fará possível elaborar sugestões para a tomada de decisões para as fases de planeamento e monitoramento de uma determinada atividade; ou ainda, para a gestão de grandes áreas, como aquelas de uma bacia hidrográfica. Segundo KURTZ dos SANTOS (1995), algumas etapas podem ser estabelecidas no processo de modelagem matemática (Figura 32).

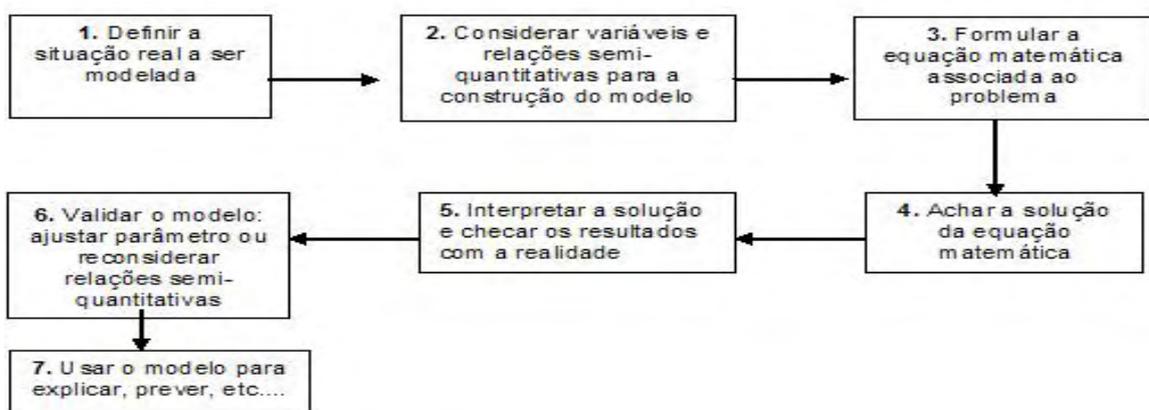


FIGURA 32 - Etapas a serem estabelecidas no processo de modelagem matemática. Fonte: KURTZ dos SANTOS (1995).

A **ETAPA 1** é fundamental para o bom andamento do trabalho de pesquisa. É nessa etapa que serão identificadas as atividades capazes de promoverem alterações no sistema.

Na **ETAPA 2**, geralmente, utilizam-se os diagramas causais para identificar as variáveis e os mecanismos de causa e efeito. **Diagramas causais** são aqueles do tipo (Figura 33):



FIGURA 33 - Diagrama causal para um modelo populacional simples. Fonte: DUVOISIN (2000).

Os métodos baseados nos elos causais podem oferecer muita informação sobre a estrutura dos sistemas, porém é bastante difícil inferir o comportamento dos sistemas por meio deles; para tal é importante que se utilizem, também, um modelo computacional. Isso porque a modelagem computacional pode permitir o desenvolvimento de atividades de modelagem sem a exigência de um formalismo matemático ou conhecimento de uma linguagem de programação.

Esses ambientes são baseados na metáfora de ícones, onde as variáveis envolvidas no estudo e as possíveis ligações entre elas são representadas. Desta forma, o cálculo necessário para o estabelecimento dessas ligações entre as variáveis é realizado internamente por procedimentos computacionais, não exigindo conhecimento de programação e matemático (GONÇALVES e FERRACIOLI, 2006).

Na **ETAPA 3** precisa-se ter um conhecimento prévio sobre os tipos de modelos existentes, isto é: se do tipo linear, exponencial ou oscilatório, o que requer um conhecimento prévio do traçado gráfico de funções.

A **ETAPA 4** trata da geração de saídas gráficas e tabelas. Neste momento se define o tipo de programa computacional a ser utilizado. Os mais usados são o STELLA ou o DYNAMO, segundo FORRESTER (1990); POWERSIM, VENSIM, FORIO e WLINKIT, segundo VILLELA (2007); ou o ISEESYSTEMS, LEBANNON, NH, USA, STELLA, segundo SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.* (2008). Tais programas se utilizam de equações de diferenças para representar os sistemas dinâmicos.

A **ETAPA 5** é aquela onde se irá interpretar a solução e checar os resultados com a realidade: daí a importância dos dados levantados na etapa 1.

Na **ETAPA 6**, a validação poderá ser qualitativa e, ou, quantitativa. Servirá para checar se o modelo proposto descreve adequadamente o sistema real. Depois de validado, seguir-se-á a **ETAPA 7**, a qual verificará se o mesmo servirá para explicar,

previr, decidir e delinear. Os elos causais são mais adequados para uma análise qualitativa do modelo. Para uma avaliação de caráter mais quantitativo, se deve encontrar uma forma mais adequada de representação.

Para passar da representação causal para uma representação mais adequada aos modelos quantitativos, FORRESTER (1990) sugere a utilização de uma metáfora de encanamento de água: com caixas (níveis) e torneiras (taxas). Este mesmo autor considera que existem dois tipos fundamentais de variáveis: os níveis (estados) e as taxas (ações); e algumas constantes que são suficientes para representar um elo de retroalimentação.

As variáveis de nível acumulam os fluxos descritos pelas variáveis de taxa. As equações de nível realizam o processo de integração. As variáveis de taxas representam a rapidez com que os níveis estão mudando; determinam, portanto, a declividade (mudança por unidade de tempo) dos níveis. Esse mesmo autor considera que o valor da variável taxa depende somente de constantes e dos valores presentes das variáveis níveis, e que nenhuma taxa atua diretamente em outras taxas. Por exemplo, o diagrama causal apresentado na Figura 33, ficará representado em forma de níveis e taxas conforme a Figura 34.

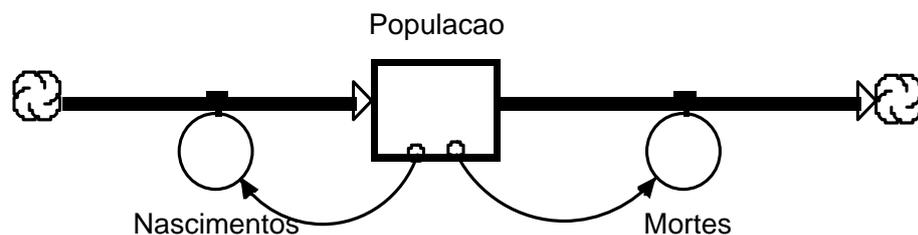


FIGURA 34 - Diagrama de fluxo para o modelo populacional simples da Figura 33. Fonte: DUVOISIN (2000).

Para melhor compreender o sistema, geralmente se começa a estudá-lo por meio dos diagramas causais. Posteriormente, se formula o diagrama de fluxo. Finalmente, usam-se as equações matemáticas para simular o modelo no computador.

Com relação às atividades de construção de modelos, de acordo com BLISS e OGBORN (1989), podem ser desenvolvidas de duas maneiras:

- ✓ **Exploratória:** Quando um usuário explora por intermédio da simulação um modelo previamente desenvolvido por um pesquisador no ambiente de modelagem;
- ✓ **Expressiva:** Quando é pedido ao próprio usuário para desenvolver seus próprios modelos em um ambiente computacional.

Neste trabalho as atividades de construção de modelo serão desenvolvidas em nível expressivo.

Entretanto, para ROSMAN (2006), por serem apenas ferramentas, sua utilização de modo inadequado pode levar a resultados enganosos. Portanto, é essencial que os modeladores tenham entendimento de como se devem usar tais ferramentas no processo de modelagem. Para esse mesmo autor, o processo de modelagem pode ser sintetizado pelo diagrama apresentado na Figura 35.

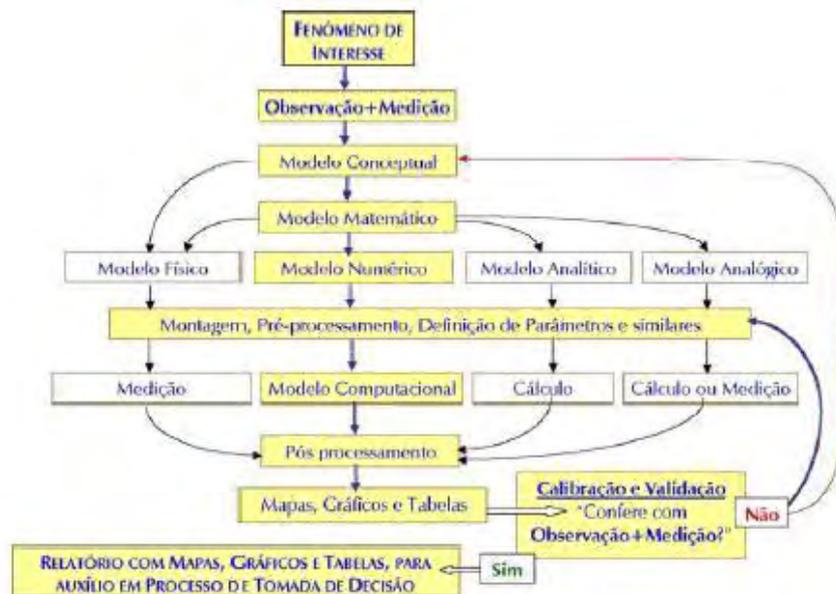


FIGURA 35 - Diagrama do processo de modelagem em recursos hídricos: a parte realçada é a rota usual. Fonte: ROSMAN (2006).

3.6.6.2. O ambiente de modelagem computacional quantitativo STELLA

Entre os diversos “softwares” existentes no mercado para transformar diagramas causais em modelos computacionais, tem-se o STELLA, que foi utilizado nesse estudo, na versão 9.0, para “Windows”. A sua escolha se deu pelo fato deste ser frequentemente usado por pesquisadores que trabalham com o enfoque de Dinâmica de Sistemas na modelagem de problemas complexos que integram variáveis diversas. Também, foi o primeiro *software* desenhado para trabalhar com variáveis físicas, bem como econômicas e sociais. Sabe-se que um modelo de recursos hídricos deve considerar todos estes tipos de variáveis (STELLA, 2001).

O programa **STELLA**, acrônimo de “**S**tructural **T**hinking **E**xperimental **L**earning **L**aboratory with **A**nimation”, cuja tradução em português é “Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação Baseado no Pensamento Sistêmico”, constitui-se em uma ferramenta computacional que possibilita a construção dos modelos mais variados. Transforma modelos mentais em diagramas computadorizados, simulando situações reais de sistemas ecológicos dinâmicos, ao mesmo tempo em que possibilita a compreensão de diversas funções matemáticas e a leitura das saídas gráficas correspondentes (RICHMOND, 1987; FERRACIOLI e CAMILETTI, 1998; DUVOISIN, 2000).

Ou seja, é um laboratório, sobre processos reais, a fim de apoiar a tomada de decisões. Ao executar-se o Ambiente STELLA é apresentada ao usuário a tela ao Nível Construção de Modelos (Figura 36).



FIGURA 36 - Tela do Nível Construção do Modelo no Modo Mapa. Fonte: GONÇALVES e FERRACIOLI (2006).

O Programa STELLA permite a construção e simulação de modelos dinâmicos em nível quantitativo com uma representação gráfica baseada em ícones. Fundamentado na metáfora do tanque e da torneira, o ambiente STELLA possibilita a construção de modelos por meio da conexão dos elementos básicos no formato de ícones: nível, fluxo (taxa), conversor e conectores. Neste nível os ícones do Bloco de Construção do Modelo representam os ícones básicos assim descritos:

-  **NÍVEL** - Representa uma variável que pode ser alterada ao longo do tempo por uma variável do tipo taxa. Esta variável reflete o estado de um sistema.
-  **FLUXO (TAXA)** - Representa uma variável que promoverá a mudança da variável tipo nível ao longo do tempo. Pode ser unidirecional ou bidirecional.
-  **CONVERSOR** - Representa uma constante ou uma função, sendo nos dois casos para converter valores. Eles não acumulam Taxas e, portanto, não possuem “memória” do sistema.
-  **CONECTOR** - Serve para transportar a informação de uma variável para a outra. Quando se usa um conector para ligar duas variáveis, está-se impondo uma relação entre elas.

ORELLANA GONZÁLEZ (2006) utilizou o Programa STELLA em recente trabalho que teve por objetivo analisar a sustentabilidade dos recursos hídricos do município de São Miguel do Anta, localizados na microrregião de Viçosa, MG. O seu interesse por essa pesquisa se deu por motivo semelhante àquele que vem ocorrendo nas bacias do rio Paracatu, do rio Preto e do ribeirão Entre Ribeiros. No município onde realizou o estudo dessa autora, a demanda por recursos hídricos vem aumentando nos últimos anos por dois principais motivos: a) crescimento das atividades econômicas; e b) crescimento populacional. O primeiro passo por ela utilizado foi conhecer a localidade para que pudesse ser representada esquematicamente a sua estrutura de funcionamento.

Esta estrutura foi representada por um diagrama causal, que serviu como base para a elaboração do diagrama de estoques e fluxos, por meio do qual se estabeleceu o modelo matemático que permitiu efetivar a simulação numérica. Aplicou-se testes de validação do modelo, que é fundamental para a sua credibilidade e, com os resultados obtidos, permitiu-se constatar que o modelo estava estruturado, tendo se comportado de forma coerente aos dados existentes à realidade, o que o tornou adequado àquela situação.

A Figura 37 apresenta o diagrama elaborado no trabalho de ORELLANA GONZÁLEZ (2006), no Município de São Miguel do Anta, MG.

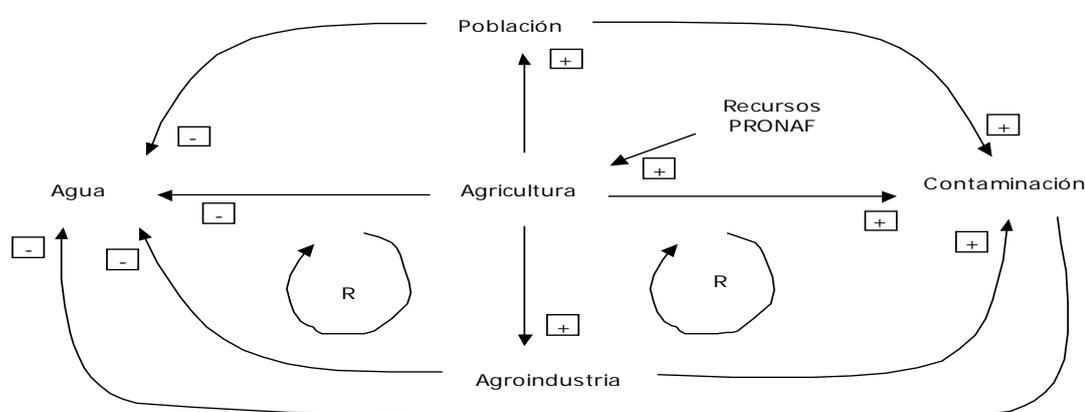


FIGURA 37 - Diagrama causal do Modelo da água. Fonte: ORELLANA GONZÁLEZ (2006).

De acordo com essa mesma autora, o modelo desenvolvido em seu estudo com o uso do *software* STELLA 9.0, tem sido empregado para identificar as soluções mais adequadas aos requerimentos de conservação do solo e dos requerimentos hídricos, relativos ao Desenvolvimento Sustentável, aos aspectos ambientais e às necessidades ecológicas e sócio-econômicas e políticas em diversas regiões. A partir do diagrama causal do modelo (Figura 37), foi permitido desenhar o diagrama de

carbono, mostrando o comportamento e concentrações desse gás com o passar dos anos. O modelo, representado na Figura 39, os reservatórios são representados por retângulos.

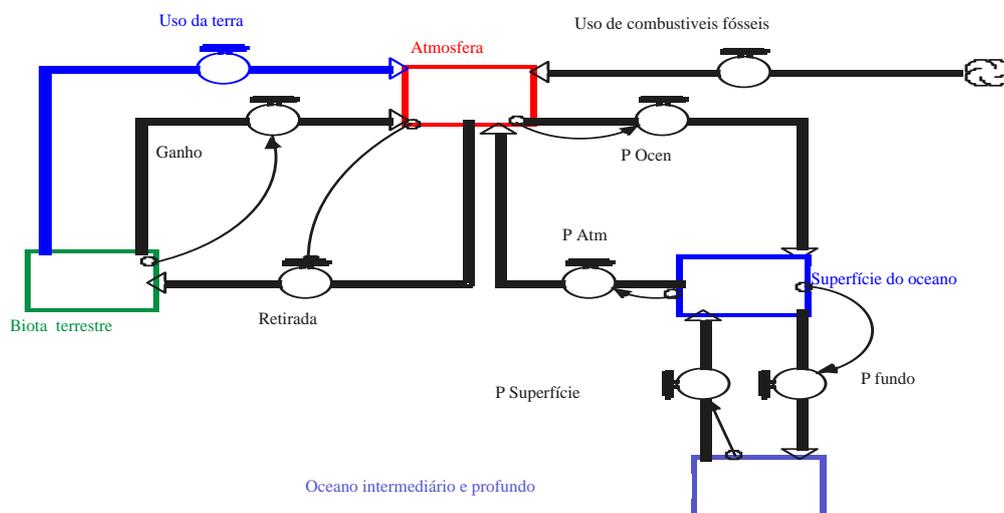


FIGURA 39 - Modelo simplificado do ciclo do carbono na Terra. Fonte: SILVA e VIANNA (2004).

Segundo esses mesmos autores, o movimento do dióxido de carbono, de um reservatório para outro, forma um importante fluxo por intermédio de um sistema fechado, o que permite avaliar a quantidade de carbono em cada reservatório no planeta Terra. Basicamente os fluxos representam os vários processos que afetam a quantidade de carbono que é depositada ou removida de um reservatório. Nestes fluxos estão incluídos, dentre outros, as trocas entre a atmosfera e a biota terrestre: atmosfera-superfície do oceano-oceano profundo. As transferências de longo tempo, como as que ocorrem para os sedimentos do fundo dos oceanos não foram incluídas. No modelo foram inseridas as variáveis Uso de Combustíveis Fósseis e Uso da Terra para avaliar a ação antropogênica do homem no ciclo, principalmente nos fluxos para atmosfera.

No trabalho desses mesmos autores, o tempo de simulação adotado foi de 100 anos, a partir do ano de 2000, pois segundo esses mesmos autores, para maiores intervalos os valores fornecidos pelo modelo poderiam não ter significado em função da complexidade que existe no problema modelado. Para esses mesmos autores, o resultado obtido na simulação sugere um cenário que parece refletir, em longo prazo, medidas que de forma incipiente estão sendo adotadas por alguns países visando reduzir a produção de CO_2 . Assim, o modelo parece ter fornecido, nessa simulação, um cenário real que pode não ser exato, mas é possível de vir a acontecer se houver cooperações das nações, adotando políticas públicas que busquem redimensionar as necessidades humanas. Na Figura 40 apresenta-se o comportamento dos reservatórios ao longo do tempo de simulação.

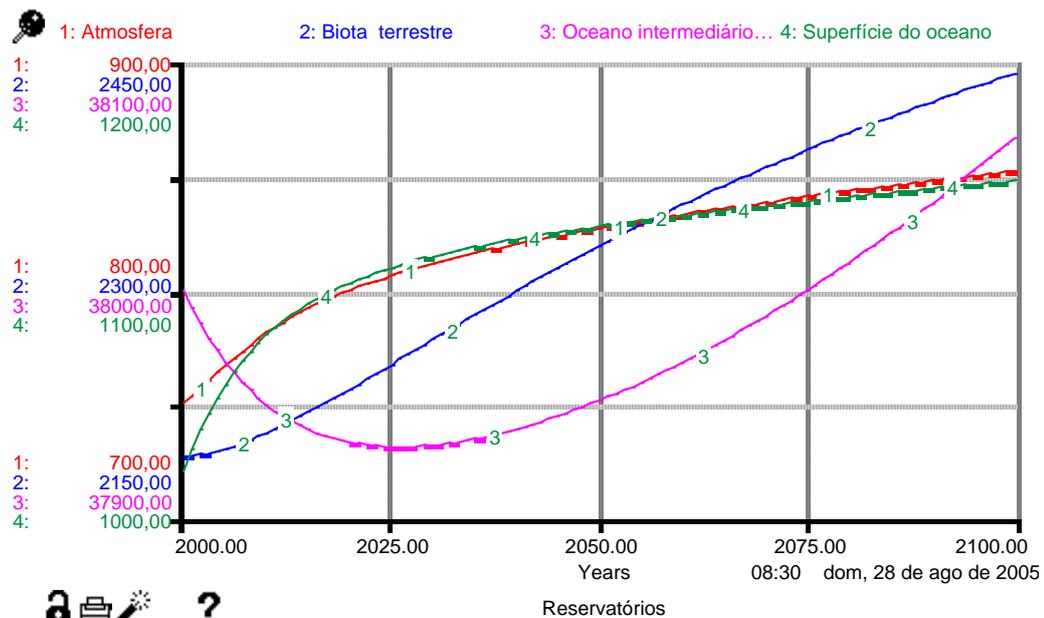


FIGURA 40 - Conteúdo de carbono nos reservatórios ao longo do tempo de simulação. Fonte: SILVA e VIANNA (2004).

Ainda na área de bacias hidrográficas, cabe citar o recente trabalho realizado por SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.* (2008). Teve por objetivo verificar a sustentabilidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari (BH-PCJ), por um período de 50 anos. Utilizou-se um modelo de simulação dos recursos hídricos dessas bacias desenvolvido em Dinâmica de Sistemas, para ser uma ferramenta para auxiliar aos formuladores de políticas e a os tomadores de decisões. A partir dos levantamentos iniciais, foi possível elaborar o diagrama causal das bacias, como se pode observar na Figura 41.

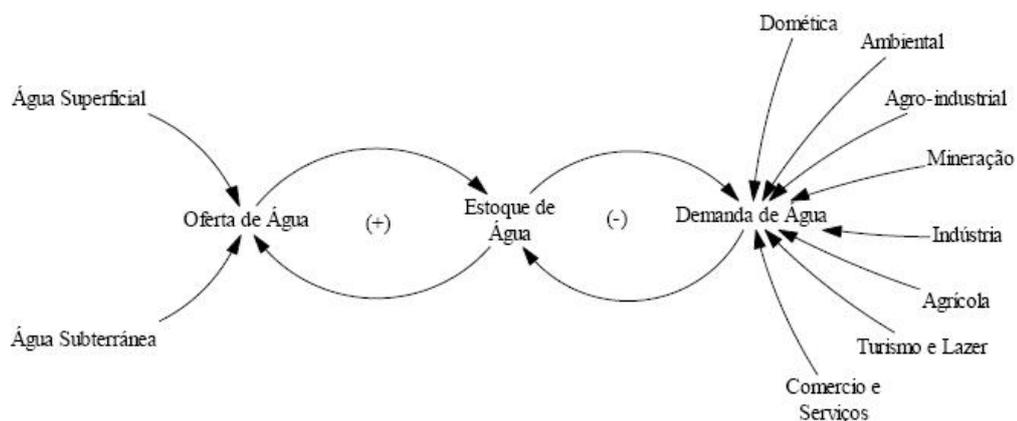


FIGURA 41 - Diagrama causal do sistema de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari. Fonte: SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.*, 2008.

De acordo com esses mesmos autores, depois de identificadas as variáveis do sistema, o setor de oferta de água ficou assim identificado, de acordo com a Figura 42.

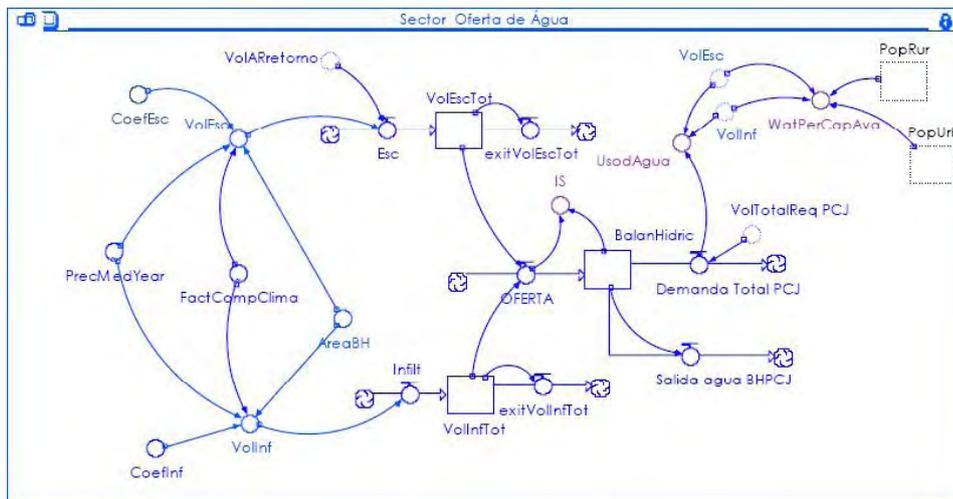


FIGURA 42 - Setor de oferta de água representando o sistema de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari. Fonte: SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.* (2008).

Nesse trabalho, o modelo estimou as ofertas e demandas de água, e a geração de águas residuárias de diversos consumidores existentes nas BH-PCJ. Nas simulações, com 50 anos de horizonte, mantiveram-se as taxas de consumo e de oferta existentes em 2004, ou consideraram-se mudanças no regime de chuvas, no consumo pelas áreas irrigadas ou pela população, na vazão ecológica, ou uma combinação dos cenários anteriores. No cenário sem mudanças nos comportamentos, foi encontrado que as demandas de água aumentarão em 76%, e que 39% do volume de água disponível terá origem no reuso das águas residuárias, sendo que a carga contaminante aumentará em um 91%. Também foi determinado o índice de sustentabilidade para diversos cenários, como pode ser observado na Figura 43.

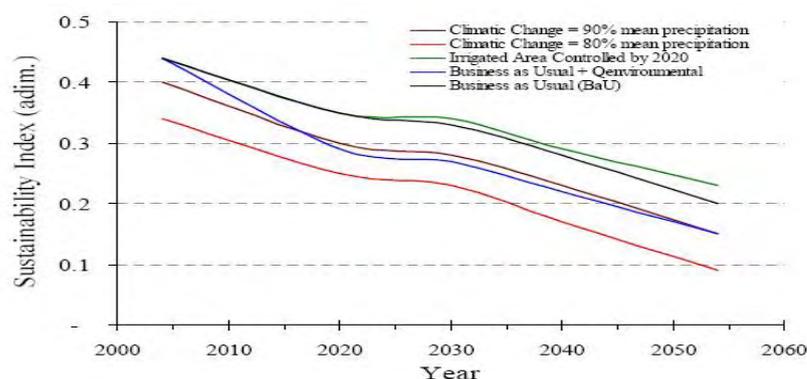


FIGURA 43 - Índice de sustentabilidade proposto por XU *et al.* (2002), para as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Jundiá e Capivari. Fonte: SÁNCHEZ-ROMÁN *et al.* (2008).

Observa-se na Figura 43, que o Índice de Sustentabilidade foi de 0,44 até 0,20 no período de simulação. Todos os cenários mostram uma tendência a uma futura crise da água. O modelo utilizado se mostrou uma boa ferramenta de apoio para a tomada de decisões.

Dessa forma, dentro da filosofia do pensamento sistêmico, tem-se construído modelos usando os círculos de causalidade. Estes constituem a ferramenta principal do pensamento sistêmico, e o conjunto deles pode ser chamado de “diagrama de influências”. Com base nessa ótica, infere-se que o mundo opera em volteios de retroalimentação de reforço (“R”) e balanceamento (“B”). O movimento em conjunto desses volteios é considerado o comportamento geral do fenômeno ou evento sob investigação (GRIFFITH e TOY, 2005).

O pressuposto fundamental da Dinâmica de Sistemas é o de que o comportamento simulado por um modelo emerge da estrutura causal que lhe está subjacente. Na Figura 44 podem-se observar os diversos tipos de modelo possíveis de se estudar com a Dinâmica de Sistemas.

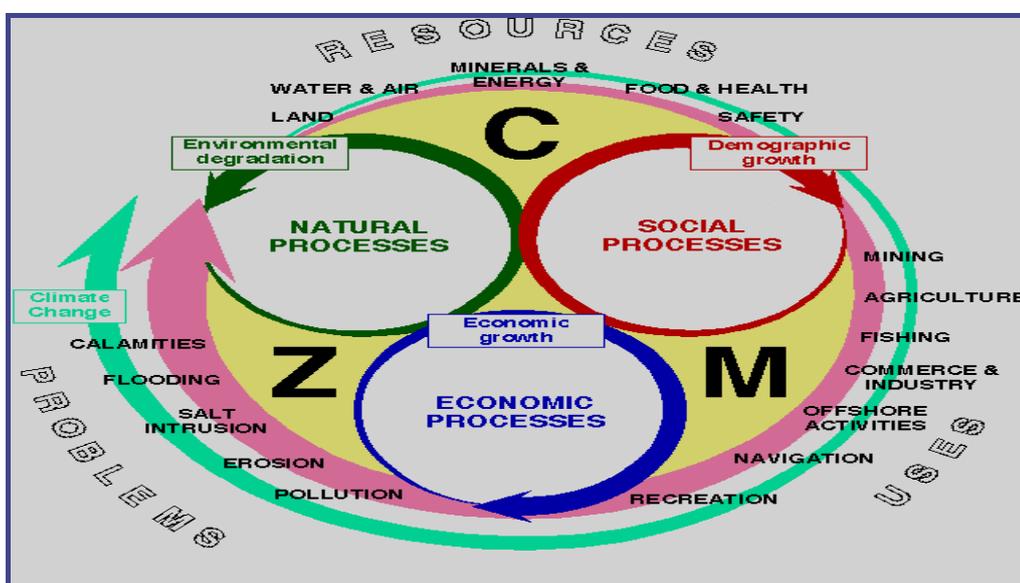


FIGURA 44 - Tipos de modelos possíveis de se estudar com a Dinâmica de Sistemas. Fonte: FORRESTER (1990).

Assim, se for construída uma estrutura útil (capaz de reproduzir os padrões de comportamento conhecidos do problema em análise), essa mesma estrutura pode ser posteriormente utilizada para testar e avaliar, no ambiente virtual do programa de modelação, as soluções alternativas de resolução do problema no sistema real.

Considerando os desafios atuais da pesquisa na concepção e implementação de ferramentas e processos mais eficazes para cada contexto de decisão, o presente estudo visa especificar o papel da modelagem dinâmica como plataforma de participação aplicada à gestão da água. Resultados de diversos estudos revelaram que a modelagem promove a aprendizagem sobre os problemas e aumenta a capacidade dos atores sociais em integrar conhecimentos e lidar com a complexidade subjacente à dinâmica das interações entre os sistemas social, econômico e ecológico. O Programa STELLA é uma ferramenta possível de ser utilizada para incorporar tais variáveis.

3.7. CONSIDERAÇÕES

No Brasil, são enormes as potencialidades produtivas da agricultura e da pecuária. Caso tais atividades fossem exploradas racionalmente, nos permitiria gerar as riquezas que tanto se necessitam para reduzir a pobreza rural e solucionar vários dos problemas nacionais. A agropecuária brasileira tem vocação para ser a mais poderosa frente do desenvolvimento nacional. Têm-se vastas extensões de terras de boa qualidade, abundância de água, clima favorável que nos permite obter várias colheitas ao ano, produzir na entressafra dos países ricos e criar gado em regime de pasto, um enorme mercado consumidor e uma abundante mão-de-obra necessitada de progredir com o fruto do seu trabalho.

Contudo, considerando as características do setor rural brasileiro, sem uma reorientação do ensino e da pesquisa em ciências agrárias, será impossível obter o conhecimento exigido para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis nos diferentes espaços ecológicos do nosso país. Quaisquer programas de ocupação ou de uso do solo com seus respectivos sistemas de manejo, necessariamente deverão incluir o homem como componente do ecossistema, evidenciando que o seu uso inadequado resultará em perdas econômicas. Deverão integrar o gerenciamento do solo e das atividades agropecuárias e florestais com o gerenciamento dos recursos hídricos.

Neste contexto, inserem-se as bacias hidrográficas do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, afluentes do rio Paracatu, local onde foi realizado o presente estudo. Pode-se perceber, por intermédio desta revisão, que modificações no regime de vazões de uma bacia hidrográfica podem ser decorrentes de mudanças do tipo de uso do solo, da variabilidade climática, de construção de barragens ou de aumento da irrigação, dentre outros fatores. A troca de uma cobertura por outra altera o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica, tendendo a alterar o comportamento das vazões. Esse é um sério problema dessas bacias, que mesmo com o avanço das tecnologias e do maior rigor da legislação e fiscalização ambiental, não têm sido resolvidos.

Sabe-se que a política ambiental, após a elaboração da Constituição de 1988, garantiu direito a todo brasileiro ao meio ambiente equilibrado, posto ser um bem de uso comum e fundamental para que se tenha qualidade de vida e desenvolvimento sustentável. Também, a Constituição a) estimula a ação popular ambiental, enfatizando o papel do cidadão; b) cria dispositivo concedendo autonomia a estados e municípios; c) inclui como função de promover a proteção do meio ambiente entre as incumbências institucionais do Ministério Público; d) impõe a defesa do meio ambiente como um dos princípios gerais da ordem econômica; e) condiciona o direito de propriedade à preservação ambiental; e f) evidencia a necessidade de recuperação de áreas degradadas, entre outros.

Após a promulgação da Constituição, houve mudanças substanciais nas propostas originais do governo, entenda-se como planejamento, que propiciaram inovações legais e a criação de diversos programas que, na verdade, garantem o desenvolvimento sustentável. Com a Lei 8.028/90, foi criada a Secretaria do Meio Ambiente (SEMAM), com a finalidade de planejar, coordenar, supervisionar e controlar as atividades relativas à Política Nacional de Meio Ambiente e à preservação, conservação e uso racional dos recursos naturais renováveis.

Contudo, as grandes empresas rurais, mesmo sujeitas a proibições e a multas impostas pela atual legislação, têm-se mostrado insuficientes para a resolução dos problemas ambientais, por três motivos básicos: a) pela grande extensão territorial brasileira, que dificulta a fiscalização e o monitoramento; b) pelo número reduzido do seu quadro funcional, que não garante a agilidade necessária para a execução dessa função; e c) pela escassez de recursos financeiros associada a baixa capacitação técnica e operacional dos órgãos ambientais; além do comprometimento próprio, em algumas situações.

Atualmente, a exploração agropecuária, florestal e industrial racional, é o desafio do século XXI. Para tanto, é necessário que sejam revistos os conceitos em termos de manejo e de utilização de práticas conservacionistas. Deve-se adotar uma educação ambiental crítica voltada para a necessária transformação da sociedade, para que esse cenário possa ser revertido na direção da sustentabilidade, baseada em novas condições que reordenarão os novos modelos de produção.

Atualmente, os principais problemas resultantes do uso dos recursos hídricos estão relacionados: a) ao assoreamento; b) à eutrofização; c) ao aumento da toxicidade das águas superficiais e subterrâneas; e d) às alterações no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água, agravando os problemas dos pontos de vista qualitativos e quantitativos.

Assim, esse trabalho se propôs a desenvolver um modelo de oferta e demanda do uso da água baseado em princípios de dinâmica de sistemas, com o auxílio do *software* STELLA. Por intermédio de uma análise sistêmica dos recursos foram determinadas as principais variáveis e suas inter-relações, que poderá ser empregado para identificar as soluções mais adequadas aos requerimentos de conservação do solo e da água. Será uma ferramenta de auxílio à definição de políticas públicas de planejamento e predição para estimar futuras demandas e ofertas de Recursos Hídricos. Dessa forma, os usuários poderão entender como que os diversos cenários, atuais e futuros, afetarão o desempenho dos ecossistemas aquáticos e terrestres.

A presente revisão teve por objetivo reunir informações necessárias ao desenvolvimento da tese proposta. Serão agora apresentados os dados relativos à área de estudo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Delimitação espacial e aspectos sócio-econômicos e ambientais

4.1.1.1. Bacia do rio São Francisco

O Rio São Francisco, descoberto em 1502 por Américo Vespúcio, possui aproximadamente 2.800 km de extensão e a sua bacia drena uma área de 639.219 km² (Figura 45). Nasce na forma de pequenos olhos d'água escondidos pela vegetação baixa e ressecada do Chapadão da Zagaia, na Serra da Canastra, em São Roque de Minas (MG). Escoa no sentido sul-norte pelos Estados de Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para leste, tendo a sua foz no Oceano Atlântico na divisa dos Estados de Alagoas e Sergipe. Abrange parte das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste, representando aproximadamente 7,5% do território brasileiro (CBHSF, 2006).



FIGURA 45 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco. Fonte: ANA (2004).

A bacia do rio São Francisco abarca sete unidades da federação - Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal, agregando 504 municípios. Ao longo desse percurso, onde vivem aproximadamente 14 milhões de habitantes (MMA & SRH-MMA, 2006) (em 2000, era de 13.297.955 habitantes, correspondendo a 8% da população do país, segundo RODRIGUEZ e HOLTZ, 2003), se divide em quatro trechos: o Alto São Francisco, que se inicia em suas cabeceiras e prossegue até Pirapora, em Minas Gerais; o Médio, de Pirapora, onde começa o trecho navegável, até Remanso, na Bahia; o Sub-médio, de Remanso até Paulo Afonso, também na Bahia; e o Baixo, de Paulo Afonso até a foz (Figura 46). É conhecido como o “rio da integração nacional” - tem esse título por ser o caminho de ligação do Sudeste e do Centro-Oeste com o Nordeste (CBHSF, 2006).



FIGURA 46 - Bacia do rio São Francisco e sua respectiva área de drenagem. Fonte: MMA & SRH-MMA, 2006.

Nesse percurso encontra regiões com as mais diversas condições naturais. O clima apresenta uma variabilidade associada à transição do úmido para o árido, com temperaturas médias anuais variando de 18 a 27°C, baixo índice de nebulosidade e grande incidência de radiação solar. Os índices pluviométricos da bacia do rio São Francisco variam entre sua nascente e sua foz: a pluviometria média (1.036 mm) varia de 1.900 mm na área da Serra da Canastra a 350 mm no semi-árido nordestino, entre Santo Sé e Paulo Afonso, na Bahia. Por sua vez, os índices relativos à evaporação mudam inversamente e crescem de acordo com a distância das nascentes: variam de 500 mm anuais, na cabeceira, a 2.200 mm anuais em Petrolina, PE (CBHSF, 2006).

Portanto, as partes extremas da bacia, superior e inferior, apresentam bons índices pluviométricos e fluviométricos, enquanto os seus cursos médio e sub-médio, atravessam áreas de clima bastante seco e semi-árido. Recebe água de 168 afluentes, dos quais 99 são perenes; 90 estão na sua margem direita e 78 na esquerda. A produção de água de sua bacia se concentra nos cerrados do Brasil Central e em Minas Gerais. Considera-se que 73,50% do deflúvio (vazão natural média) do rio São Francisco é gerado no estado de Minas Gerais, cuja área da bacia ali inserida é de apenas 37,00% da área total. A grande variação do porte dos seus afluentes é conseqüência das diferenças climáticas entre as regiões drenadas. Possui uma vazão média de longa duração na sua foz de aproximadamente $2.850 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ANA, 2005; CODEVASF, 2006; MMA & SRH-MMA, 2006).

A demanda de água na bacia do rio São Francisco é de $224 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, cuja derivação é assim distribuída: a) irrigação $\rightarrow 160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (71,4%); b) abastecimento urbano $\rightarrow 28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (12,5%); c) dessedentação de animais $\rightarrow 7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (3,1%); e d) atividade industrial $\rightarrow 29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (13%) (ANA, 2002). Além da irrigação, destaca-se também como importante atividade econômica da bacia a hidroeletricidade. Seu potencial hidrelétrico é de 26.320 MW, sendo que a implantação de vários projetos hidroelétricos no rio São Francisco acabou por alterar o seu comportamento hidrológico (CODEVASF, 2003).

A irrigação no Vale do São Francisco, especialmente no semi-árido, é uma atividade social e econômica dinâmica, geradora de emprego e renda na região e de divisas para o País – a atividade de fruticultura exporta para os EUA e Europa. Ocupa aproximadamente uma área de 333.310 hectares (ha), cerca de 11% da área irrigada do Brasil, sendo, entretanto, o seu potencial irrigável de três milhões de ha (VALE DO SÃO FRANCISCO, 2003). De acordo com a CODEVASF (2006), a área irrigada poderá ser expandida para até 800 mil ha, nos próximos anos, o que será possível pela participação crescente da iniciativa privada.

Contudo, RAMOS e PRUSKI (2003) evidenciaram em estudo pertinente à quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco, da necessidade de otimização de suas estratégias de manejo da irrigação. De acordo com a ANA (2002), justifica-se tal preocupação posto que a irrigação representa o uso consuntivo de recursos hídricos mais significativo no cenário nacional, caracterizado pelas baixas taxas de retorno de água aos mananciais e grande magnitude das vazões captadas. Em geral, a instalação de projetos de irrigação corrobora para a existência ou intensificação de conflitos com outros usuários pelo uso da água, em particular o setor elétrico e de navegação.

Do ponto de vista comercial, o trecho principal são 1.371 km entre Pirapora e Remanso. Este trecho representa a ligação econômica entre o Centro Sul e o

Nordeste. Com o seu extremo sul localizado na cidade de Pirapora (MG), a Hidrovia do São Francisco é interligada por ferrovia e estradas aos mais importantes centros econômicos do Sudeste, além de fazer parte do Corredor de Exportação Centro-Leste. Ao Norte, nas cidades vizinhas de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE), a Hidrovia está ligada às principais capitais do Nordeste, dada às suas posições geográficas. Oferece condições naturais de navegação, durante todo o ano, com variações de profundidade (calado), segundo o regime de chuvas (CBHSF, 2006).

Em grande parte no vale do São Francisco, as áreas mais propícias ao aproveitamento agrícola se situam às margens desse rio. Por esse motivo é nas proximidades dele que se encontra a maior parcela da população do vale. Embora o maior volume de água do rio seja ofertado pelos cerrados do Brasil Central e pelo Estado de Minas Gerais, é a represa de Sobradinho que garante a regularidade de vazão do São Francisco, mesmo durante a estação seca (maio a outubro). Essa barragem foi planejada para garantir o fluxo de água regular e contínuo à geração de energia elétrica da cascata de usinas operadas pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) – Paulo Afonso, Itaparica, Moxotó, Xingó e Sobradinho. Sem qualquer barragem, em outubro de 1955, o rio São Francisco registrou a menor vazão jamais registrada em Juazeiro/Petrolina → $595 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Fundação Joaquim Nabuco, 2006).

Segundo essa mesma fonte, na existência de Três Marias e Sobradinho, é possível garantir que, ocorrendo uma estiagem semelhante à da década de 50 do século passado, e se reproduzindo vazão semelhante à daquele ano, Sobradinho liberará uma vazão mínima garantida de $2.060 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para alimentar as usinas existentes a jusante (Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I, II, III e IV, e Xingó). Depois de movimentarem os geradores das referidas hidrelétricas, as águas do São Francisco fluem para o mar. Atualmente, 95% do volume médio liberado pela barragem de Sobradinho – $1.850 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ – são despejados na foz e apenas 5% são consumidos no Vale. Nos anos chuvosos, a vazão de Sobradinho chega a ultrapassar $15 \text{ mil m}^3 \text{ s}^{-1}$, e todo esse excedente segue seu curso natural para o mar.

Como principais características físicas do rio São Francisco, destacam-se: a) Nascente - localizada a cerca de mil metros de altitude; b) Declividade média: $8,8 \text{ cm/km}$; c) Média das vazões na foz: $2.943 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; d) Tipo de foz: Estuário; e) Velocidade média de corrente: $0,8 \text{ m s}^{-1}$ (entre Pirapora - MG e Juazeiro - BA); e f) Sentido da corrente: Sul/Norte. Seus principais afluentes são os rios: Paraopeba, Paracatu, Abaeté, Verde Grande, das Velhas, Carinhanha, Jequitaí, Corrente, Urucuia e Grande (FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO, 2006).

Na bacia do rio São Francisco existe 504 cidades e praticamente nenhuma delas tem saneamento básico com condições adequadas. Na maioria delas o esgoto

doméstico e industrial *in natura* é lançado diretamente no rio, além dos dejetos de industriais e agroindustriais. A região metropolitana de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, polui seu maior afluente, o rio das Velhas. Assim, o estado de degradação em que o rio se encontra (Figura 47) representa a real situação de como o país vem efetivamente administrando seus recursos naturais. Dentre os principais agentes poluidores do São Francisco, destacam-se (RIMA, 2004): a) ações desordenadas de mineradoras; b) erosão do solo causada pela pecuária e agricultura; c) assoreamento; e d) uso indiscriminado de agroquímicos.



FIGURA 47 - Condição atual das margens do rio São Francisco. Fonte: RIMA (2004).

Também, são comuns grandes áreas com desmatamento e queimadas desde a sua nascente, que provocam o assoreamento do rio, além do desvio de água cada vez maior para projetos de irrigação, em sua maioria sem planejamento e manejo. Dessa forma, a cada ano tem diminuído perigosamente o seu volume de água e a navegação já não se faz em determinados trechos e em determinadas épocas do ano, como em janeiro deste ano de 2008.

No tocante ao desmatamento predatório das matas ciliares do rio, influi diretamente nas cheias ocasionais. Embora o desmatamento, em geral, não provoque aumento ou redução de chuvas, pois estas decorrem de circulação de correntes aéreas em grandes altitudes e, portanto, independentes da vegetação local, se a chuva, caindo, encontra o terreno coberto de vegetação e serapilheira, será retardada a chegada da água na calha do rio e, assim, a vazão se forma naturalmente ordenada. Sem a vegetação, com o solo descoberto, a água chega velozmente na calha do rio, acumulando-se e aumentando o pico de cheia e a conseqüente redução na recarga dos aquíferos (FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO, 2006).

A importância da parte mineira da bacia do rio São Francisco, no contexto estadual e nacional, se deve ao fato de que esta região possui: 37% da área física da bacia; 48% dos municípios (239 municípios); 57% da população; 80% de rios perenes;

e 72% do volume d'água. Possui o maior potencial para instalação de barragens reguladoras de vazão e de ampliação da oferta de volume de água na bacia; e contém a sua maior reserva mineral. Esta importância, associada ao acelerado processo de degradação ambiental, que compromete a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, são fatores determinantes para a concretização de ações relacionadas à revitalização, recuperação e conservação hidroambiental deste significativo território da bacia (CAMARGOS e SERPA, 2004).

Uma avaliação dos fatores relacionados à degradação da bacia no Estado de Minas Gerais, com base nos estudos e planos existentes, apontou os seguintes problemas, sobre os quais o conhecimento deveria ser aprofundado para o desenvolvimento da terceira fase do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio São Francisco, qual seja: Estratégia para Revitalização, Recuperação e Conservação Hidroambiental e Programa de Investimentos (ibidem):

➤ **Problemas de âmbito geral na parte mineira da bacia**

- Falta de tratamento de esgotos;
- Disposição inadequada dos resíduos sólidos;
- Supressão da vegetação (topo, ciliar e nascente);
- Frágil educação ambiental;
- Manejo inadequado dos solos;
- Áreas degradadas pela mineração;
- Falta de articulação institucional;
- Lento processo de consolidação/implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos;
- Erosão/assoreamento;
- Áreas de preservação permanentes degradadas (veredas, lagoas marginais);
- Pressão de uso agrícola sobre as áreas de recarga dos aquíferos;
- Escassez hídrica (Norte de Minas); e
- Ausência de sistema de informações geográficas aplicado ao gerenciamento dos recursos hídricos.

➤ **Problemas de âmbito específico**

Conforme o estudo “Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos”, a parte mineira da Bacia é assim distribuída (Figura 48):

- SF1 - Nascentes até confluência com Rio Pará
- SF2 - Bacia Hidrográfica do Rio Pará
- SF3 - Bacia hidrográfica do Rio Paraopeba
- SF4 - Entorno do Reservatório de Três Marias
- SF5 - Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas
- SF6 - Bacias Hidrográficas dos Rios Jequitai e Pacuí
- SF7 - Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu
- SF8 - Bacia Hidrográfica do Rio Urucuia
- SF9 - Bacias hidrográficas dos Rios Calindó e Pandeiros
- SF10 - Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande

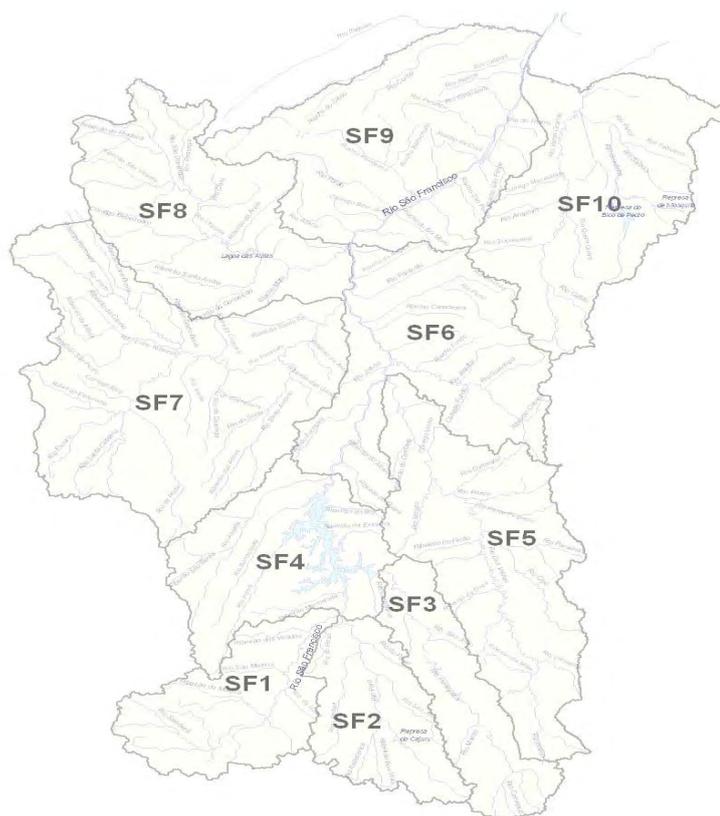


FIGURA 48 - Parte mineira da bacia do rio São Francisco. Fonte: CAMARGOS e SERPA, 2004.

■ **Principais Problemas**

- SF1 - áreas de preservação permanente degradadas;
- SF2 - efluentes domésticos, disposição inadequada dos resíduos sólidos e escassez de água no Alto rio São João;
- SF3 - falta de cobertura vegetal, áreas degradadas pela mineração, efluentes industriais e domésticos;
- SF4 - áreas degradadas pela mineração e erosão acelerada (Rio Abaeté);
- SF5 - áreas degradadas pela mineração, efluentes industriais e domésticos;
- SF6 - escassez de água (conflito) e agricultura irrigada (Riachão);
- SF7 - agricultura irrigada (conflito);
- SF8 - agricultura irrigada;
- SF9 - escassez de água (semi-árido);
- SF10 - escassez de água (conflito) e extensas áreas com plantio de eucalipto.

4.1.1.2. Bacia do rio Paracatu

O Rio Paracatu nasce no município de Lagamar, próximo ao povoado de Almas e tem uma extensão total de 485 km. Deságua no rio São Francisco, na localidade de Cachoeira da Manteiga, município de São Romão, MG. É dividido em Alto, Médio e Baixo Paracatu. A sua bacia hidrográfica (Figura 49) está situada no Médio São Francisco, inserida na mesorregião Noroeste de Minas, onde se encontram municípios como Paracatu e Unai (IGAM, 2007).

Abrangendo 13 sedes municipais e apresentando uma área de drenagem de 41.512 km² no estado de Minas Gerais (45.600 km², de área total, segundo BRASIL,

1996; DINO, 2002), a bacia possui uma população estimada de 259.717 habitantes, sendo a segunda maior sub-bacia do São Francisco (*ibidem*). O clima é considerado semi-úmido, com período seco que varia entre quatro a cinco meses por ano. A disponibilidade hídrica se situa entre 2 e 10 L s⁻¹ km², com exceção das nascentes dos rios Preto, Prata e Sono, onde a disponibilidade hídrica se situa entre 10 e 20 L s⁻¹ km² (*ibidem*).

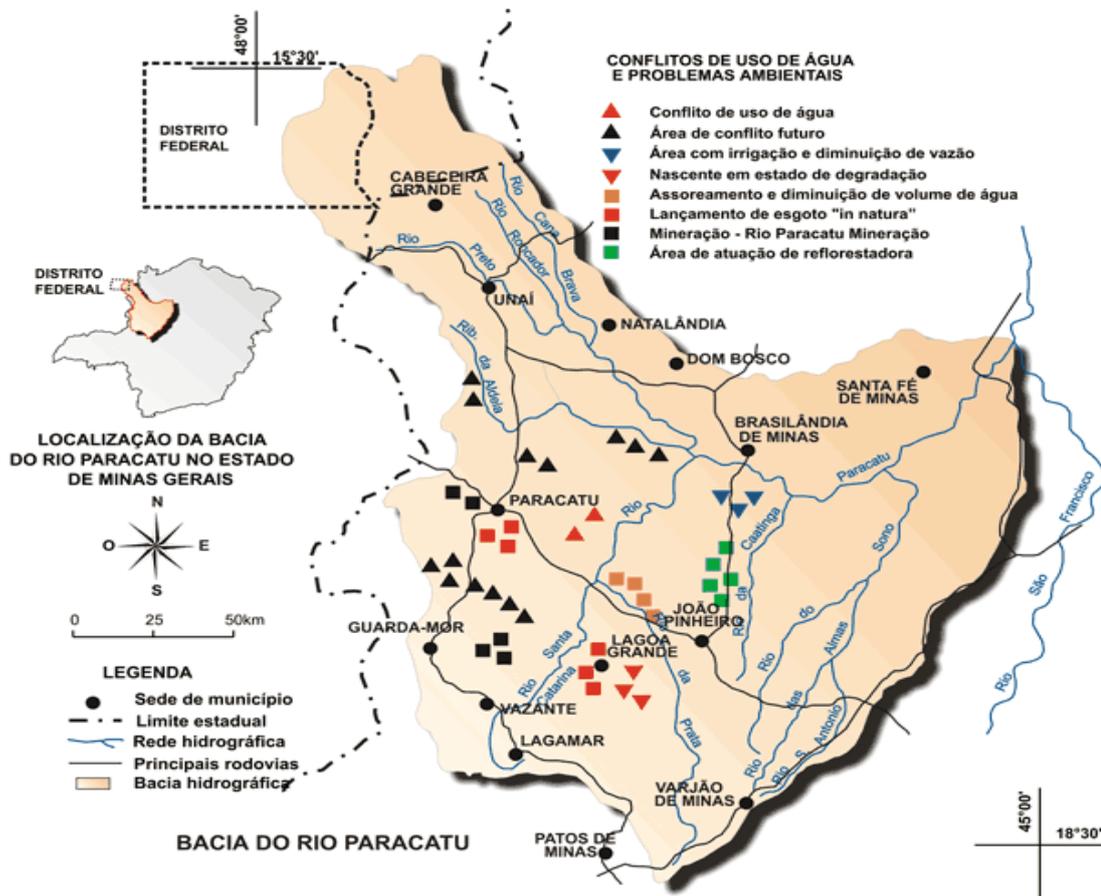


FIGURA 49 - Bacia do rio Paracatu. Fonte: PROJETO MARCA D'AGUA/FINATEC (2003).

Da área de drenagem da bacia do Paracatu, cerca de 92% encontram-se no Estado de Minas Gerais, 5% em Goiás e 3% no Distrito Federal (FERREIRA e ARAÚJO NETO, 2007). Os principais afluentes do Paracatu são: a) pela margem direita, o rio do Sono, com 5.969 km²; e o rio Prata, com área de drenagem de 3.750 km²; e b) pela margem esquerda, o rio Preto, com 10.459 km²; o rio Escuro, com 4.347 km²; e o ribeirão Entre Ribeiros, com 3.973 km² (ANA, 2004). Observa-se que o seu principal afluente é o rio Preto, que tem as suas nascentes no estado de Goiás e o seu curso delimita o Distrito Federal a leste, estendendo, assim, a bacia do rio Paracatu além das fronteiras de Minas Gerais (PROJETO MARCA D'AGUA/FINATEC, 2003).

A precipitação média anual na bacia do Paracatu é de 1.340 mm, iniciando o período chuvoso no mês de outubro. A evapotranspiração real média é de 995 mm (BRASIL, 1996), sendo esta correspondente, portanto, a 74,3% do volume precipitado na bacia, valor este similar ao evidenciado por RODRIGUEZ (2004), que foi de 73%. Um estudo realizado por PEREIRA (2004), sobre a disponibilidade hídrica no rio São Francisco, evidenciou-se que, dentre as suas sub-bacias, a do Paracatu é a que apresenta a maior contribuição real (volume médio escoado), representando 19,5% do volume escoado na foz do rio São Francisco.

De acordo com o Plano Diretor elaborado para esta bacia (1996), a área ocidental apresenta índices de desenvolvimento e ocupação humanos mais elevados, devido às melhores condições climáticas e à fertilidade dos solos. A metade oriental da bacia é caracterizada por uma ocupação mais rarefeita, por um índice de desenvolvimento menor e por uma menor pressão sobre o uso dos recursos hídricos, uma vez que os solos são mais pobres (PLANPAR, 1996).

O bioma existente na bacia hidrográfica do rio Paracatu é o Cerrado. A região é composta predominantemente por cerrado sentido restrito, pastagens, agricultura de sequeiro, campo cerrado, matas e áreas de reflorestamento, além de faixas de cerradão em menor concentração. As matas, principalmente as ciliares, e as “veredas”, têm desaparecido na região com o crescimento da agricultura, segundo dados do IEF de Paracatu (PROJETO MARCA D'AGUA/FINATEC, 2003). No Quadro 11 pode-se observar o uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Paracatu.

QUADRO 11 - Uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Paracatu

Classe	Frequência Relativa (%)
Cerrado sentido restrito	22,56
Pasto	21,93
Mata	17,34
Agricultura de Sequeiro	14,92
Campo Cerrado	11,31
Reflorestamento	9,61
Vegetação de Várzea	0,99
Outras áreas	0,66
Agricultura Irrigada	0,64
Mineração	0,04

Fonte: PLANPAR (1996).

A agropecuária é a atividade econômica principal da região. Esta atividade ainda é permeada por manejos do solo que não contemplam a sua conservação. São utilizadas de forma intensa as técnicas de aração, gradagem, queimadas, pecuária extensiva e ainda a supressão da cobertura vegetal nativa. Essas práticas geram o aumento da erosão na região, como em Cristas de Unaí, no Rio da Prata e no Planalto Úmido Ocidental. Essas áreas apresentam os maiores rebanhos da região e a

agricultura como a principal atividade econômica (PROJETO MARCA D'AGUA/FINATEC, 2003).

De acordo com o Plano Diretor, cerca de 0,2% (≈ 9.000 ha) da área da bacia apresenta processos erosivos avançados. Segundo moradores locais, houve durante a década de 1970, incentivo por parte do governo para a ocupação das áreas de veredas. Neste sentido, houve e ainda há forte pressão antrópica sobre as veredas e lagoas marginais. Grande parte das veredas na região foi extinta, devido à sua ocupação para o desenvolvimento de atividades agrícolas que geraram o seu assoreamento. No caso das lagoas marginais, a irrigação e a dessedentação do gado causaram a sua degradação. Tais fatos ocorreram no Alto Paracatu, Médio Paracatu Norte, Médio Paracatu Sul, Planalto Úmido Sul, Alto e Médio Prata e Planalto de Santa Fé (*ibidem*).

A atividade de mineração é intensa na região, principalmente na parte sul da bacia. As áreas degradadas por esta atividade, segundo o Plano Diretor estão concentradas no Planalto Úmido Ocidental, Planalto Úmido Sul e Depressão do Alto Paracatu, destacando-se o Morro do Ouro, no município de Paracatu, nas cabeceiras do Córrego Rico. Segundo um produtor rural de João Pinheiro, outro fator que tem prejudicado as veredas são os reflorestamentos, feitos com eucalipto e sem curvas de nível ou terraceamento nessas áreas (*ibidem*).

Tais atividades apresentam usualmente um potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Na bacia do rio Paracatu, as empresas de mineração declaram que cumprem todas as exigências legais associadas ao uso da água, apesar de lhes ser atribuída responsabilidade por alguns dos danos ambientais na região, nomeadamente nos municípios de Paracatu e João Pinheiro. Este setor também tem contribuído para agravar a preocupação inerente à questão da quantidade, uma vez que algumas empresas localizadas próximo de aquíferos têm utilizado essa água para a exploração e lavagem de minérios, originando o rebaixamento do lençol freático (*ibidem*).

Os grandes projetos de irrigação constituem a principal fonte de conflitos associados ao uso de água na bacia - conflitos essencialmente de natureza quantitativa e não qualitativa. A questão quantitativa se revela demasiadamente preocupante quando em dois dos mananciais que abastecem os três maiores centros urbanos da região - Unaí, Paracatu e João Pinheiro – assistiu-se a uma queda substancial da vazão: em uma situação de 50 L s^{-1} para 8 L s^{-1} ; e em outra para cerca de metade do que era usual (*ibidem*).

O consumo de água na bacia do rio Paracatu aumentou cerca de onze (11) vezes no período 1970-1996, com uma taxa de crescimento do consumo de água de $0,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo $0,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ correspondente ao aumento do consumo

pela irrigação. Este fato indica a necessidade de adoção de uma gestão adequada dos recursos hídricos que considere a alta taxa de crescimento da demanda em virtude do intenso desenvolvimento econômico existente na bacia (RODRIGUEZ, 2004).

Além da consideração do grande aumento no consumo de água, a análise do efeito das mudanças climáticas também deve ter especial atenção por parte dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. A quantificação do efeito decorrente de tais mudanças climáticas poderá permitir a definição de estratégias para garantir a disponibilidade hídrica necessária para que não venha ocorrer conflitos entre os usuários de água na bacia. De acordo com as previsões climáticas por meio de modelos de circulação atmosférica para a bacia do rio São Francisco, AZEVEDO *et al.* (2005) constataram que nos próximos 40 anos a região onde se situa a bacia do Paracatu deverá sofrer, em média, aumentos de 6,9% da precipitação e de 1°C na temperatura média do ar.

A bacia do rio Paracatu não possui nenhum reservatório expressivo, porém possui potencial hídrico para instalação de barragens com a finalidade de regularização das vazões ao longo do ano, podendo assim, permitir o crescimento das suas atividades econômicas sem comprometer a sustentabilidade desse desenvolvimento. Tal fato se deve a pouca influência que a vazão total consumida pelos diversos usuários na bacia apresenta em relação à vazão média de longa duração (Q_{mid}), sendo a máxima porcentagem da vazão consumida em relação à Q_{mid} igual a 2,1%, evidenciada no ribeirão Entre Ribeiros. Outro fator que mostra o potencial para a instalação de reservatórios na bacia é a baixa capacidade de regularização natural dos rios, sendo constatada uma relação média entre as vazões associadas à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) e Q_{mid} igual a 0,20 (RODRIGUEZ, 2004).

Os principais usos de água na bacia do Paracatu são: a) irrigação - ocupa uma área de 37.150 ha e cuja vazão consumida representa 86,6% do total demandado na bacia; b) abastecimento animal - com 10,7%; c) abastecimento urbano - com 1,5%; e d) rural - com 1,2% (*ibidem*). O sistema de irrigação predominante é o pivô central (88%), sendo que em 42% desta área (13.730 ha) já ocorrem limitações para o uso da água (BRASIL, 1996). Atualmente, evidencia-se que a maioria dos projetos de irrigação da bacia aplica água em excesso, reduzindo sua disponibilidade e contaminando os ecossistemas aquáticos, inclusive o lençol freático (RAMOS e PRUSKI, 2003).

Em estudo realizado no Projeto Marca D'Água (JOHNSON e LOPES, 2003) foi evidenciada a preocupação dos técnicos que trabalham com recursos hídricos na bacia do Paracatu em relação às questões relativas à gestão de recursos hídricos, principalmente quanto à definição de novos parâmetros e metodologias para a concessão da outorga. Questionam quanto ao critério adotado para esse fim, que

correspondente a 30% da vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). Este critério, segundo os técnicos, não representa com exatidão o potencial hídrico da região, pois é baseado na disponibilidade hídrica de Minas Gerais como um todo. Esses técnicos entendem que o critério adotado é muito restritivo e que deve ser discutido com base em um trabalho mais específico para a bacia do Paracatu.

De acordo com RODRIGUEZ (2004) o principal segmento consumidor de água na bacia do rio Paracatu foi a irrigação, que teve no censo agropecuário do ano de 1996, um consumo superior a 85% e 92% do total da vazão consumida na bacia do rio Preto e do ribeirão Entre Ribeiros, respectivamente. De acordo com essa mesma autora, as vazões de retirada pela irrigação na bacia do rio Paracatu, estimadas para os meses de maior demanda, variam de 4,3 a 85,1% da $Q_{7,10}$, sendo que o valor de 85,1% (evidenciada no ribeirão Entre Ribeiros) é bastante superior ao concedido para outorga em Minas Gerais, refletindo uma utilização da água superior àquela permissível para outorga.

Deste modo, como consequência da grande expansão da agricultura irrigada, sérios conflitos têm surgido em várias partes da bacia do rio Paracatu, principalmente nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, concentrando 53% de toda a área irrigada da bacia do rio Paracatu (*ibidem*).

4.1.1.3. Bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto

As bacias do rio Preto (400 km de extensão) e ribeirão Entre Ribeiros (163 km de extensão) estão localizadas a noroeste da bacia do rio Paracatu e englobam nove (9) municípios: Formosa/GO, Cabeceiras/GO, Cabeceira Grande/MG, Distrito Federal/DF, Unaí/MG, Natalândia/MG, Dom Bosco/MG, Bonfinópolis de Minas/MG e Paracatu/MG (IGAM, 2005). As vazões do rio Paracatu que afluem ao rio São Francisco são, em média, da ordem de $220 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante o período de estiagem e $800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante a época chuvosa, representando percentuais de 40 e 38%, respectivamente, da vazão do rio São Francisco no posto fluviométrico de Cachoeira da Manteiga, situado a montante da seção de deságüe do rio Paracatu no rio São Francisco (BRASIL, 1996). Na Figura 50 podem-se observar as suas localizações

A vazão média observada no rio Preto que aflui ao rio Paracatu é da ordem de $114,26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e a vazão específica de $12,08 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, no posto fluviométrico de Porto dos Poções (42600000), situado a montante da seção de deságüe do rio Preto no rio Paracatu. Já as vazões médias observadas em estações fluviométricas na bacia do ribeirão Entre Ribeiros são da ordem de $15,92 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $8,96 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e a vazão específica de $10,01 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$ e $16,29 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, nos postos fluviométricos de Fazenda Barra da Égua (42435000) e Fazenda Poções (42440000) (LATUF, 2007).

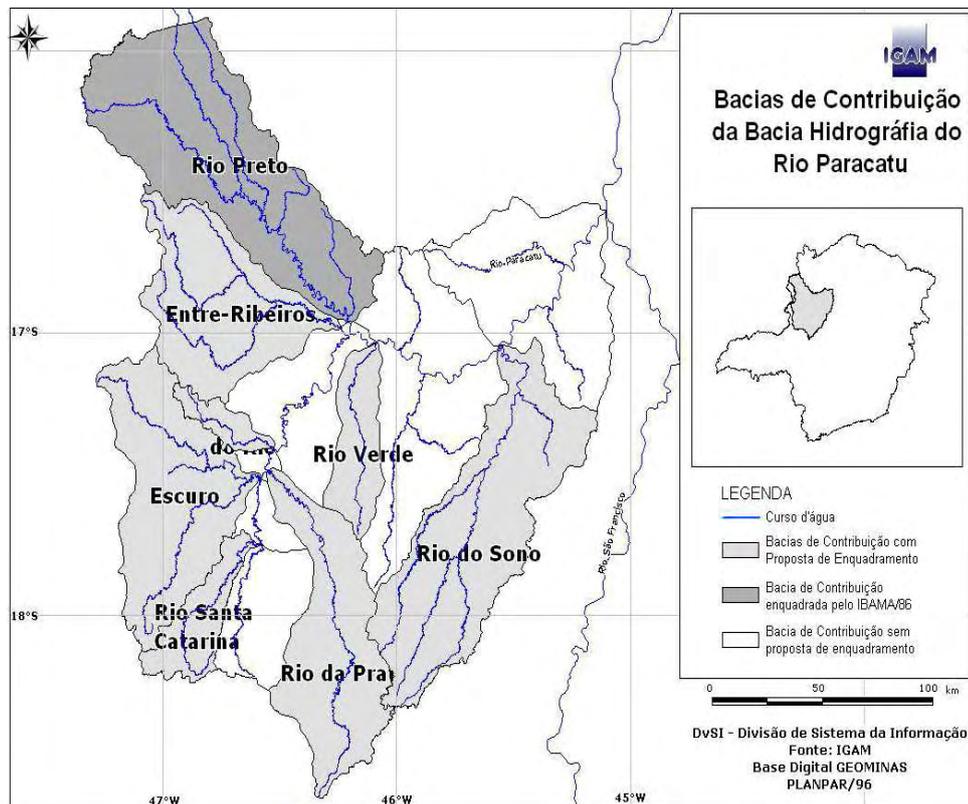


FIGURA 50 - Localização da bacia do rio Paracatu e suas bacias de contribuição. Fonte: SANTOS *et al.*, 2007.

De acordo com RODRIGUEZ (2004), de 1970 até 2000, o principal agente consumidor de água na bacia do rio Paracatu foi a irrigação, que teve no censo agropecuário de 1996, um consumo superior a 78% do total da vazão consumida, chegando à taxa de 93% na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Assim, observa-se na Figura 51, que representa os usos da água na bacia do Paracatu, o aumento da vazão consumida pela irrigação. Este aumento reflete, sobretudo, os programas e os incentivos governamentais iniciados na década de 1970, com o Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro, o PLANOROESTE.

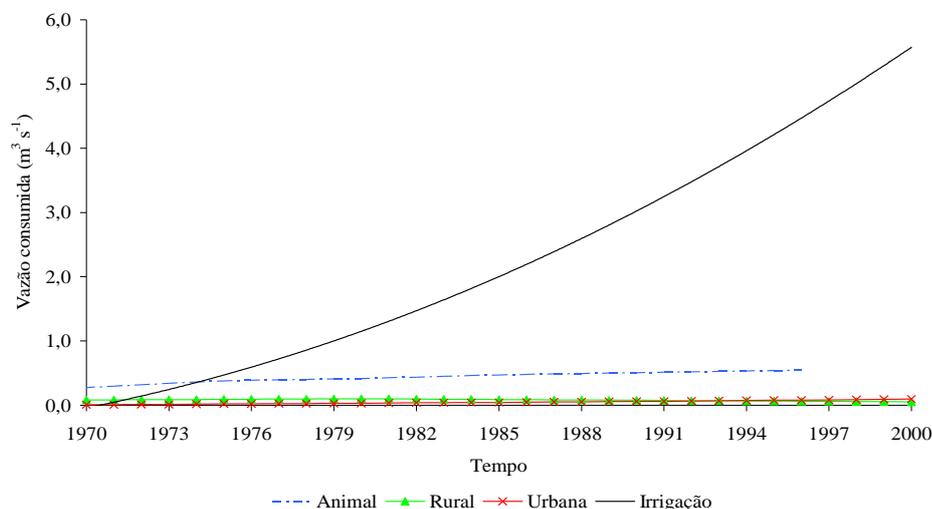


FIGURA 51 - Usos da água na bacia do Paracatu. Fonte: RODRIGUEZ, 2004.

Percebe-se na Figura 51 que os principais usos dos recursos hídricos nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros são para o atendimento das demandas de irrigação e dessedentação de animais. Contudo, de acordo com essa mesma autora, como consequência da grande expansão da agricultura irrigada, sérios conflitos têm surgido nessas duas bacias, principalmente, concentrando 53% de toda a área irrigada da bacia do Paracatu. No Quadro 12 são mostradas as variações das áreas irrigadas ao longo dos anos, obtidas por intermédio de dados dos censos agropecuários para os municípios que compõem estas bacias.

QUADRO 12 - Áreas irrigadas por município

Municípios	Área irrigada (ha)				
	1970	1975	1980	1985	1996
Formosa	39	787	4.169	4.110	1.874
Cabeceiras	0	229	47	15	805
Cabeceira Grande	-	-	-	-	-
Distrito Federal	1.151	2.086	3.812	5.538	12.591
Unaí	111	116	624	6.073	16.851
Natalândia	-	-	-	-	-
Dom Bosco	-	-	-	-	-
Bonfinópolis de Minas	0	2	0	217	1.937
Paracatu	45	412	744	2.802	14.496
Total	1.346	3.632	9.396	18.755	48.554

Fonte: Censos agropecuários 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

Verifica-se no Quadro 12 um aumento de 3.607,30% nas áreas irrigadas. Assim, com a crescente demanda por recursos hídricos, impulsionado principalmente pelo aumento da área irrigada e pelo crescimento populacional, as bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros estão sob pressão para o atendimento destes usos (RODRIGUEZ, 2004). Necessita, portanto, de um sistema de gerenciamento integrado, visando o aumento da disponibilidade hídrica para os diversos fins, de modo a permitir um equilíbrio sócio-ambiental mais justo para a bacia do Paracatu.

4.1.2. Uso do solo nas bacias do rio Paracatu, do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto

O principal usuário da água na bacia do rio Paracatu é a irrigação, que ocupa 37.150ha. O sistema de irrigação predominante é o pivô central (88%), e em 42% (13.600 ha) dessa bacia já ocorrem limitações quanto ao uso da água (BRASIL, 1996). Como consequência dessa grande expansão da agricultura irrigada, sérios conflitos têm surgido em várias partes da bacia, principalmente nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto (RODRIGUEZ *et al.*, 2007).

Nessas duas bacias, os principais cultivos produzidos, segundo os censos agropecuários realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística nos anos de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, são: milho, soja, feijão e laranja. De acordo com

RODRIGUEZ *et al.* (2007), as culturas irrigadas predominantes na bacia, em 1996, foram a soja (44% do total irrigado) e o milho (33% do total irrigado). Segundo esses mesmos autores, durante o ano de 1996, esteve concentrada no município de Unaí, 30% (109 km²) da área irrigada da bacia. As culturas irrigadas predominantes nesse município foram: o feijão (51% do total irrigado), a soja (21% do total irrigado) e o milho (21% do total irrigado).

A Bacia do Rio Paracatu teve o seu processo de ocupação iniciado com a mineração e a pecuária, que se tornaram atividades complementares no processo de formação histórica do interior do país. A exploração do ouro, inicialmente pelos bandeirantes, gerou o estabelecimento de pequenos aglomerados populacionais, decorrentes dos pontos de passagem e de apoio à exploração deste mineral. A ocupação da região foi feita por intermédio de pequenas e esparsas cidades e com a presença de escravos. A pecuária teve como conseqüência a ocupação e a divisão da terra em fazendas de criação de gado, que também contribuíram para a formação de muitos povoados, dos quais alguns se transformaram em cidades (DINO, 2002).

Na segunda metade do século XVIII, iniciou-se a decadência da mineração que levou à intensificação da pecuária, que se tornou a principal atividade econômica da região. Esta atividade permitiu a continuidade do processo de ocupação desta área. No entanto, esta atividade juntamente com a precariedade das ligações viárias com os mercados do Sul e Sudeste do país e com a baixa integração dos espaços regionais, durante a transição dos séculos XIX e XX, não gerou dinamismo no processo de desenvolvimento e diversificação da base produtiva e da estrutura urbana da região (*ibidem*).

Na década de 1960, a construção de Brasília e a ampliação e modernização do sistema de transporte, com a implantação da BR-040, romperam o isolamento geográfico dessa grande área, dando novos contornos aos fluxos populacionais e econômicos. Na década de 1970, destacou-se o PLANOROESTE que objetivou implantar na região uma infra-estrutura de transporte e energia elétrica, incentivando o desenvolvimento econômico e demográfico. Este plano teve sua continuidade por intermédio do PLANOROESTE II, durante a década de 1980. Antes da década de 1960, a criação de gado era extensiva e não havia necessidade de sistema de irrigação. Entre as décadas de 1960 e 1970, houve grande desmatamento no Noroeste de Minas Gerais e introdução em larga escala de espécies exóticas (*ibidem*).

Houve também um processo de colonização privada por intermédio da Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO) que se utilizou do cooperativismo para a implantação de grandes projetos de colonização, destacando-se, nestes projetos, a participação de agricultores originários de outras regiões do país, o que introduziu na área produtiva uma mentalidade empreendedora e moderna. Neste período, a

agricultura irrigada, que se expandiu de forma rápida, se uniu à exploração tecnicizada dos cerrados. Esse novo modelo de exploração da terra gerou o crescimento do trabalho assalariado no campo, modificando as relações sociais de produção e gerando impactos nos núcleos urbanos da região, com a fixação de migrantes nas periferias, o adensamento populacional e a diversificação da economia (*ibidem*).

Este processo de crescimento econômico não gerou o desenvolvimento integrado da bacia do rio Paracatu relativo à infra-estrutura sócio-econômica, pois as ações governamentais não contemplaram todos os municípios pertencentes a esta bacia. As cidades de Paracatu, Unaí e João Pinheiro concentram maior atividade econômica e maior população na porção mineira da bacia. Cerca de 80% da população urbana da bacia se concentram nessas três cidades e na cidade de Vazante. Os serviços básicos na região mineira da bacia do rio Paracatu se encontram na seguinte situação (PROJETO MARCA D'AGUA/IBGE, 2001):

- **Água:** o serviço de abastecimento é feito em grande parte pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais);
- **Esgoto:** nas cidades maiores já há coleta de esgoto, mas ainda não há o tratamento do mesmo. Nas três maiores cidades da região, estão sendo iniciados projetos que visam o tratamento futuro dos efluentes;
- **Lixo:** há a coleta nas maiores cidades da bacia, mas não há aterros sanitários. Em Paracatu já há aterro sanitário, mas ainda não está em funcionamento;
- **Energia Elétrica:** segundo o Plano Diretor (1998), há escassez de energia elétrica na região que restringe o desenvolvimento do setor de irrigação e de agroindústria na região;
- **Sistemas de Transporte:** a maior parte dos municípios da bacia é contemplada com alguma estrada federal e com estradas vicinais. Apenas três municípios possuem aeroporto: Unaí, João Pinheiro e Paracatu. Existe uma balsa no Rio Paracatu que atende o Projeto de Colonização Agrícola Entre Ribeiros, para o escoamento da produção;
- **Comunicação:** os municípios de Paracatu, Unaí e João Pinheiro, contam com rádios locais e possuem acesso aos canais da TV aberta. Em relação aos demais municípios da bacia, não foram obtidas informações sobre isso.

Contudo, considerando a agricultura irrigada a atividade que mais se desenvolve nessas bacias, vários têm sido os estudos para caracterizar a região. No caso da água, é preciso avaliá-la em seus aspectos qualitativos e quantitativos. Do ponto de vista quantitativo, estudos realizados pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Distrito Federal indicam que o uso dos recursos hídricos para a irrigação já havia, em 1995, superado a disponibilidade hídrica em alguns rios da bacia do rio Preto (FERREIRA e ARAÚJO NETO, 2007). Do ponto de vista qualitativo,

consideraram-se os seguintes indicadores ambientais: o IQA – Índice de Qualidade de Água, a CT – contaminação por tóxicos e os Ensaios de Ecotoxicidade (IGAM, 2005).

No rio Paracatu, a média anual do Índice de Qualidade das Águas (IQA), apresentou uma piora em 2005 nas estações de monitoramento (PT) localizadas a montante da foz do rio da Prata e a jusante da cidade de Brasilândia de Minas, com relação ao ano anterior. Em ambos os pontos o IQA foi Médio. Na estação próxima de sua foz no rio São Francisco houve uma melhora do IQA, que foi considerado Bom. Vale destacar também a melhora no IQA do rio do Sono, que em 2005 apresentou-se Bom. O Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Paracatu se encontra em funcionamento (IGAM, 2007). Na Figura 52 pode-se observar a evolução espacial e temporal do Índice de Qualidade das Águas na bacia do Rio Paracatu no ano 2004.

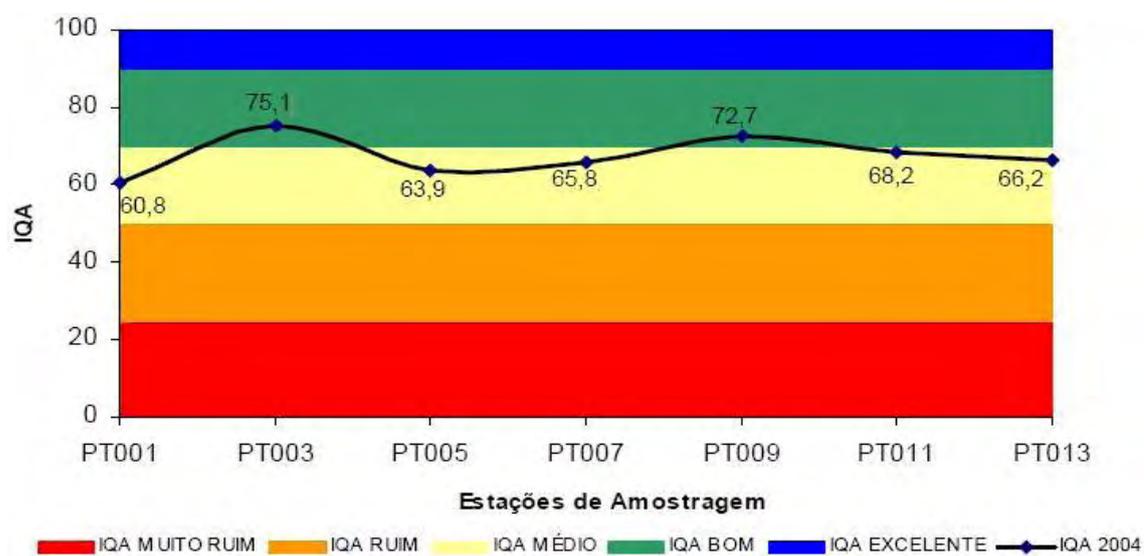


FIGURA 52 - Média anual do Índice de Qualidade das Águas (IQA) na bacia do rio Paracatu no ano 2004. Fonte: IGAM, 2005.

Desde o segundo semestre do ano de 2003, amostras de água do rio Preto no trecho à jusante da cidade de Unaí (PT007) foram coletadas para realização de ensaios ecotoxicológicos para se verificar se este corpo de água apresenta condições adequadas para a manutenção da vida aquática. Os resultados obtidos evidenciaram uma situação preocupante: em quatro dos seis ensaios conduzidos foi detectado algum tipo de efeito deletério (morte, alterações fisiológicas, redução da fecundidade) sobre o micro crustáceo *Ceriodaphnia dubia*, o que representa uma ocorrência de resultados positivos igual a 67% (Figura 52). Tal quadro indica a necessidade de um monitoramento mais detalhado da bacia, sobretudo considerando a importância da agricultura com uso de agroquímicos para a economia da região.

Na verdade, a desconformidade desse e de outros parâmetros está associada às intervenções antrópicas na bacia, que são responsáveis por gerarem resíduos, contaminando o sistema solo-água (Figura 53).

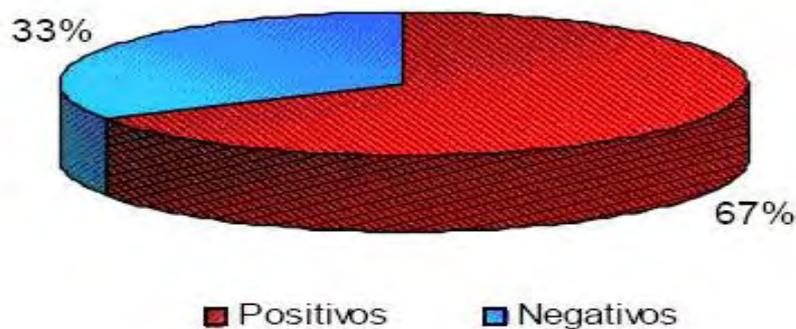


FIGURA 53 - Resultados dos ensaios ecotoxicológicos do rio Preto no período 2003-2004. Fonte: IGAM, 2005.

A contaminação dos corpos de água na bacia ocorre, principalmente, devido à poluição difusa, carregada pelo escoamento superficial até os corpos de água. O desmatamento; as monoculturas de eucalipto; a pecuária extensiva; as minerações; a agricultura (irrigada e de sequeiro); o uso de fertilizantes e agrotóxicos; o lançamento inadequado de resíduos sólidos, de efluentes industriais e domésticos; e a falta de técnicas de manejo no uso do solo contribui significativamente para a degradação dos corpos de água e, conseqüentemente, para a diminuição de sua quantidade e qualidade (SANTOS *et al.*, 2007).



FIGURA 54 - Rio Preto próximo à cidade de Unaí. Fonte: PREFEITURA DE UNAÍ, 2008.

Esses mesmos autores utilizaram técnicas de geoprocessamento para a sistematização e sobreposição de informações relativas ao uso da água na bacia hidrográfica do rio Paracatu. A incorporação destas técnicas possibilitou sistematizar o grande volume de informações, previstos na Resolução CNRH nº12/2000 para o enquadramento, em um único banco de dados (Figura 55).

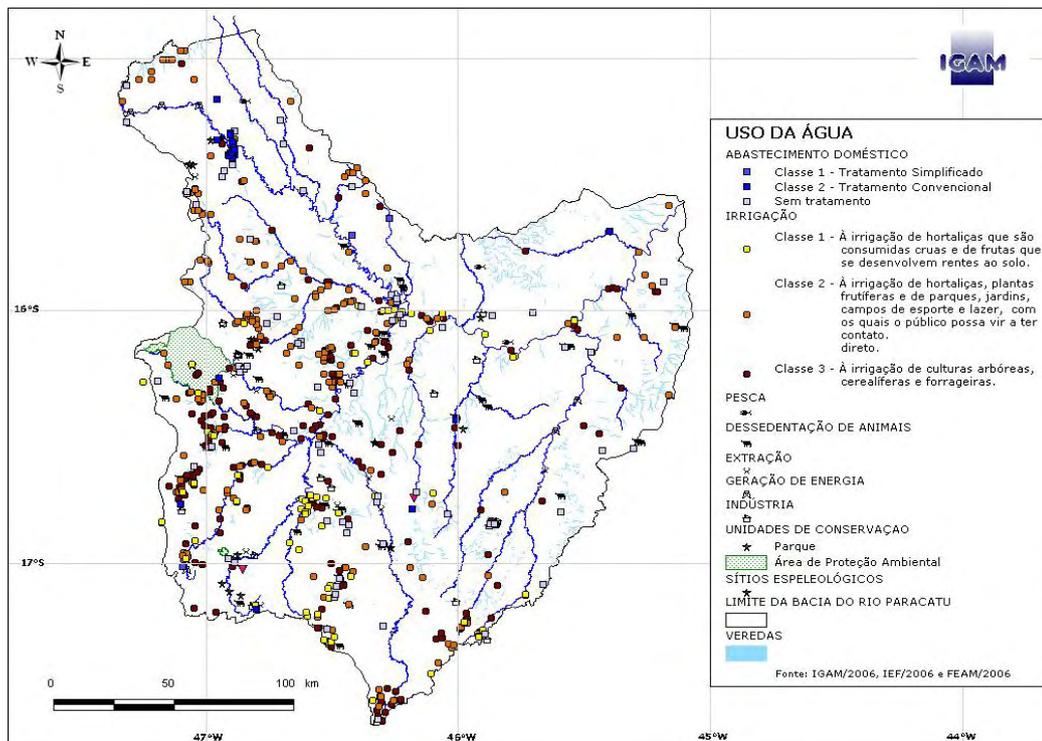


FIGURA 55 - Mapa de uso da água da bacia do rio Paracatu. Fonte: SANTOS *et al.* (2007).

O mapa de uso da água (Figura 55) permitiu avaliar e representar a localização, a finalidade e a destinação dessa água. Permitiu verificar também onde estão as áreas de conflito no uso da água, como é o caso das bacias do rio Preto, Entre Ribeiros, Escuro e Prata, excessivamente utilizados pela agricultura irrigada. Esses mesmos autores elaboraram o mapa de “uso e cobertura do solo” (Figura 56).

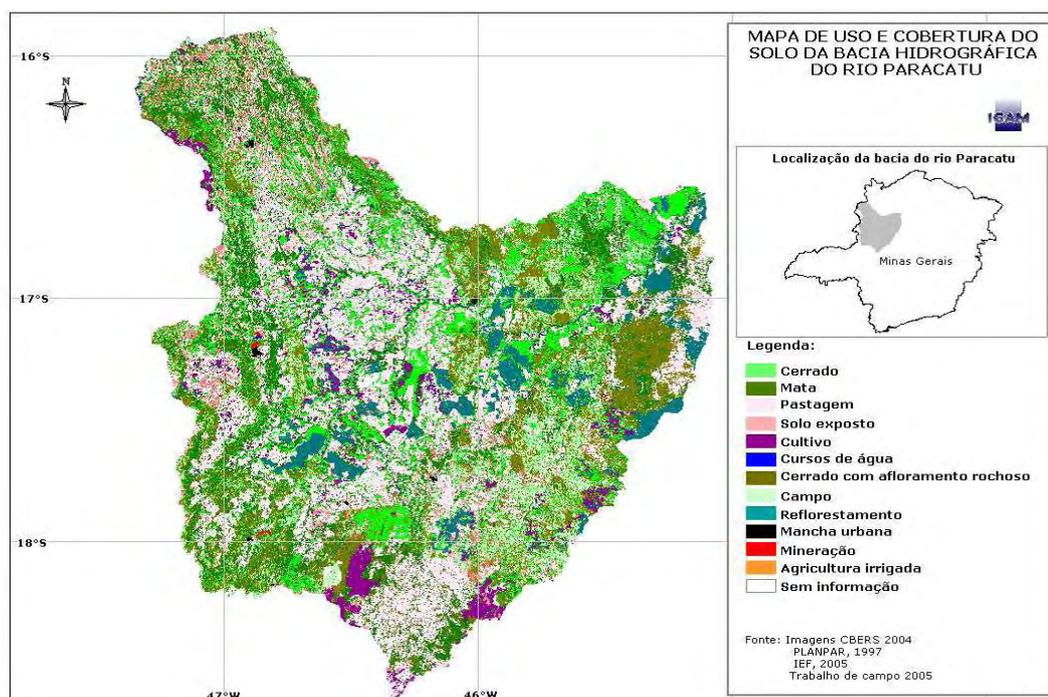


FIGURA 56 - Mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Paracatu. Fonte: SANTOS *et al.*, 2007.

Tal mapa permitiu identificar, mapear e quantificar as seguintes classes encontradas na bacia: cerrado, mata, reflorestamento, campo, pastagem, agricultura irrigada, mineração, cerrado com solo exposto e área urbana. Com base nestes dados, foi possível identificar as áreas potenciais de disponibilização de poluição, tanto difusa, quanto pontual.

A proposta de enquadramento dos corpos de água da bacia hidrográfica do rio Paracatu está apresentada na Figura 57. Os usos múltiplos distribuídos em toda a bacia hidrográfica do rio Paracatu (agricultura, irrigada e de sequeiro, a pecuária extensiva e a mineração), mas principalmente em áreas de nascentes, são determinantes para o elevado grau de degradação da região. As áreas de nascentes, como a do rio Paracatu e de rios mais preservados como o rio do Sono e o ribeirão dos Órfãos foram classificadas, respectivamente, em classe Especial e 1 (SANTOS *et al.*, 2007).



FIGURA 57 - Enquadramento dos corpos de água bacia hidrográfica do Paracatu. Fonte: SANTOS *et al.*, 2007.

Entretanto, a maioria dos cursos de água foi classificada em classe 2 devido ao uso preponderante estabelecido em toda a bacia. A implementação da proposta de enquadramento dos corpos de água é um esforço importante que garante a manutenção e melhoria da qualidade ambiental da bacia do rio Paracatu. Todos os empreendimentos que porventura venham a ser autorizados na bacia deverão, obrigatoriamente, respeitar a classe de enquadramento do rio. Dessa forma, há um

controle, por parte dos órgãos ambientais, do limite de lançamento de efluentes no curso de água (*ibidem*).

De acordo com esses mesmos autores, a proposta de enquadramento apresentada a partir desse trabalho, foi de extrema importância para a bacia, pois, a partir dela, foi possível definir as ações necessárias para melhorar a qualidade ambiental da bacia, indicar áreas sujeitas à restrição de usos e ampliar a rede de monitoramento, que passou de sete estações para vinte e seis. Além disso, a proposta servirá de apoio para o comitê da bacia hidrográfica do rio Paracatu nas suas tomadas de decisão e também de alerta a população, que passará a ter conhecimento sobre as condições ambientais da bacia.

Segundo o PROJETO MARCA D'AGUA/FINATEC (2003), apesar do índice de abastecimento público de água, assegurado na sua maioria pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), abranger 93% da população residente na bacia, não existe estações de tratamento de efluentes domésticos na bacia e são muito poucos os municípios que possuem rede de coleta de esgoto.

De acordo com o IGAM (2005), a análise da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paracatu permitiu inferir que os maiores contribuintes na contaminação dos corpos de água são: a atividade agrícola, monoculturas e pecuária extensiva. A interferência dos esgotos domésticos foi avaliada de forma pouco significativa, em virtude da quantidade e da localização das estações existentes, situadas a montante dos lançamentos dos efluentes. Para este Órgão, são notórias as características agrícolas da bacia hidrográfica do rio Paracatu, com extensas regiões convertidas em plantações. Porém, a forma de cultivo sem adoção de práticas de conservação de solo e uso intensivo de insumos agrícolas, tem sido uma das principais causas da redução da qualidade das águas nesta bacia.

A análise da qualidade das águas dos corpos de água revelou que a contribuição das fontes difusas de poluição é preponderante para a condição atual da bacia do rio Paracatu. Altos níveis de turbidez, fosfato total, coliformes fecais e manganês, ocorreram constantemente no período chuvoso. Outros metais encontrados nas águas como cobre, cádmio e chumbo não podem ser associados diretamente a uma fonte específica de poluição em virtude da sua ocorrência aleatória na bacia.

Os efeitos ecotoxicológicos verificados na estação monitorada no rio Preto evidenciaram a preocupante situação na detecção de algum tipo de efeito deletério sobre o micro crustáceo *Ceriodaphnia dubia*. Tal quadro indica a necessidade de um monitoramento mais detalhado da bacia com relação ao uso de agroquímicos, sobretudo considerando a importância da agricultura para a economia da bacia.

De acordo com relatório elaborado pelo IGAM (2005), o número e a distribuição espacial das estações de monitoramento operadas atualmente por este órgão não são suficientes para o conhecimento pleno da condição de qualidade dos corpos de água da bacia do rio Paracatu, cujas sub-bacias apresentam diversos usos e ocupação do solo e diferentes estados de conservação. Portanto, sugere-se a ampliação da rede de monitoramento visando o fornecimento de informações que permitam o conhecimento mais detalhado das condições ambientais destas bacias.

Com relação à qualidade das águas subterrâneas na bacia do rio Paracatu, de acordo com esse mesmo relatório, não oferece maiores restrições, seja para consumo humano, seja para uso agrícola ou dessedentação de animais. As únicas restrições quanto à potabilidade são teores elevados de ferro em algumas áreas ou durezas algo elevadas nas águas dos aquíferos carbonáticos. A maior parte das águas analisadas apresentou excelentes condições para uso na irrigação, com baixos riscos de salinidade e de sódio. Os valores de pH, alcalinidade e dureza podem apresentar algumas restrições para muitas instalações ou usos industriais mais exigentes e restritivos.

Com relação à quantidade, considerando o complexo quadro de conflitos pelo uso da água evidenciado na bacia do Paracatu, indica a necessidade de elaborar procedimentos confiáveis para a estimativa das disponibilidades hídricas e um modelo eficiente para a sua gestão. Há de se considerar problemas relacionados ao déficit energético existente na bacia, porém com promessas de solução. Por esta questão, entre outras, o Plano da bacia do rio Paracatu não cita, mas é possível que o futuro uso de energia elétrica nos sistemas de irrigação fomente a busca de maior eficiência na aplicação da água em função do elevado custo de energia associado à ausência de manejo da irrigação.

Dessa forma, considerando que a modelagem é uma ferramenta utilizada para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, a utilização dos modelos hidrológicos apresentará grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. Com o aumento da disponibilidade de computadores a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de tais modelos, reduzindo o tempo de processamento e facilitando a interface com o usuário.

Entretanto, um grande complicador para estudos relacionados às modificações do uso do solo em bacias hidrográficas, é que a maioria dos modelos hidrológicos não possui condições de simular modificações no uso do solo de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998). Esta dificuldade está relacionada justamente ao fato de alguns parâmetros hidrológicos não serem estacionários, ou seja, a variabilidade temporal e

espacial de seu comportamento é justificada, entre outros, pelas diferentes formas de uso do solo, que certamente acarretarão alterações na superfície da bacia, tendo impactos sobre comportamento hidrológico da bacia.

Deste modo, o conhecimento do comportamento espacial e temporal das variáveis hidrológicas é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, uma vez que permite quantificar a disponibilidade dos recursos hídricos no tempo e no espaço, ou seja, identificar áreas em que este recurso se encontra ou pode vir a se tornar escasso (RODRIGUEZ, 2004).

A análise do comportamento hidrológico decorrente de mudanças nas condições de usos do solo ou modificações destes é de grande importância para a gestão de recursos hídricos, sobretudo para a determinação de disponibilidades hídricas atuais e futuras. Há de se considerar como ponto relevante neste estudo, a importância da irrigação na gestão da água, posto estar diretamente ligada com a questão da sustentabilidade ambiental. Este setor é responsável pela produção de alimentos e é um dos maiores consumidores de recursos hídricos e demanda uma quantidade razoável de água.

Também, o aumento nas rendas da população das cidades e do campo, o que possibilitará uma melhoria no padrão de vida; contudo, a demanda de água também crescerá. Adicionalmente, o aumento natural da população implica um crescimento substancial na demanda d'água. Dessa forma, faz-se necessário criar ferramentas de tomada de decisão nas estruturas de gerenciamento dos recursos hídricos para garantir a sustentabilidade do uso da água. Atualmente, existe essa perspectiva e uma nova ferramenta para auxiliar no entendimento de como funcionam grandes áreas ao longo do tempo – a Dinâmica de Sistemas e o uso da modelagem.

4.2. MODELAGEM DOS SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS E DO RIO PRETO

Quando um projeto ou programa é implementado implica em uma cadeia de eventos que modificam o meio ambiente e a sua qualidade. Isto porque todos os fatores existentes nesse ecossistema estão interligados, sendo difícil se prever seus resultados e externalidades com exatidão. A substituição da cobertura vegetal decorrente da mudança de uso do solo, por exemplo, pode alterar o balanço hídrico e, conseqüentemente, o regime hidrológico de uma determinada bacia.

Dessa forma, dentre as ações humanas que podem comprometer o balanço hídrico, destacam-se, em escala local e regional, o desmatamento, a mudança do uso do solo, os projetos de irrigação e a construção de barragens. Vale ressaltar, ainda, que formas desordenadas de uso do solo acabam por agravar os efeitos das secas ou

enchentes que atingem a sociedade e suas atividades econômicas (REBOUÇAS *et al.*, 1999).

De acordo com LATUF (2007), para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, é fundamental conhecer o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e seus regimes de variação de vazões e, principalmente, suas relações com os agentes econômicos e sócio-ambientais presentes ao longo de toda a área de contribuição da bacia. Por essas questões, dentro de um contexto geral de planejamento e gestão de recursos hídricos, apresentam-se situações em que se torna necessário compatibilizarem os volumes de água disponível com as necessidades específicas em um determinado momento.

Assim, o padrão quantitativo dos recursos hídricos, não podendo desconsiderar o aspecto qualitativo, deve ser objeto de consideração e de adequação das disponibilidades com as necessidades. No entanto, no atual momento, uma das grandes dificuldades existentes é identificar os vários componentes das mudanças ambientais, provenientes da interação homem-natureza. Nesse trabalho, foi utilizado um modelo de Dinâmica de Sistemas para analisar a sustentabilidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

Há de se considerar que no período 1970-2000, quando foi realizada a coleta de dados utilizados nesse estudo, o principal agente consumidor de água nessas bacias foi à agricultura irrigada, gerando um complexo quadro de conflitos pelo uso da água. Ao mesmo tempo, o crescimento na demanda desse recurso, resultado do crescimento das atividades econômicas dessa região, vem acelerando o crescimento populacional, que estimula a implantação de outras atividades até aos dias atuais.

4.2.1. Fonte de dados

Os parâmetros necessários para a construção do modelo que representará a estrutura de oferta e demanda de recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, são de natureza secundária. Foram selecionados a partir das informações provenientes dos bancos de dados do (a): Agência Nacional das Águas (ANA); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Paracatu (PLANPAR/Ruralminas); Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA); Departamento Nacional de Meteorologia do Brasil (DNM); RODRIGUEZ (2004); ORELLANA GONZÁLEZ (2006); e, principalmente, da pesquisa realizada por LATUF (2007).

O estudo desse último autor teve como principais objetivos realizar o monitoramento do uso do solo das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto nos períodos 1985-2000 e associar o comportamento hidrológico com as variações

ocorridas pela mudança das classes de uso do solo das mesmas. Para isso, contou com a análise da série temporal de oito (8) estações fluviométricas e onze (11) estações pluviométricas, no período 1985-2000, a fim de se obter a vazão máxima, média, mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) e específicas para cada ano do período selecionado, assim como, a precipitação média para cada área de drenagem de estações fluviométricas. Pôde-se concluir nesse trabalho, entre outros, a significativa substituição da cobertura vegetal do Bioma “Cerrado” e a redução das vazões na referida área de estudo.

4.2.1.1. Uso do solo nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto

Para se avaliar o uso do solo nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, foi escolhido como intervalo de monitoramento o período 1985-2000, pelos seguintes motivos: a) na escolha do ano de 1985, consideraram-se como principal fator as características do tipo de sensor, posto que a partir desta data, o sensor Landsat 5 TM, com a resolução espacial de 30m, entrou em operação e continua até aos dias atuais; e b) a escolha do ano de 2000 se deve ao fato de que o mesmo representa o último ano em que todas as estações fluviométricas na bacia do rio Paracatu possuem dados consistidos de vazão em suas seções, segundo a base de dados da ANA (ANA, 2005; LATUF, 2007).

No trabalho de LATUF (2007), foram utilizadas 27 imagens, em três órbitas/ponto, do sensor Landsat 5 TM abrangendo os anos 1985-2000, sendo as mesmas intercaladas bianualmente. Desta forma, o monitoramento do uso do solo nas referidas bacias computou nove anos (1985, 1987, 1989, 1991, 1993, 1995, 1996, 1998 e 2000). Para a seleção de quais órbitas/ponto recobriam a área de estudo, foi dado início ao procedimento de verificação junto ao “site” do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob a responsabilidade da Divisão de Geração de Imagens (DGI) (<http://www.dgi.inpe.br>).

De acordo com esse mesmo autor, foi solicitada uma listagem preliminar de imagens, conforme coordenadas geográficas limítrofes da área de estudo, para a realização da seleção das melhores datas de passagem do sensor sobre a área e considerando a menor cobertura de nuvens possível, que corresponderam aos meses de estiagem na região (abril a agosto).

De acordo com LATUF (2007), as imagens do sensor Landsat 5 TM foram adquiridas do INPE, com o máximo de correções possíveis (1G), e passaram por procedimentos de processamento digital utilizando o Sistema de Informação Geográfica SPRING 4.2 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo INPE (2005), *apud* LATUF (2007). Na Figura

58 observa-se o mapa que mostra a região de estudo, assim como o recobrimento das órbitas/ponto sobre a mesma.

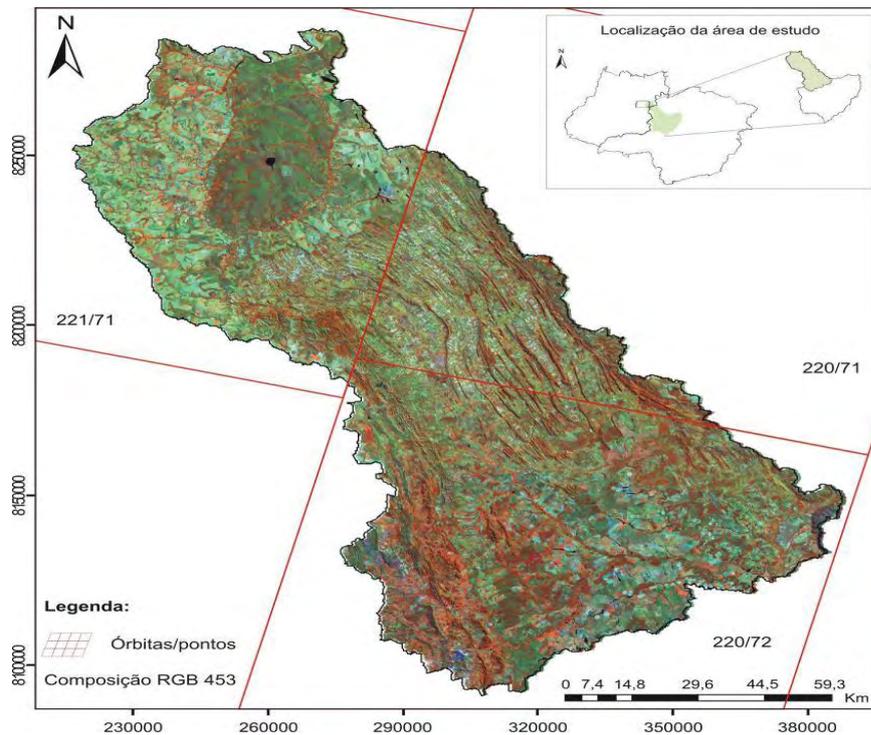


FIGURA 58 - Cobertura do sensor Landsat 5 TM na área de estudo. Fonte: INPE (2007).

A etapa de processamento digital das imagens obtidas pelo sensor Landsat 5 TM para a elaboração dos mapas de uso do solo das diferentes épocas imageadas foi realizada conforme os passos apresentados na Figura 59.



FIGURA 59 - Organograma de processamento das imagens. Fonte: LATUF (2007).

Após cumpridas as etapas da fase de pré-processamentos dos dados, foi dado início à segunda parte com a definição das amostras representativas das classes de uso do solo, classificação digital e verificação da exatidão dos mapas temáticos de uso do solo. Há de se considerar que inicialmente foram coletadas informações sobre documentos cartográficos já elaborados para a área de estudo, como suporte à decisão no momento de escolha das amostras. Para isso foi utilizado um mapa de uso do solo de 1997, elaborado para o Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Paracatu (Ruralminas, 1997 *apud* LATUF, 2007).

Após a imagem ter sido segmentada, foi feita a seleção das amostras das diversas classes de uso do solo definindo padrões a partir do mapa-base, sendo selecionados diversos segmentos da imagem que coincidem com a classificação anterior. Deste modo, foram selecionadas diversas regiões sobre a imagem segmentada de acordo com as classes temáticas de uso do solo definidas para o referido estudo, que são: “Mata”, “Cerrado”, “Pastagem” ou “Pasto”, “Reservatórios”, “Cultivo” e “Urbanização”. Na Figura 60 observa-se a definição destas classes na imagem e na Figura 61 a checagem em campo das amostras (LATUF, 2007).

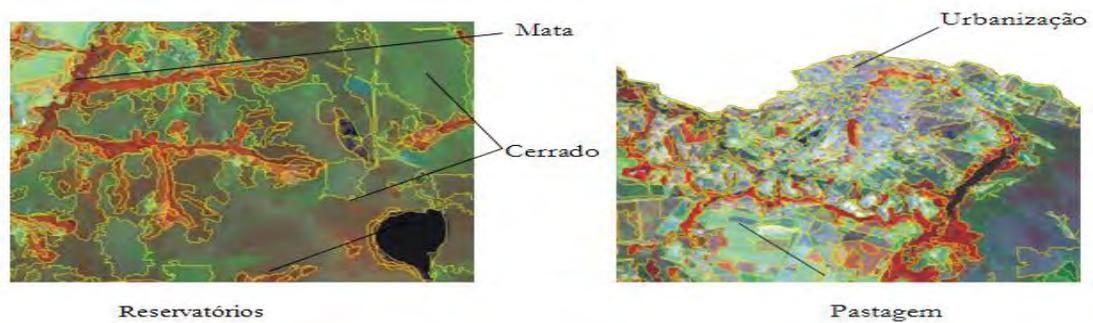


FIGURA 60 - Amostras para cada classe temática. Fonte: LATUF (2007).

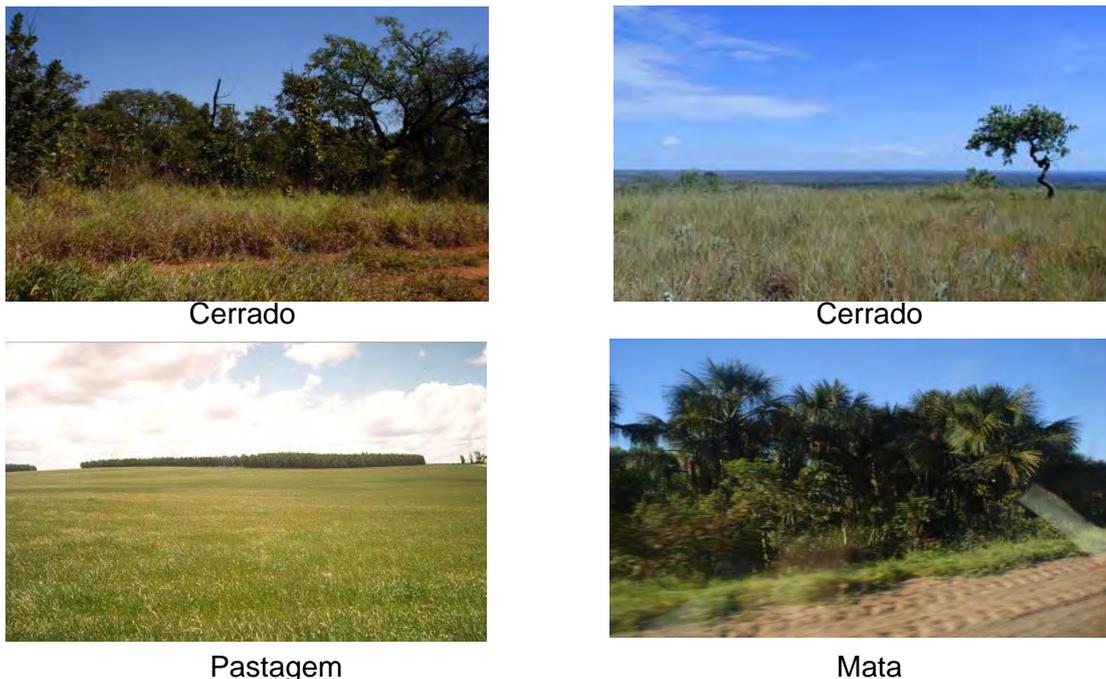


FIGURA 61 - Checagem das amostras no campo. Fonte: LATUF (2007).

Segundo esse mesmo autor, é importante ressaltar que para a classe temática cultivos não foi realizado o processo de definição de amostras. Tal opção foi devido à grande variabilidade espectral dos diversos tipos de cultivos e diversos estádios de crescimento. A verificação da exatidão dos mapas temáticos gerados a partir da classificação das imagens foi realizada por intermédio da estatística Kappa (Landis e Koch, 1977). Logo após verificada a exatidão de cada mapa temático, foram exportados para o SIG ArcGIS 9.0 (ESRI, 2004 *apud* LATUF, 2007), para que pudessem ser anexados à base de dados cartográficas da bacia do rio Paracatu. Após essas etapas finalmente foi confeccionado o mapa contendo as seis referidas classes temáticas, considerado para este estudo as seguintes características:

- **Mata**

Compreende um conjunto de estruturas florestal e campestre, abrangendo desde florestas e campos originais (primários) e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e, ou, gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento, distribuídos por diferentes ambientes e situações geográficas. Consideram-se como florestais as formações arbóreas, as áreas de Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua); de Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo – com cipó, bambu, palmeira ou sororoca); de Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável – seca e frio); além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da *Araucaria angustifolia*, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua).

- **Cerrado**

Vegetação xeromórfica preferencialmente de clima estacional, com aproximadamente seis (6) meses secos, não obstante poder ser encontrada também em clima ombrófilo em altitudes elevadas. É dividida em: Savana florestada (cerradão); Savana arborizada (campo-cerrado); Savana parque; e Savana gramíneo-lenhosa (cerrado).

- **Pastagem (Pasto)**

Áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante plantio de forragens perenes. Nessas áreas o solo está coberto por vegetação de gramíneas e, ou, leguminosas.

- **Reservatórios**

São represamentos artificiais d'água utilizados para irrigação, controle de enchentes, fornecimentos municipais de água, geração de energia elétrica, entre

outros. Na maioria dos casos, os reservatórios servem para fins múltiplos e podem compreender todas as funções anteriormente citadas.

- **Cultivo**

No sentido amplo, a terra agrícola pode ser definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e outras *commodities* do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas. Podem se constituir em zonas agrícolas heterogêneas ou representar extensas áreas de monoculturas. Encontram-se inseridas nesta categoria as lavouras temporárias e permanentes, bem como as atividades silviculturais.

- **Áreas Urbanizadas (Urbanização)**

Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos se encontrarem isolados das áreas urbanas. As áreas urbanizadas podem ser contínuas, onde as áreas não-lineares de vegetação são excepcionais, ou descontínuas, onde as áreas vegetadas ocupam superfícies mais significativas.

4.2.1.2. Análise do comportamento hidrológico nas bacias do ribeirão Entre RIBEIROS e do rio Preto

Na Figura 62 está representada a bacia do rio Paracatu com destaque (faixa amarela) para as bacias do ribeirão Entre RIBEIROS e do rio Preto.

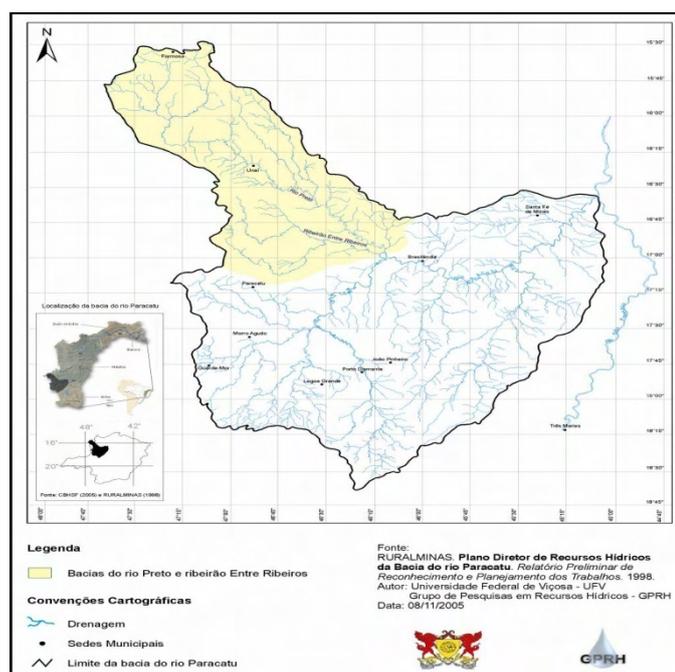


FIGURA 62 - Localização da bacia do rio Paracatu. Fonte: PLANPAR (1996).

Na Figura 63, apresentam-se o mapa de isoietas relativo à precipitação média anual correspondente ao período 1970-2000.

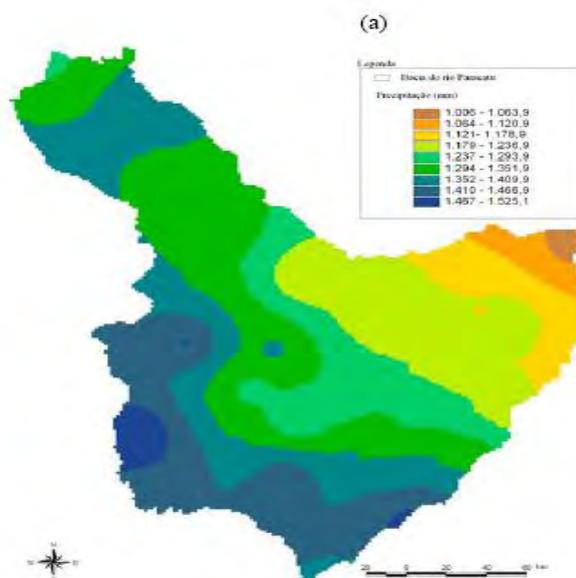


FIGURA 63 - Mapa de isoietas referente à precipitação média anual na bacia do rio Paracatu. Fonte: RODRIGUEZ, 2004.

Observa-se a tendência de decréscimo da precipitação na cabeceira do Paracatu e seus afluentes em direção à foz, variando de 1.525 a 1.010 mm, apresentando uma média anual de longa duração de 1.311 mm (RODRIGUEZ, 2004). Segundo essa mesma autora, os valores obtidos em seu estudo estão próximos aos apresentados no PLANPAR (BRASIL, 1996), no qual foi utilizado o período de análise 1975-1994 e cujas precipitações anuais decresceram de 1.600 a 1.000 mm, no sentido sudoeste-nordeste, com média anual de 1.340 mm.

LATUF (2007) analisou os dados de oito estações fluviométricas (Quadro 13 e Figura 64) e 11 estações pluviométricas (Quadro 14 e Figura 65) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), cujos dados parciais serão utilizados no presente trabalho.

QUADRO 13 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de drenagem (km ²)
42435000*	Fazenda Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1.591
42440000*	Fazenda Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	550
42460000	Fazenda Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	4.164
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	5.413
42546000	Fazenda Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	550
42545500	Fazenda Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	679
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.963
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9.459

* Estações localizadas na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.
Fonte: ANEEL (2001) *apud* LATUF (2007).

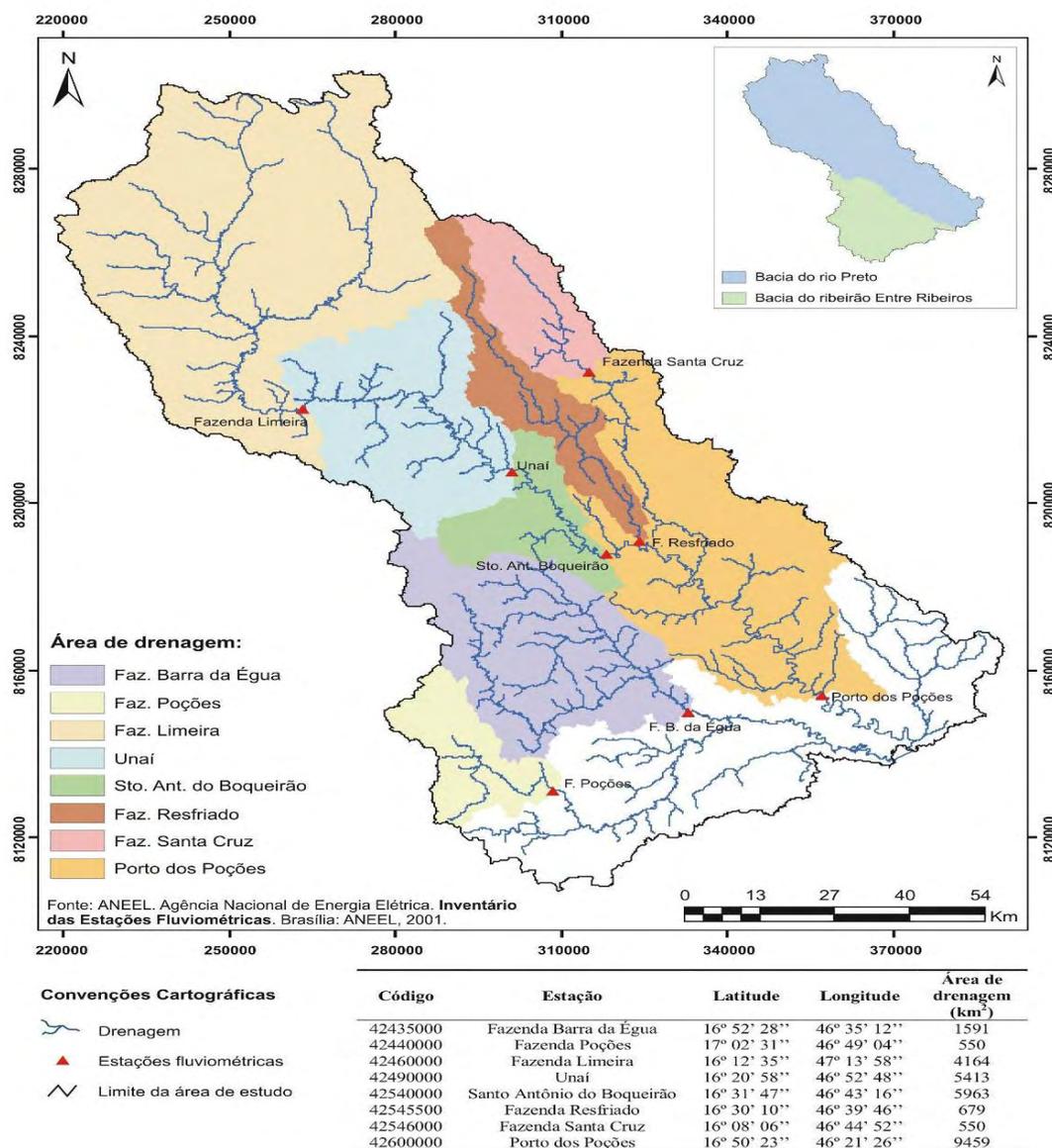


FIGURA 64 - Localização das estações fluviométricas. Fonte: ANEEL (2001) *apud* LATUF (2007).

QUADRO 14 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
01547002	Planaltina	15° 27' 12"	47° 36' 48"	1.000
01546005	Cabeceiras	15° 48' 03"	46° 55' 29"	900
01646001	Unai	16° 21' 05"	46° 53' 23"	569*
01646003	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	547*
01647001	Ponte São Bartolomeu	16° 32' 16"	47° 48' 02"	790
01647002	Cristalina	16° 45' 23"	47° 36' 22"	1.239
01746008	Paracatu	17° 13' 00"	46° 52' 00"	714*
01746002	Santa Rosa	17° 15' 19"	45° 28' 26"	490
01646000	Porto dos Poções	16° 49' 47"	46° 19' 20"	540
01645002	Santo Inácio	16° 16' 54"	45° 24' 51"	460
01746001	Porto da Extrema	17° 01' 51"	46° 00' 49"	510

* Valores obtidos a partir do MDE (EMBRAPA, 2005).

Fonte: ANEEL (2001) *apud* LATUF (2007).

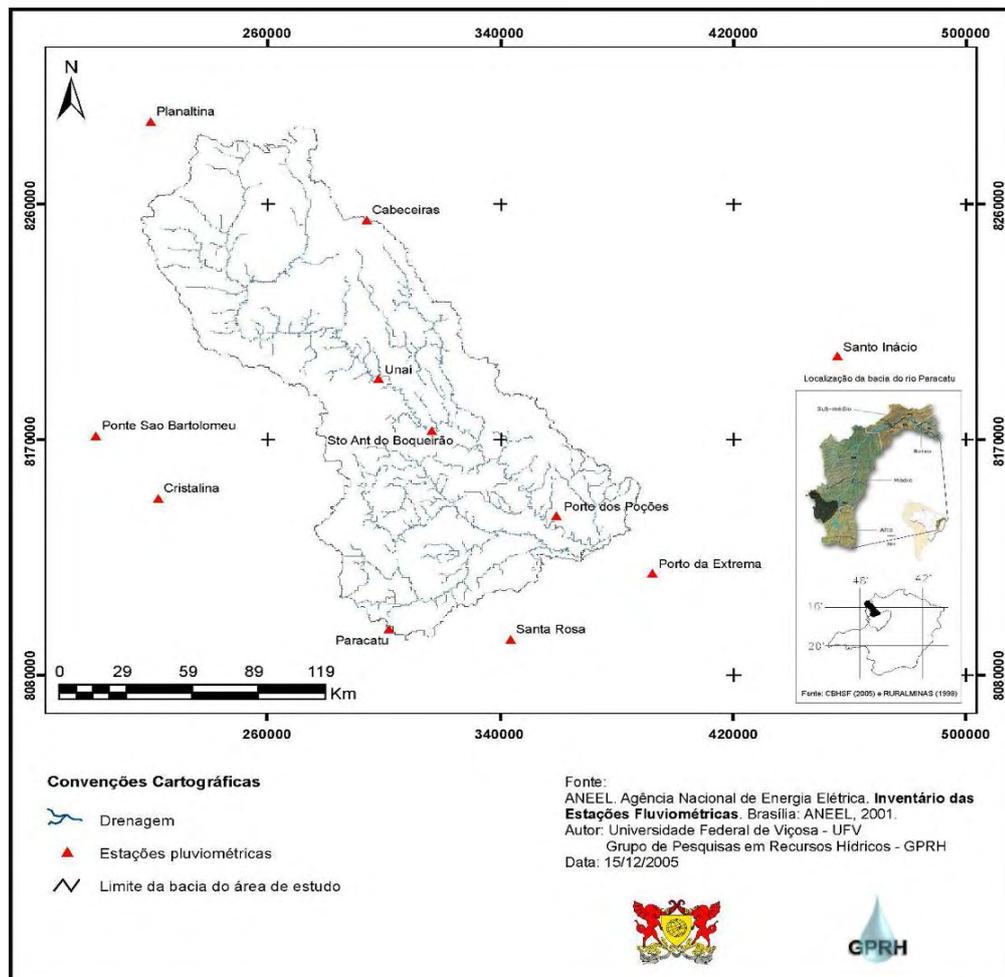


FIGURA 65 - Localização das estações pluviométricas. Fonte: ANEEL (2001) *apud* LATUF (2007).

4.2.1.3. Estudo da associação entre vazões e uso do solo

No trabalho de LATUF (2007), o estudo da associação entre vazões e uso do solo foi realizado por intermédio de análises qualitativa e quantitativa dos dados das oito estações fluviométricas.

4.2.1.3.1. Análise qualitativa

De acordo com esse mesmo autor, na avaliação qualitativa foram utilizadas análises de tendências das séries temporais de vazões, precipitações e uso do solo em cada bacia de drenagem das oito estações fluviométricas. Para tal, foram feitos gráficos das séries temporais e adicionada suas linhas de tendências usando o “software” Microsoft Excel[®]. Além das tendências observadas por intermédio dos comportamentos gráficos, foram obtidas as significâncias destas tendências ao longo do tempo (1985-2000) para mostrar se estas variações foram significativas.

Subsidiando esta análise foram elaborados diagramas de relações causais (Figuras 66, 67 e 68); ou seja, diagramas onde se obtém para cada uma das variáveis explicativas (precipitações e classes de uso do solo) respostas negativa ou positiva, frente ao aumento das variáveis (*ibidem*).

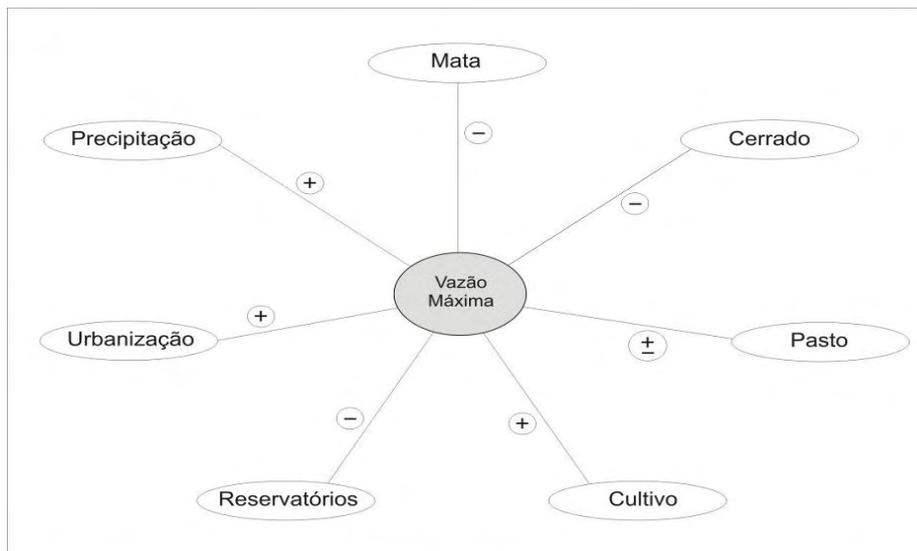


FIGURA 66 - Relações causais esperadas para vazão máxima. Fonte: LATUF (2007).

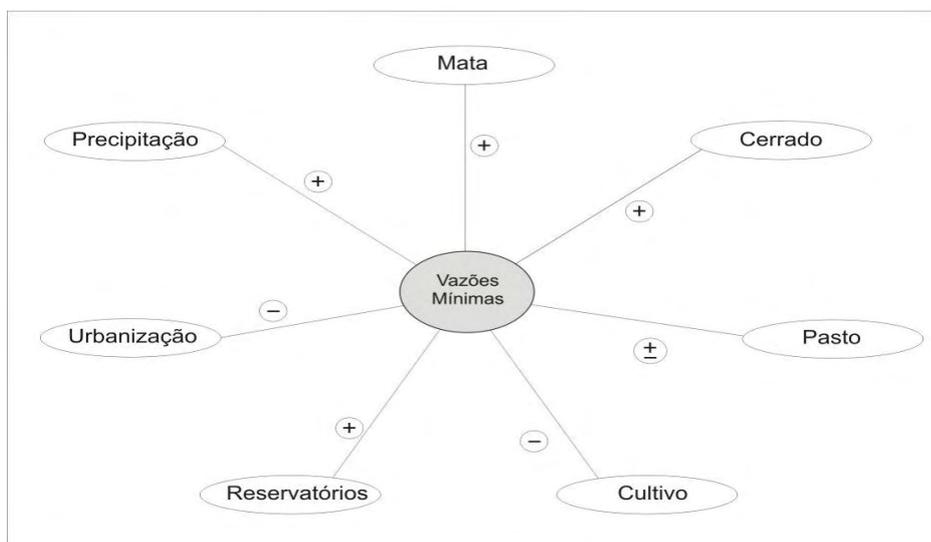


FIGURA 67 - Relações causais esperadas para vazão mínima. Fonte: LATUF (2007).

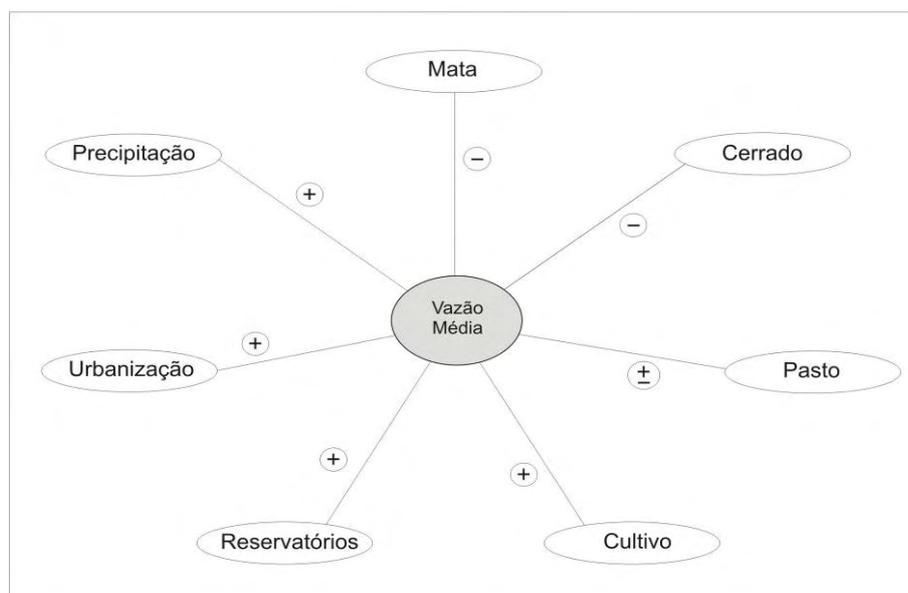


FIGURA 68 - Relações causais esperadas para vazão média. Fonte: LATUF (2007).

- **Análise das relações causais por classe de uso do solo**, segundo LATUF (2007).

- **Mata**

Com o aumento das áreas de cobertura de mata nas bacias, esperou-se: a) vazões máximas – sofrerá uma redução devido ao aumento da interceptação da cobertura vegetal; ao aumento da rugosidade na superfície do solo; ao aumento da deposição de serapilheira e da matéria orgânica; dentre outros. Isso acarretará no aumento da infiltração e, conseqüente, redução do escoamento superficial - daí a adoção do sinal negativo à associação entre vazão máxima e mata; b) vazão mínima - um aumento das vazões mínimas, portanto, sinal positivo para essa associação; e c) vazão média - um aumento da evapotranspiração potencial e da taxa de infiltração de água no solo, portanto, sinal negativo para essa associação.

- **Cerrado**

Com o aumento das áreas de cobertura com cerrado nas bacias, se espera: a) vazões máximas - que tenha uma redução devido à recomposição vegetal natural da área de estudo, portanto, sinal negativo; b) vazões mínimas - seu aumento, portanto, sinal positivo; e c) vazão média - uma redução nos valores da vazão média, devido ao aumento do consumo de água por evapotranspiração, portanto, sinal negativo.

- **Pasto**

Com o aumento das áreas de cobertura com pastagem e conseqüente resposta às variações hidrológicas, os resultados esperados dependerão da forma como o manejo estará sendo conduzido. Portanto, adotou-se um sinal de mais ou menos para as relações pastagem e as suas diversas vazões.

- **Cultivo**

Com o aumento das áreas de cobertura com cultivo nas bacias, se espera: a) vazões máximas – aumento, posto que está relacionado com uma menor proteção da superfície do solo às ações climáticas, possibilitando o encrostamento superficial e conseqüente aumento do escoamento superficial; portanto, sinal positivo; b) vazões mínimas – se espera uma resposta com sinal negativo; c) vazão média - sinal positivo.

- **Reservatórios**

Com o aumento das áreas de reservatórios nas bacias, se espera: a) vazões máximas - uma tendência de redução das vazões máximas; portanto, sinal negativo; b) vazões mínimas e médias - tenderá a aumentar a oferta de água em períodos mais secos e de regularizar sua oferta; portanto, sinal positivo.

- **Urbanização**

Com o aumento das áreas urbanizadas nas bacias, se espera: a) vazões máximas - uma tendência de aumento, devido à alta taxa de impermeabilização do solo; portanto, sinal positivo; b) vazões mínimas – redução devido à menor infiltração

de água no solo e conseqüente deficiência na realimentação dos aquíferos; portanto, sinal negativo; c) vazões médias - devido ao aumento de escoamento superficial nestas áreas, onde as precipitações são convertidas para escoamento de forma mais rápida, adotou-se o sinal positivo.

- **Precipitação**

Com o aumento dos índices de precipitação haverá, obviamente, a tendência de aumento destas vazões; portanto, foram adotados para todas as associações entre vazão máxima, mínimas e média o sinal positivo.

4.3.1.3.2. Análise quantitativa

De acordo com LATUF (2007), na análise quantitativa dos dados foi utilizado o procedimento estatístico de regressão linear múltipla, adotando como variável dependente as vazões e para as variáveis independentes a precipitação e as classes de uso do solo. Para esta etapa do trabalho foi utilizado o “software” SAEG 9.0, desenvolvido pela UFV. Foram ajustadas equações de regressões observando os seguintes parâmetros: coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,70; significância da equação pela ANOVA da regressão; significância das variáveis independentes da equação pelo Teste F, assim como, os sinais dos coeficientes. Estas análises foram realizadas para as vazões máximas (Q_{max}), médias (Q_{med}) e mínimas (Q_7 , Q_{90} , Q_{95}) de todas as oito estações fluviométricas.

4.3.1.4. Análise do comportamento das classes de uso do solo

De acordo com LATUF (2007), foi possível a realização do monitoramento das modificações do uso do solo nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto que subsidiaram a elaboração de análises de tendências ao longo do período analisado. A área de estudo foi subdividida em oito sub-bacias correspondentes às áreas de drenagem de cada estação fluviométrica. No Quadro 15 apresentam-se os dados de área e porcentagem de cada estação fluviométrica em relação à área total do estudo.

QUADRO 15 - Porcentagem das áreas das estações fluviométricas

Código	Estações fluviométricas	Área total (km ²)	% na área de estudo
42435000*	Fazenda Barra da Égua	1.591	41,15
42440000*	Fazenda Poções	550	14,22
42460000	Fazenda Limeira	4.164	40,49
42490000	Unai	5.413	52,64
42546000	Fazenda Santa Cruz	5.963	57,99
42545500	Fazenda Resfriado	679	6,60
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	550	5,35
42600000	Porto dos Poções	9.459	91,99

* Localizadas na bacia do ribeirão Entre Ribeiros; as demais, na bacia do rio Preto.
Fonte: LATUF (2007).

De acordo com esse mesmo autor, com relação à classe de uso do solo, observaram-se as seguintes tendências de comportamento nas estações fluviométricas: a) Mata - crescimento, exceto para a Fazenda Limeira; b) Cerrado - redução para todas as áreas de drenagem; c) Cultivo - crescimento para todas as estações fluviométricas monitoradas; e d) Pasto - decréscimo, exceto para a estação Porto dos Poções.

A observação destes comportamentos de crescimento ou redução das áreas de cobertura das classes de uso do solo nas áreas de drenagem das estações fluviométricas em estudo é importante para que se possa analisar se determinada classe está ou não avançando, e de que forma estão interferindo sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

No Quadro 16 se apresenta o monitoramento das mudanças do uso do solo; bem como no Quadro 17 as significâncias e tendências observadas para o comportamento do uso do solo, no período 1985-2000, nas áreas de drenagem das oito estações fluviométricas utilizadas neste trabalho. Os dados referentes às obtenções destas tendências se encontram listados no ANEXO B.

QUADRO 16 - Monitoramento das mudanças do uso do solo no período 1985-2000

Estações fluviométricas	Classe de uso de solo											
	Mata				Cerrado				Pasto			
	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)
Faz. B. da égua	620,55	694,13	73,58	11,86	635,23	332,55	-302,68	-47,65	176,21	97,22	-78,99	-44,83
Faz. Poções	242,62	263,11	20,49	8,45	238,52	110,91	-127,61	-53,50	34,62	17,77	-16,85	-48,67
Faz. Limeira	646,71	605,27	-41,44	-9,41	2151,24	1584,14	-567,10	-26,36	213,10	183,69	-29,41	-13,80
Unai	1048,79	1199,02	150,23	14,32	2725,14	1956,59	-768,55	-28,20	525,69	379,30	-146,39	-27,85
Sto. Ant. do Boq.	1157,42	1388,03	230,61	19,92	2907,86	2098,80	-809,06	-27,82	721,01	474,46	-246,55	-34,20
Faz. Resfriado	132,67	224,20	91,53	68,99	228,21	198,52	-29,69	-13,01	201,59	84,98	-116,61	-57,85
Faz. Sta. Cruz	115,28	183,18	67,90	58,90	231,96	215,43	-16,53	-7,13	96,71	66,27	-30,44	-31,48
Porto dos Poções	2145,75	2822,55	676,80	31,54	4345,67	1122,84	-3222,83	-74,16	1351,88	1798,90	447,02	33,07
Estações fluviométricas	Classe de uso de solo											
	Cultivo				Urbanização				Reservatório			
	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)	1985	2000	Diferença	Δ (%)
Faz. B. da égua	154,68	461,09	306,41	198,09	-	-	-	-	4,33	6,01	1,69	38,80
Faz. Poções	33,55	157,50	123,95	369,45	-	-	-	-	0,69	0,71	0,02	2,90
Faz. Limeira	1118,24	1744,31	626,07	55,99	19,76	27,63	7,87	39,83	14,95	18,96	4,01	26,82
Unai	10278,11	1821,54	749,43	69,90	25,48	36,34	10,86	42,62	15,79	20,21	4,42	27,99
Sto. Ant. do Boq.	1134,83	1944,08	809,25	71,31	25,48	36,34	10,86	42,62	16,40	21,29	4,89	29,82
Faz. Resfriado	116,24	169,80	53,56	49,08	-	-	-	-	0,29	1,50	1,21	417,24
Faz. Sta. Cruz	105,12	84,15	-20,97	-19,95	-	-	-	-	0,93	0,97	0,04	4,30
Porto dos Poções	1567,56	3639,75	2072,19	132,19	25,51	36,38	10,87	42,61	22,63	38,58	15,95	70,48

* Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto.
Fonte: LATUF, 2007.

QUADRO 17 - Significâncias e tendências observadas para o comportamento do uso do solo, no período 1985-2000, para as estações fluviométricas monitoradas

Estações fluviométricas	Significâncias (%) e Tendências (↑↓) ao longo do tempo para as classes de uso do solo					
	Mata	Cerrado	Pasto	Cultivo	Urbano	Reser. *
Fazenda Barra da égua	95,0 ↑	99,8 ↓	75,4 ↓	99,9 ↑	-	78,4 ↑
Fazenda Poções	96,2 ↑	99,4 ↓	68,8 ↓	98,9 ↑	-	58,1 ↑
Fazenda Limeira	58,5 ↓	99,3 ↓	58,4 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	61,4 ↑
Unai	84,1 ↑	99,0 ↓	66,1 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	60,3 ↑
Santo Antônio do Boqueirão	93,5 ↑	98,9 ↓	74,1 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	54,0 ↑
Fazenda Resfriado	99,8 ↑	90,3 ↓	94,7 ↓	97,9 ↑	-	64,3 ↑
Fazenda Santa Cruz	98,7 ↑	90,3 ↓	71,5 ↓	83,9 ↓	-	30,7 ↑
Porto dos Poções	99,9 ↑	99,9 ↓	69,5 ↑	99,9 ↑	99,9 ↑	64,6 ↑
Média	90,7	97,1	72,3	97,5	99,9	59,0

*Classe de uso do solo reservatório; - Sem ocorrência; ↑: Crescimento; ↓: Diminuição.

Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto.

Fonte: LATUF (2007).

Baseado no trabalho de LATUF (2007) foi selecionado para a realização do presente trabalho duas estações fluviométricas, localizadas nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, respectivamente a estação Fazenda Barra da Égua (EFFBE) (42435000) e Porto dos Poções (EFPP) (42600000). O principal motivo dessa escolha se deve: a) ambas as estações representam as características das bacias onde se inserem, subsidiando posteriores associações entre modificações do uso do solo, mudanças climáticas e comportamento hidrológico; b) devido ao seu maior percentual de cobertura de área de drenagem (41,15% e 91,99%, respectivamente); e c) por estarem localizadas no ponto mais inferior de cada uma dessas bacias; ou seja, traduzem todas as modificações sofridas à montante de onde estão instaladas.

4.2.1.4.1. Estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua

Na Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua (EFFBE) se registrou crescimento das áreas de classe de uso do solo “Mata”, “Reservatórios” e “Cultivo”, tendo sofrido uma redução as áreas das classes de uso do solo “Cerrado” e “Pasto”. Nesta estação não houve a ocorrência da classe de uso do solo “Urbanização”. Segundo LATUF (2007), para a confecção das linhas das tendências das classes de usos do solo foram utilizados os dados de todos os nove mapas elaborados durante o período 1985-2000. Estas tendências podem ser observadas por meio da Figura 69.

É necessário o conhecimento de quais classes de usos do solo se agregaram às áreas de outras classes. Deste modo, constatou-se que as classes de usos do solo “Mata” e “Pasto” possuem uma alta correlação espacial com “Cerrado” e “Cultivo”, posto que o crescimento das áreas de “Mata” e “Cultivo” ocorreram, principalmente, em áreas de “Pasto” e “Cerrado”, respectivamente.

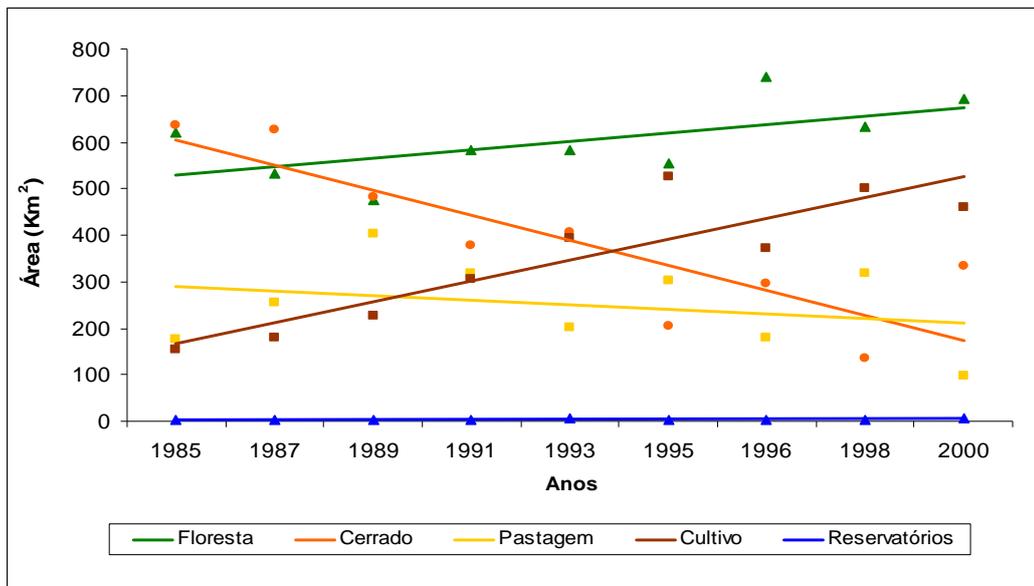


FIGURA 69 - Tendências observadas do uso do solo para a EFFBE no período 1985-2000. Fonte: LATUF, 2007.

Merece destaque a redução das áreas de “Cerrado” nesta área de drenagem, que se deve ao avanço da fronteira agrícola, posto que a sua redução em 302,68 km² no período 1985-2000, 91,93% desse total se transformaram em áreas de “Cultivo”. Na substituição das áreas de “Pasto”, que sofreu uma redução de 78,99 km², 73,88% desse total se converteu em áreas de “Mata”. Na Figura 70 podem-se observar as mudanças ocorridas no uso do solo.

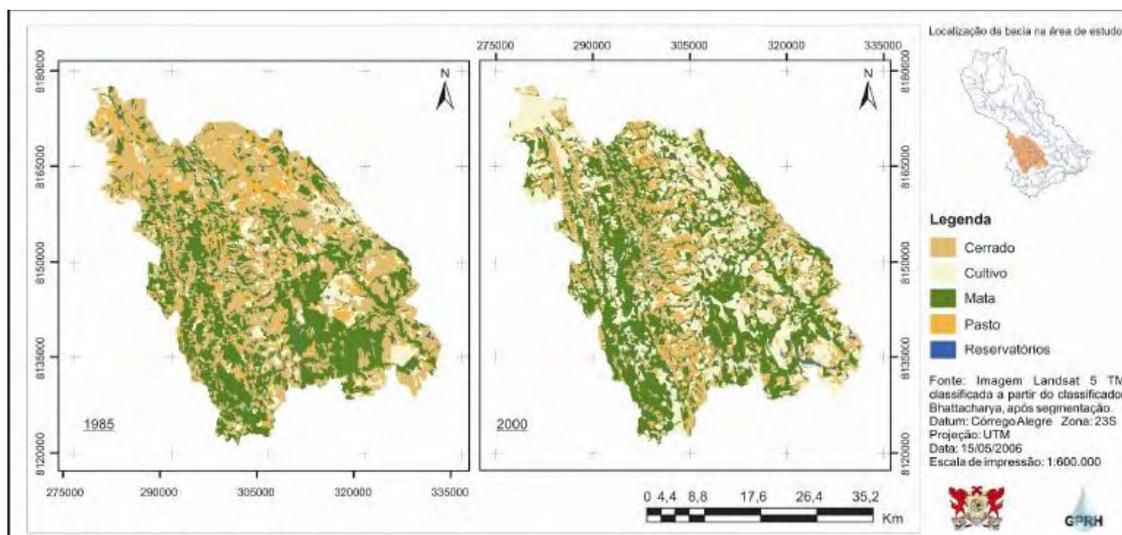


FIGURA 70 - Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da EFFBE. Fonte: LATUF, 2007.

4.3.1.4.2. Estação fluviométrica Porto dos Poções

No monitoramento para a área de drenagem da estação fluviométrica Porto dos Poções, foi registrado crescimento das áreas de “Mata”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Cultivo” e “Urbanização”, tendo sofrido drástica redução a classe de uso do solo

“Cerrado”. As tendências dos usos do solo podem ser observadas por meio da Figura 71.

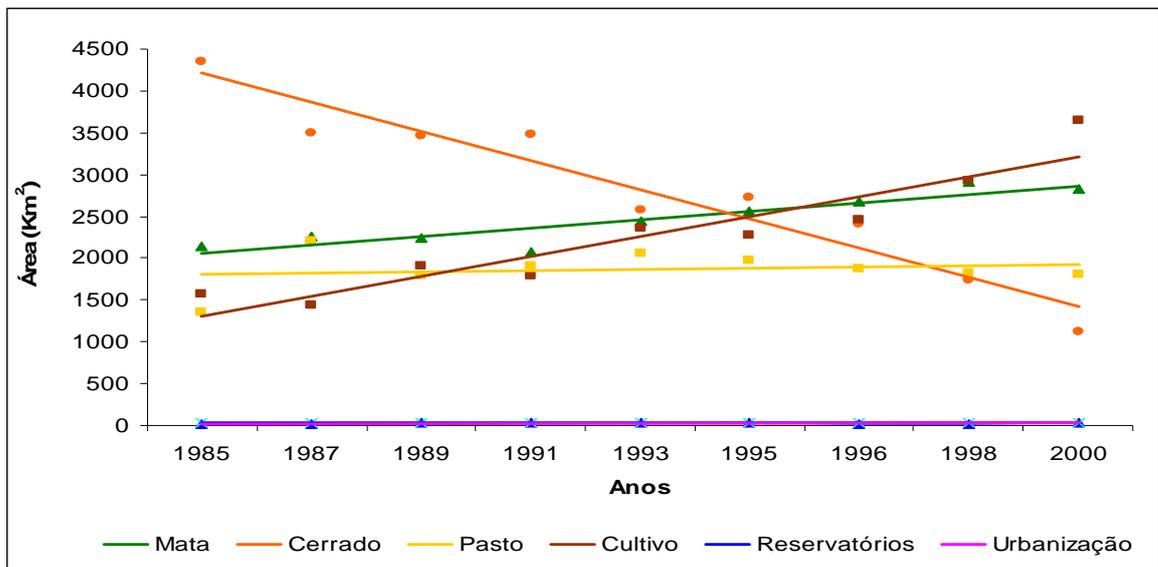


FIGURA 71 - Tendências observadas do uso do solo para a EFPP no período 1985-2000. Fonte: LATUF (2007).

Merece destaque a classe de uso do solo “Cerrado”, que foi a única que sofreu decréscimo em sua extensão (-3.222,83 km²). O percentual das áreas que deixaram de ser “Cerrado” e se tornaram “Mata”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Cultivo” e “Urbanização” foram de 21%, 0,49%, 13,87%, 64,30% e 0,34%, respectivamente. A maior substituição das áreas de “Cerrado” foi para a classe de uso do solo “Cultivo” (+132,19%, que corresponde a um aumento em sua área de +2.072,19 km²); seguida pela classe “Mata” (+31,54%, que corresponde a um aumento em sua área de 676,80 km²). Na Figura 72 podem-se observar as mudanças ocorridas no uso do solo.

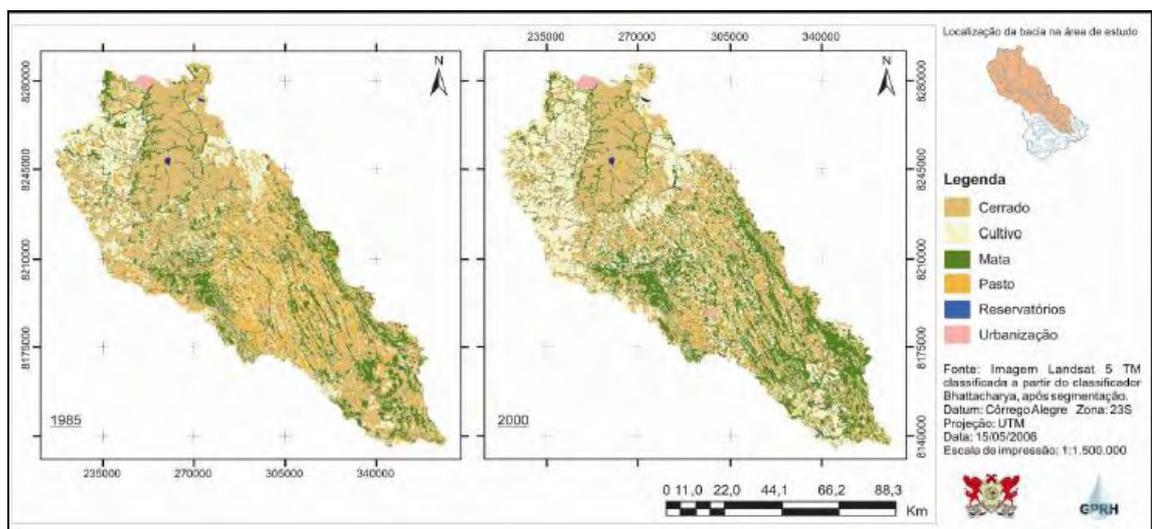


FIGURA 72 - Mudanças ocorridas no uso do solo na área de drenagem da EFPP. Fonte: LATUF, 2007.

No estudo de LATUF (2007), as classes de uso do solo que tiveram evoluções mais significativas foram “Mata”, “Cerrado” e “Cultivo”. Na área da EFPP, além das referidas classes, “Urbanização” também apresentou uma evolução significativa (+42,61%).

A classe de uso do solo “Mata” apresentou tendências de crescimento nas duas áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas que serão utilizadas no presente trabalho. Contudo, a classe de uso do solo “Cerrado”, teve um comportamento de decréscimo para ambas as áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas no estudo de LATUF (2007). O que vem comprovar a substituição da vegetação nativa por culturas anuais, tais como soja e milho (EMATER, 2006 *apud* LATUF, 2007).

Para a classe “Pasto” foi identificada a tendência de redução de sua área de cobertura para a área da EFFBE, e acréscimo para a área de abrangência da EFPP. Para a classe “Cultivo”, houve o aumento de sua cobertura para ambas as áreas de drenagem das referidas estações fluviométricas.

Para as classes “Urbanização” e “Reservatórios” foram identificadas as tendências de aumento de suas áreas de cobertura para ambas as áreas de drenagem das estações fluviométricas, apesar de reduzida na EFFBE, refletindo deste modo, o crescimento urbano na bacia identificado pelo IBGE (2005) e a expansão da agricultura irrigada na região da bacia do rio Preto e do ribeirão Entre Ribeiros (RODRIGUEZ, 2004).

Contudo, para LATUF (2007), estas classes de uso do solo não chegam a corresponder a 1% no aumento em área nas respectivas bacias. Entretanto, é válido destacar o registro de aumento das áreas de espelho d’água nas bacias monitoradas, tendo possíveis relações com o aumento das áreas irrigadas ao longo das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Segundo RODRIGUEZ (2004) não houve a identificação de nenhuma grande barragem para este fim, sendo que há uma barragem de extenso espelho d’água, utilizada para fins de disposição de rejeitos de mineração, localizada dentro dos limites no município de Paracatu/MG. Neste sentido, o aumento identificado para este uso do solo é caracterizado por pequenas barragens provavelmente utilizadas como reservatórios utilizados para alimentação de sistemas de irrigação, principalmente, pivô-central.

Ainda segundo essa mesma autora, evidenciou que na bacia do ribeirão Entre Ribeiros há conflitos de disponibilidade de água para atendimento da demanda de seus agentes consumidores, onde 92% da vazão consumida para a estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua são para o atendimento da demanda de irrigação nesta área de drenagem. Em outro estudo, MOREIRA (2005) evidenciou que para a bacia do rio Paracatu, em seus afluentes ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto, não há

disponibilidade de água para atendimento de novas outorgas de concessão de direito de uso da água até 2010.

4.2.1.5. Análise do comportamento das variáveis hidrológicas

De acordo com LATUF (2007), para o período selecionado em seu estudo, houve a necessidade de preenchimento de falhas apenas para a série de vazões mínimas de sete dias consecutivos (Q_7). No Quadro 18 observam-se as significâncias e tendências obtidas pelas variáveis hidrológicas referentes às vazões e precipitações, ao longo do período 1985-2000, para cada estação fluviométrica utilizada no referido estudo. Cabe considerar, que no presente estudo, serão utilizadas apenas as Estações Fluviométricas Fazenda Barra da Égua e Porto dos Poções. Os dados referentes às obtenções destas tendências estão listados no ANEXO B.

QUADRO 18 - Significâncias e tendências observadas para vazões e precipitações nas estações fluviométricas utilizadas no período 1985-2000

Estações fluviométricas	Significâncias (%) e Tendências (↑↓) ao longo do tempo para as variáveis hidrológicas							
	Q _{max}	Q _{med}	Q ₇	Q ₉₀	Q ₉₅	Pa	P _{mc}	P _{ms}
Fazenda Barra da Égua	85,2↓	81,3↓	93,1↓	87,3↓	88,3↓	86,3↓	93,9↓	66,4↑
Fazenda Poções	94,1↓	54,5↓	86,8↓	79,7↓	76,3↓	94,9↓	97,4↓	89,0↓
Fazenda Limeira	81,7↓	94,7↓	98,6↓	97,7↓	98,1↓	74,1↓	96,3↓	83,4↑
Unai	91,4↓	92,5↓	97,9↓	97,0↓	97,5↓	76,8↓	95,1↓	81,2↑
Santo Antônio do Boqueirão	83,6↓	93,0↓	96,4↓	95,6↓	96,2↓	78,3↓	94,8↓	93,1↑
Fazenda Resfriado	55,7↑	78,1↓	98,1↓	94,9↓	95,6↓	82,2↓	91,4↓	52,6↑
Fazenda Santa Cruz	61,4↓	98,0↓	99,0↓	99,3↓	99,3↓	74,3↓	88,8↓	97,1↑
Porto dos Poções	80,8↓	89,9↓	95,7↓	90,5↓	92,9↓	81,8↓	95,2↓	77,7↑
Média	79,2	85,2	95,7	92,7	93,0	81,1	94,1	80,1

↑: Crescimento; ↓: Diminuição

Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto.

Fonte: LATUF, 2007.

Em que:

Q_{max} - Vazão máxima anual ($m^3 s^{-1}$)

Q_{med} - Vazão média diária anual ($m^3 s^{-1}$)

Q₇ - Vazão mínima de sete dias consecutivos ($m^3 s^{-1}$)

Q₉₀ - Vazão de permanência de 90% do tempo ($m^3 s^{-1}$)

Q₉₅ - Vazão de permanência de 95% do tempo ($m^3 s^{-1}$)

Pa - Precipitação média anual na área de drenagem da estação fluviométrica ($mm ano^{-1}$)

P_{mc} - Precipitação do mês mais chuvoso ($mm mês^{-1}$)

P_{ms} - Precipitação do mês mais seco ($mm mês^{-1}$)

É possível verificar que a tendência do comportamento da vazão máxima (Q_{max}), da vazão média (Q_{med}), e das vazões mínimas (Q₇, Q₉₀ e Q₉₅) houve registros de tendências de comportamento de redução para ambas as estações fluviométricas (Quadro 16). Para as precipitações monitoradas, considerando aquelas que serão avaliadas neste estudo, houve redução da tendência do comportamento para a precipitação média diária anual (Pa) e precipitação do mês mais chuvoso (P_{mc}) para ambas as áreas de drenagem das estações fluviométricas. Entretanto, a precipitação

do mês mais seco (Pms), ao contrário das demais, obteve tendências de crescimento para ambas as áreas de drenagens das estações fluviométricas. De acordo com LATUF (2007), no período entre 1985-2000, as variáveis hidrológicas que tiveram evoluções mais significativas ao longo do tempo foram as vazões mínimas com índices superiores a 90%, refletindo um maior impacto de redução destas vazões ao longo do tempo.

Na Figura 73 apresentam-se os resultados do coeficiente β_0 para as vazões observadas das oito áreas de drenagem das estações fluviométricas selecionadas. Este coeficiente foi estimado por meio da equação de regressão linear simples entre vazão e tempo, assumindo como variável dependente a vazão e como variável independente o tempo, tendo sido já utilizados por Pruski *et al.* (2005) e Sharma e Shakya (2006), *apud* LATUF (2007).

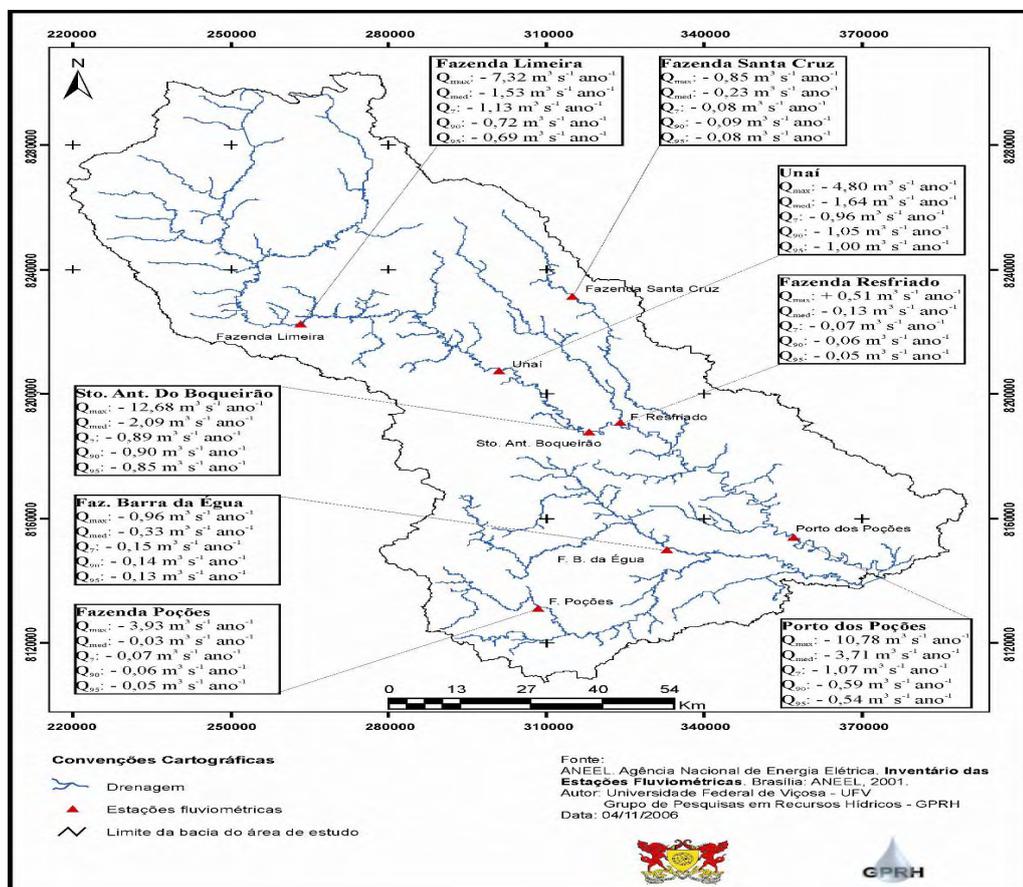


FIGURA 73 - Comportamento das vazões observadas das oito estações fluviométricas no período 1985-2000, por meio do β_0 das equações de regressões lineares simples estimadas entre as vazões em função do tempo. Fonte: ANEEL, 2006 *apud* LATUF (2007).

Assim, de acordo com LATUF (2007), estimou-se o quanto ao longo dos anos, no período 1985-2000, se as vazões máximas (Q_{max}), vazões médias (Q_{med}), vazões mínimas (Q_7 , Q_{90} e Q_{95}) diminuíram ou aumentaram nestas seções fluviométricas. Deste modo, resultados demonstram que a redução da vazão máxima foi maior na

bacia do rio Preto, com média de redução de $6,64\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, sendo encontrada redução de até $10,78\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ para a área de drenagem da estação Porto dos Poções, correspondente a 91,99% da área de drenagem da bacia do rio Preto.

Segundo esse mesmo autor, para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros a média de redução foi $2,44\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, com registro de $3,93\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ para a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Poções, correspondente a 14,22% da área de drenagem do ribeirão Entre Ribeiros. Resultados encontrados para as vazões médias se observam uma redução média de $1,55\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ e $0,18\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, chegando a valores de $3,71\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ e $0,33\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, para as bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, respectivamente. Neste sentido, observa-se uma maior redução nas vazões médias para a bacia do rio Preto.

Para LATUF (2007), o comportamento das reduções das vazões mínimas Q_7 , Q_{90} e Q_{95} segue a mesma tendência: reduziram-se em maiores proporções na bacia do rio Preto, quando comparadas à bacia do ribeirão Entre Ribeiros (Quadro 19).

QUADRO 19 - Reduções das vazões mínimas para as bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros no período 1985-2000

Bacias monitoradas	Média de redução das vazões ($\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$)		
	Q_7	Q_{90}	Q_{95}
Rio Preto	0,70	0,56	0,53
Ribeirão Entre Ribeiros	0,11	0,10	0,09
Diferença relativa	536%	460%	488%

Fonte: LATUF, 2007.

Deste modo, de acordo com LATUF (2007), no período 1985-2000, para a bacia do rio Preto foi identificada uma redução média de $0,70\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ para a Q_7 , com uma diferença relativa entre as bacias de 536%; para a Q_{90} foi registrada uma média de redução de $0,56\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, com uma diferença relativa entre as bacias de 460%; e para os dados de Q_{95} foi identificada uma média de redução para a bacia do rio Preto de $0,53\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, com uma diferença relativa para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros de 488%.

Neste sentido, segundo esse mesmo autor, observa-se que para as vazões médias as perdas para as seções fluviométricas da bacia do rio Preto, conforme pode ser visualizado por meio da Figura 96, acumulam-se; ou seja, há um aumento de redução no trecho de montante a jusante. Porém, na seção fluviométrica Santo Antônio do Boqueirão, os resultados demonstram um aumento relativo da Q_{90} e Q_{95} no trecho Unaí e Santo Antônio do Boqueirão, o que ainda é confirmado por mais um aumento, de aproximadamente 50%, no trecho Santo Antônio do Boqueirão e Porto dos Poções.

Segundo esse mesmo autor, isto reflete um maior consumo de água pela agricultura na área de drenagem a montante da seção fluviométrica Unai, sendo comprovado por meio da análise de evolução do uso do solo na bacia, pois nesta área houve uma maior substituição da vegetação nativa “Cerrado” por áreas de “Cultivo”. Entretanto, no trecho a jusante da seção fluviométrica Unai, há uma queda na taxa de substituição de “Cerrado” por “Cultivo”, bem como uma redução no consumo de água para o abastecimento humano. Neste sentido, as vazões Q_{90} e Q_{95} conseguem agregar um maior volume e, conseqüentemente, uma menor redução na estação fluviométrica Porto dos Poções.

Os resultados do coeficiente β_0 para a precipitação média anual (Pa), precipitação do mês mais chuvoso (Pmc) e precipitação do mês mais seco (Pms) observadas nas oito áreas de drenagem das estações fluviométricas selecionadas, tendo sido já utilizados por Pruski *et al.* (2005) e Sharma e Shakya (2006), podem ser visualizados por meio da Figura 74 (LATUF, 2007).

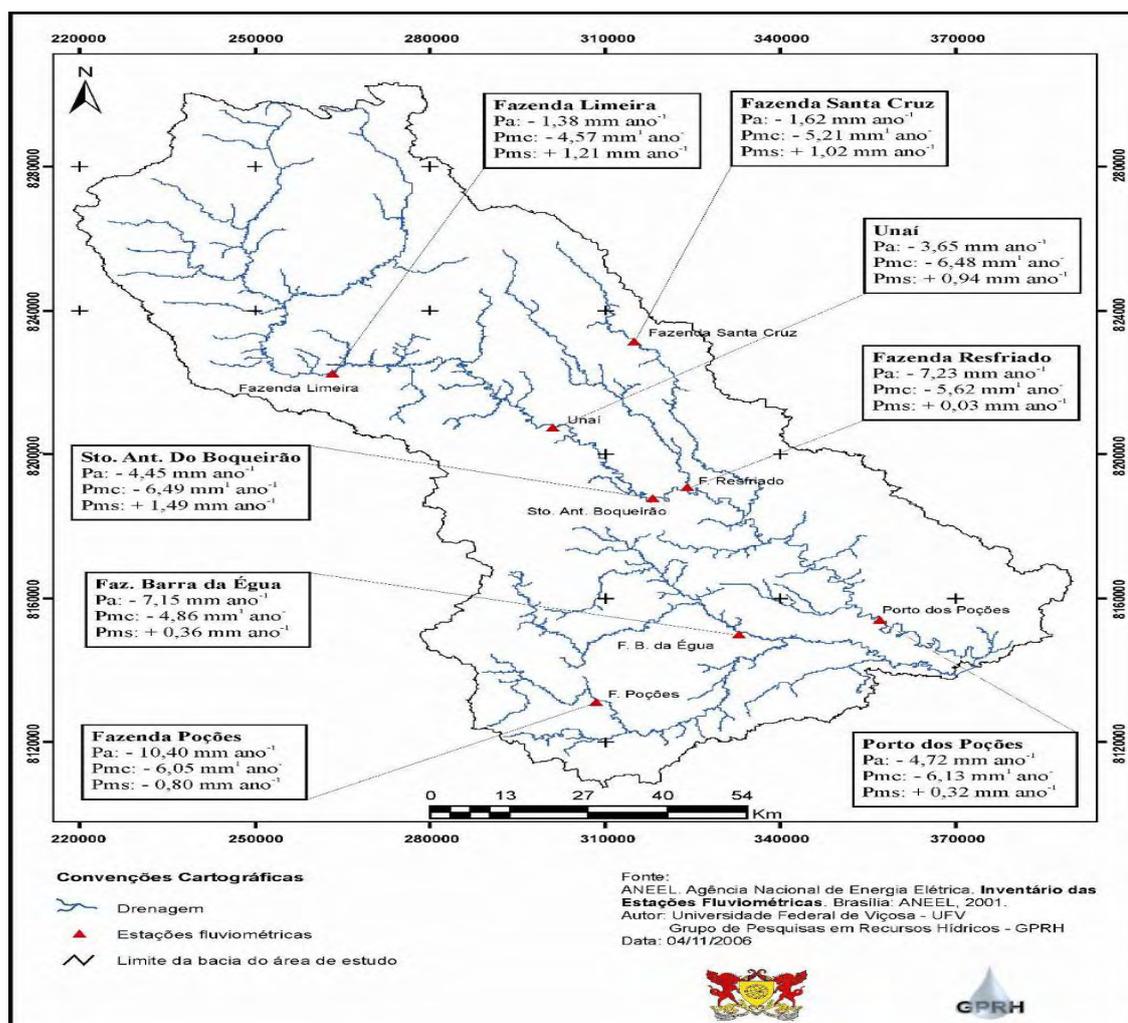


FIGURA 74 - Comportamento das precipitações das oito estações fluviométricas no período 1985-2000, por meio do β_0 das equações de regressões lineares simples estimadas entre as precipitações em função do tempo. Fonte: ANEEL, 2006 *apud* LATUF (2007).

No Quadro 20 apresentam-se os resultados referentes às médias de reduções para as precipitações médias diárias anuais e as do mês mais chuvoso, bem como as médias de crescimento da precipitação do mês mais seco, nas áreas de drenagem das seções fluviométricas monitoradas localizadas nas duas bacias que serão utilizadas no presente estudo.

QUADRO 20 - Variações das precipitações nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros no período entre 1985-2000

Bacias monitoradas	Média de redução e aumento (mm ano ⁻¹)		
	Pa	Pmc	Pms
Rio Preto	- 3,84	- 5,75	+ 0,83
Ribeirão Entre Ribeiros	- 8,77	- 5,45	- 0,22

Fonte: LATUF, 2007.

Deste modo, de acordo com LATUF (2007), observa-se que para a precipitação média diária anual (Pa) houve uma maior redução média para as estações fluviométricas localizadas na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, com valor de 8,77 mm ano⁻¹ quando comparadas às estações da bacia do rio Preto. Chega a valores de 10,40 mm ano⁻¹, no período 1985-2000, para a bacia da estação Fazenda Poções, com diferença relativa de aproximadamente 128% entre as bacias.

Segundo esse mesmo autor, neste mesmo período houve uma maior redução média da precipitação do mês mais chuvoso (Pmc), para as estações localizadas na bacia do rio Preto, com valor de 5,75mm ano⁻¹; e na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, uma redução média de 0,22mm ano⁻¹. Entretanto, para a bacia do rio Preto a média de aumento da Pms foi de 0,83mm ano⁻¹. Nota-se que, mesmo a precipitação do mês mais seco (Pms) tendo obtido uma tendência de comportamento de elevação, este aumento não foi suficiente para que houvesse alterações para aumento das vazões mínimas Q₇, Q₉₀ e Q₉₅. Isso comprova que o uso consuntivo de água pelo aumento da agricultura e o consumo para abastecimento humano na área de estudo, têm influenciado nas reduções destas vazões.

Ainda segundo esse mesmo autor, com relação às precipitações médias diária anual (Pa) e do mês mais chuvoso (Pmc), houve uma coerência quando relacionadas com os dados de vazões média e máxima, ou seja, a redução da Pa e Pmc certamente teve influência para que estas vazões acompanhassem esta redução, haja vista que a precipitação é o principal meio de entrada de água nas bacias monitoradas.

De acordo com Costa *et al.* (2003) e Bruijnzeel (1990), *apud* LATUF (2007), com a substituição de “Cerrado” ou “Mata” por “Pasto”, diminui a interceptação da água da chuva, o que leva a aumentar o escoamento superficial e a diminuição da infiltração nestas áreas, causando uma diminuição das vazões mínimas e aumento das vazões máximas.

Neste sentido, com o solo mais exposto o mesmo ficará mais susceptível às ações da energia cinética associada a precipitações e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração tenderá a ficar reduzida, o que acarretará um aumento do escoamento superficial, com redução da alimentação do aquífero, aumentando, desta forma, as vazões máximas e reduzindo as vazões média e mínimas.

Por outro lado, caso o solo permaneça protegido das ações de precipitações diretas sobre o mesmo, o excedente de precipitação que não é evapotranspirado possui melhores condições de se infiltrar e o aquífero terá uma maior recarga, aumentando, neste sentido, as vazões mínimas e médias, e reduzindo as vazões máximas (TUCCI, 1998).

4.2.2. ETAPAS DA MODELAGEM

A proposta desse trabalho é a de desenvolver um modelo de oferta e demanda hídrica baseado na Dinâmica de Sistemas, com o auxílio do “software” STELLA 9.0. Seu objetivo é o de se analisar a sustentabilidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

Há de se considerar que, nas últimas décadas, o principal agente consumidor de água na bacia do rio Paracatu foi a irrigação, que teve sua participação elevada de 78% para 93% do total da vazão consumida, gerando um complexo quadro de conflitos pelo uso da água nessa região. Ao mesmo tempo, o crescimento na demanda desse recurso, resultado do crescimento das atividades econômicas, vem acelerando o crescimento populacional, que estimula a implantação de outras atividades, como aquelas de reflorestamento com o uso de espécies exóticas.

No caso da agricultura irrigada, o modelo servirá como uma ferramenta para prevenir os destinos dos eventuais setores irrigáveis que possam ser implantados ao longo das bacias hidrográficas da região. Dessa forma, o modelo se converterá em um valioso instrumento computacional de auxílio aos formuladores de políticas públicas para o planejamento, gestão e monitoramento dos recursos hídricos do local de estudo.

Entretanto, sua construção implica em uma ampla investigação, além de um trabalho eminentemente criativo, que será estruturado por meio das seguintes etapas (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006): a) conceitualização; b) formalização; e c) simulação - esta etapa inclui a avaliação e exploração.

4.2.2.1. Etapa de conceitualização

Existe um consenso de que projetar cenários futuros só é possível com o entendimento do espaço natural e suas condições passadas e atuais: essa questão é

complexa, dada às inter-relações existentes nos diversos ecossistemas, naturais e urbanos. Entretanto, ao entender o que acontece nesse espaço é possível projetar cenários futuros e quantificar suas conseqüências - afinal, é no futuro que existirá a obra construída, assim como o impacto que causará no campo, na cidade e em seus habitantes.

Entretanto, para ROSMAN (2006), por serem apenas ferramentas, sua utilização de modo inadequado pode levar a resultados enganosos, com graves conseqüências. Portanto, é essencial que os modeladores tenham entendimento de como se devem usar tais ferramentas dentro de um processo de modelagem. Vale a pena pensar no seguinte: “*Todos os modelos são errados; na mão de poucos, alguns são úteis.*” Apesar da carga de ironia e fatalismo desta frase, vale como um alerta para a importância dos conhecimentos das limitações e potencialidades dos modelos, e do processo que está por trás.

Desta forma, de acordo com ORELLANA GONZÁLEZ (2006), esta etapa consiste na familiarização dos problemas relacionados à área em estudo, tendo como objetivo defini-los. Busca-se identificar os elementos que configuram o sistema de recursos hídricos das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, concluindo com o estabelecimento do diagrama causal.

4.2.2.1.1. Enfoque sistêmico dos recursos hídricos

Na elaboração do modelo da água para as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, para o seu pleno sucesso, fez-se necessário conhecer o processo de aprendizagem e as etapas no processo de construção de modelos em Dinâmica de Sistemas. Por intermédio de uma análise sistemática dos recursos hídricos dessa região, foram determinadas as principais variáveis e suas respectivas inter-relações, conformando-se assim, a estrutura do modelo de oferta e demanda hídrica.

Esta estrutura foi representada no diagrama causal, que serviu como base para a elaboração do diagrama de estoques e fluxos, por meio do qual se estabelecerá o modelo matemático que permitirá efetivar a simulação numérica. Serão aplicados testes de validação do modelo. Com os resultados obtidos, permitiu-se constatar que o modelo está estruturado e se comporta de forma coerente aos dados existentes na realidade, o que o torna adequado para a situação.

A importância em identificar os principais problemas e as características dessas atividades e as possíveis medidas mitigadoras, amparadas atualmente pela legislação ambiental e pela obrigatoriedade da avaliação de impactos ambientais, é permitir que sejam reduzidos os impactos ambientais negativos. Por meio da utilização de ferramentas na fase de planejamento, implantação e monitoramento tais como, o

licenciamento ambiental e sistemas de gestão ambiental, têm favorecido tais procedimentos. Cabe ainda considerar, que a utilização de medidas preventivas visa à utilização dos recursos naturais de forma racional, com vistas aos princípios e anseios do Desenvolvimento Sustentável.

As informações adquiridas sobre esse sistema, considerando que atividades antrópicas provocam a sua retroalimentação interna e interferem nas suas relações com o meio no qual está inserida; o modelo poderá propor as mudanças que se façam necessário, ou sugerir novo direcionamento para que lacunas diagnosticadas dentro do atual modelo sejam alteradas, atingindo, assim, os resultados esperados. Devem ser considerados os contextos político e sócio-econômico, bem como as principais inter-relações no qual o setor em estudo está inserido, para que se possam elaborar os círculos de causalidade.

Assim, esse modelo permitirá aumentar a compreensão acerca das atividades antrópicas e seus empreendimentos existentes na região de estudo, bem como as interferências promovidas em seus diversos ecossistemas. Dessa forma, os usuários poderão entender como que os diversos cenários atuais e futuros afetarão o desempenho dos ecossistemas, aquáticos e terrestres. São fundamentais, a partir de uma visão holística e integrada, que sejam identificadas as atividades agropecuárias, florestais e urbanas que geram focos de poluição e degradação. O seu entendimento será a base para a construção do modelo e da estrutura matemática, que permitirá representar e entender a dinâmica de funcionamento desses sistemas.

Será escolhido como horizonte de planejamento um período de sessenta e cinco (65) anos. Esse período se enquadra acima do tempo mínimo, segundo ORELLANA GONZÁLEZ (2006), de 25-30 anos, que é normalmente empregado para a implantação da maioria dos planos de desenvolvimento sócio-econômico, significando, portanto, uma melhor visão para o planejamento e tomadas de decisão no longo prazo.

4.2.2.1.2. Definição do problema

Os modelos de desenvolvimento agropecuário e urbano-industrial implementados nas últimas décadas na bacia do rio Paracatu produziram uma série de impactos ambientais com a geração de inúmeras áreas degradadas. A provável origem desses problemas se deve ao imediatismo nas fases de elaboração e implantação dos diversos empreendimentos e atividades, com displicência, ou mesmo ausência, de planejamento ambiental, não considerando, por exemplo, as questões relativas à predição.

Tal comportamento têm posto em risco a quantidade e a qualidade do capital natural, particularmente dos recursos edáficos e, conseqüentemente, dadas as suas

inter-relações, dos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto inserem-se as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu, objetos deste estudo.

Nesse local, tem ocorrido a intensificação de atividades silviculturais, que substituem a vegetação nativa, como também a intensificação da agricultura irrigada, cuja participação no consumo de água se elevou de 78% para 93% do total da vazão consumida no período de 1970 a 2000. O sistema hídrico que compõe as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto está conformado por um conjunto de elementos e componentes que cumprem diferentes funções. O sistema está constituído pelo solo e pelos diversos elementos que o compõe, unidos entre si e formando uma rede de inter-relações, organizados de forma interconectada aos propósitos e, ou, objetivos que devam satisfazer.

Tendo esses princípios como ponto de partida, se analisou a sustentabilidade destes sistemas hidrológicos. Com o modelo das referidas bacias se buscou determinar se as gerações presentes e futuras contarão com os recursos hídricos que necessitarão para garantir o Desenvolvimento Sustentável da referida região, e mesmo de toda a bacia do rio São Francisco.

Esta análise se dará por intermédio de uma visão de longo prazo (65 anos) dos recursos citados. Serão examinados oito (8) cenários que compreenderão futuros aumentos de demanda de água, e restrições da oferta deste recurso, a fim de avaliar a sustentabilidade da oferta de água disponível, nessa região. As tendências atuais do sistema de recursos hídricos dessa região considerarão no seu primeiro cenário o agronegócio atual. A partir deste, será criado um índice para determinar a sustentabilidade. Esse índice refletirá se o sistema está abaixo ou acima, durante o período de estudo em uma situação de super-exploração ou estresse, o que permitirá responder aos seguintes questionamentos:

- Estar-se-á utilizando um volume acima da capacidade de suporte e autodepuração desses recursos?
- Tem ainda % excedente que poderá se utilizado sem prejudicar a sustentabilidade do sistema?
- A qualidade da água se encontra afetada?
- A sustentabilidade do sistema se encontra comprometida?
- Quais são as atividades principais que têm contribuído para essa situação?
- Qual deverá ser o posicionamento dos órgãos de fiscalização?

O modelo foi desenhado para representar a estrutura da demanda de água da produção agrícola e da demanda ambiental requerido para manter a vida dos ecossistemas da região. Compreende também a oferta de recursos hídricos

disponíveis regionalmente, a qual foi estimada com base na vazão média (Q_{med}) dos rios.

De acordo com ORELLANA GONZÁLEZ (2006), utilizando o enfoque de Dinâmica de Sistemas se rompe com a análise isolada do destino efetivo da água. Dessa forma, descortina-se um novo paradigma, se enfocando algo mais importante: o uso final e o controle do recurso, centrando-se, em particular, no quanto se usa. Com este objetivo exposto de forma bem nítida, se espera superar as políticas atualmente desenhadas para resolver problemas, que contrariamente ao seu propósito inicial, podem muitas vezes reforçar os problemas que se tentavam solucionar.

4.2.2.1.3. Relação entre os elementos do sistema: diagrama causal do modelo

Para o desenho do diagrama causal, que representa as relações principais e relevantes para o estudo da estrutura de oferta e demanda hídrica das bacias do presente estudo, se tomou como base o fluxograma utilizado por ORELLANA GONZÁLEZ (2006) em seu trabalho, que de acordo com XU *et al.* (2002), contém os componentes principais da estrutura de um modelo de recursos hídricos que analisa o balanço entre oferta e demanda de água.

A Figura 75 descreve de forma esquemática o sistema de recursos hídricos e seus elementos principais que o compõe. Conforma-se pelos agregados principais: o primeiro representa a oferta de água disponível; e o segundo que engloba a demanda do referido recurso. Destes grandes agregados se derivam o balanço hídrico do modelo.

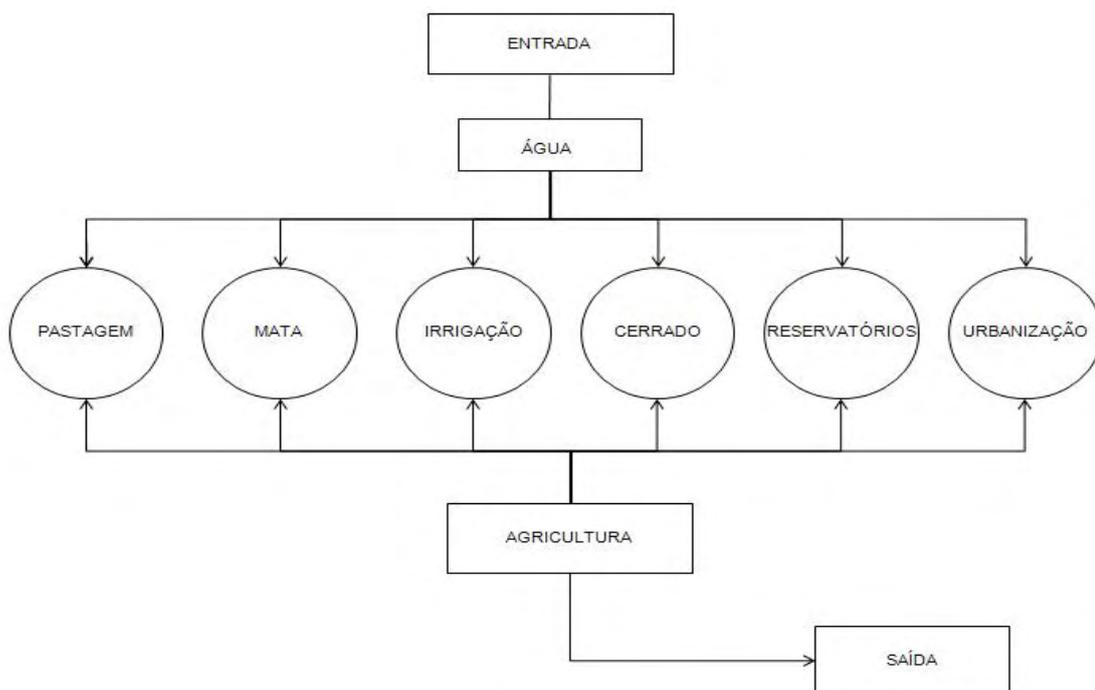


FIGURA 75 - Fluxograma representativo da estrutura do modelo de recursos hídricos.

O esquema anterior permitiu estabelecer os principais componentes do modelo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, e identificar as relações de causalidade mais importantes que existem entre eles. Como resultado destas análises, se elaborou o diagrama causal específico para as bacias em estudo. Este diagrama (Figura 76) permite visualizar o tipo de relações que existem entre os elementos que compõem o modelo.

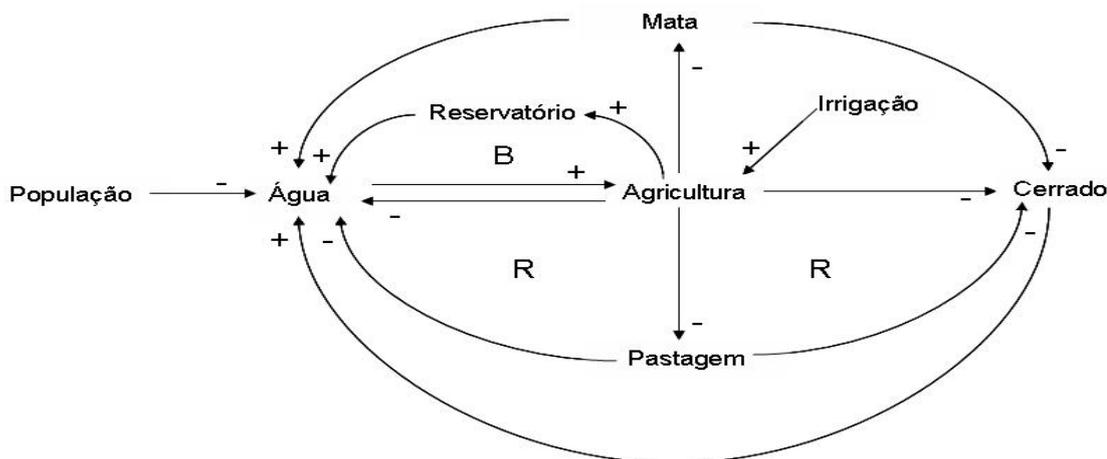


FIGURA 76 - Diagrama causal do modelo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

Na Figura 76 estão identificados os componentes básicos do sistema, bem como a interação que se dá entre eles, sendo esta última a que proporciona as características estruturais do sistema que nos ocupa. Apresenta-se “Água”, como a oferta de água limpa disponível e, por outro lado, as demandas estudadas: “População”, que indica a demanda de água para consumo doméstico, tanto na área rural como na urbana; “Cerrado”, que é o Bioma regional, representa produção e estoque de água; “Mata”, conforme descrito anteriormente, tanto de espécies nativas, representadas por florestas de galerias ou ripárias, entre outros, também representam produção e estoque de água; “Agricultura” ou “Cultivo”, que engloba os requerimentos hídricos dos cultivos, como também os plantios florestais; “Pastagem”, evidenciando a demanda de água requerida por este setor.

A variável “Reservatórios” significa estoque de água, em face da retenção do excesso de água que se perderia pelo elevado escoamento superficial das referidas bacias em estudo, estimulando a rápida drenagem (Balanceamento); e, por último, tem-se a variável “Irrigação”; que no presente estudo tem sido considerado o fator de injeção de recursos financeiros nas atividades agrícolas. Esta última variável está dinamizando e incrementando as atividades do setor produtivo e de serviços dessas bacias, além de ser a maior responsável pela demanda de água.

Com respeito aos laços de realimentação existentes entre os componentes do sistema, podem-se destacar os seguintes pontos: a injeção de recursos financeiros

provenientes da irrigação gera um impacto positivo sobre as atividades do setor agrícola, e se manifesta os efeitos de uma variável sobre outra que caminham na mesma direção, sendo representadas com um sinal (+) ao final da seta (Figura 76). Por exemplo, se a atividade de irrigação aumenta, ela repercute em um aumento das atividades agrícolas, e vice-versa.

Ao contrário, um aumento do consumo de água do setor agrícola, pecuário e da população, gera um impacto negativo sobre a oferta de água disponível; assegura que o crescimento destas variáveis ocasiona diminuição da oferta de água limpa, aumento da contaminação (não considerado nesse estudo), e vice-versa. Pode-se então afirmar que os efeitos caminham em direções contrárias, representadas com um sinal (-).

Pode-se também observar que, apesar de não representado no diagrama causal, o aumento das atividades agrícolas, pecuárias e o consumo da população ocasionam um aumento no nível de contaminação da água, posto que existe um efeito positivo derivado da relação entre essas variáveis – se uma cresce, a outra também, e vice-versa. Também, a variação na atividade agrícola (que foi considerado como o principal dinamizador da economia dessas bacias) gera efeitos no mesmo sentido da variação; na pecuária e na população.

Produto dos efeitos das relações entre as variáveis, o modelo está caracterizado, em síntese, por um laço de realimentação positivo (R). Isto significa que, a variação de um elemento se propaga em toda a sua extensão reforçando a variação inicial, gerando um crescimento exponencial do sistema a partir de onde toda a variação é amplificada provocando mais movimento na mesma direção. No caso da sustentabilidade dos recursos hídricos nessas bacias em estudo, torna-se um ciclo vicioso, que provoca uma piora do sistema, posto que foi evidenciado que as atividades produtivas exercem forte pressão sobre a oferta do recurso água, e a piora da qualidade da mesma.

4.2.2.2. Etapa de formalização

Nesta etapa se efetuou a formalização do diagrama anterior empregando para isto uma linguagem matemática. O ponto de partida foi a elaboração do diagrama de estoque e fluxo, por base ao qual se escreveu as equações do modelo.

4.2.2.2.1. Diagrama de estoque e fluxo

O diagrama causal do modelo (Figura 76) permitiu desenhar o diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas em estudo, que de forma mais detalhada descreve o funcionamento do sistema representado (Figura 77), tendo por base os dados da estação fluviométrica da Fazenda Barra da Égua (EFFBE).

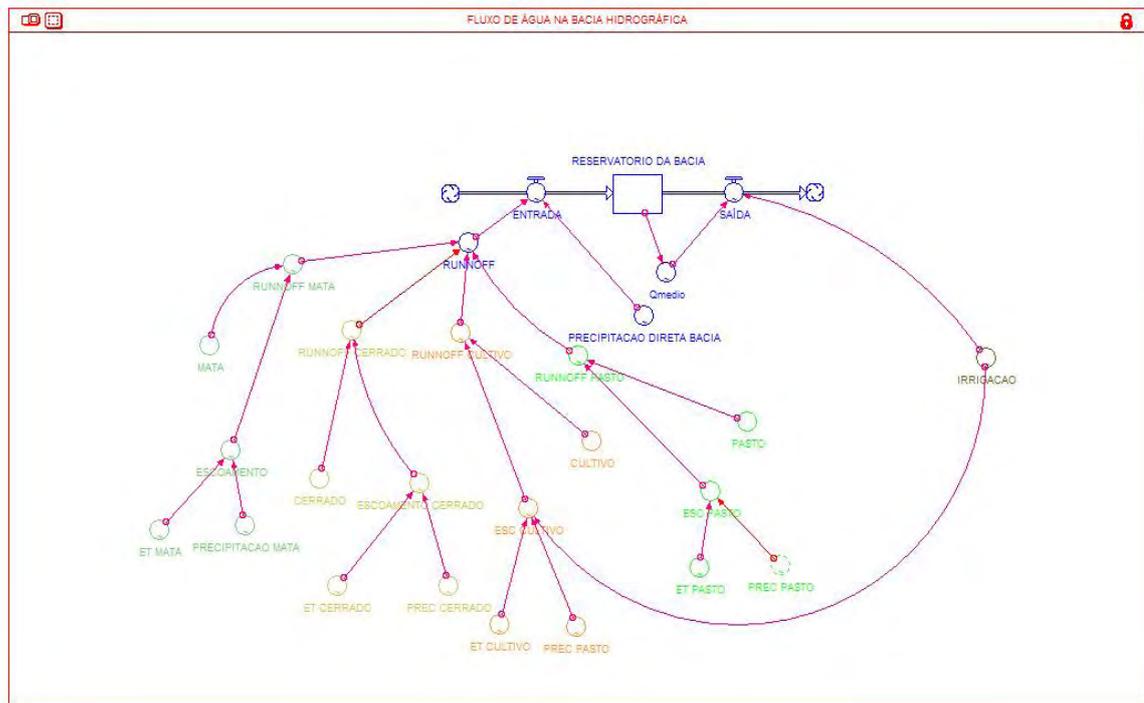


FIGURA 77 - Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

A conversão se deu da seguinte forma: uma vez representados no diagrama causal, os componentes principais do modelo de oferta e demanda de recursos hídricos das bacias (água, pastagem, mata, irrigação, cerrado, reservatórios, urbanização/população e agricultura/cultivo), assim como as relações principais existentes entre eles, que de forma abstrata é a base do enfoque do pensamento sistêmico, construiu-se e procedeu-se a sua formalização em linguagem de Dinâmica de Sistemas, auxiliados pelas ferramentas empregadas na construção de modelos que se elaboram a base deste enfoque. As estruturas básicas para o desenho do diagrama são os estoques e os fluxos (Figura 76).

Os estoques representam no modelo as acumulações de recursos e também as restrições destes. Representam as condições, informando como está a situação; e suas variáveis que acumulam trocas influenciadas pelos fluxos. Neste caso, os estoques constituem por um lado, a água limpa que se denomina “água” e representa a oferta hídrica do modelo; e por outro, nesse trabalho, foi considerado, principalmente, as áreas de “Cultivo” e “Irrigação”, determinam a demanda de água requerida pelos diferentes setores econômicos e sociais das bacias.

Os fluxos se representam com válvulas – identificam as ações que acumulam e, ou, esvaziam os estoques, e dizem como os fatos estão se desenrolando – são variáveis dependentes do tempo. Como se pode observar na Figura 77, neste modelo se tem os fluxos nomeados com taxas que são controladas pela (s) taxa (s) da (s) variável (is) em conexão, que usualmente é uma variável auxiliar ou uma constante, e

que estão alimentando a oferta hídrica. Esta oferta está constituída pelas águas superficiais (ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto) e seus respectivos escoamentos.

Por outra parte têm-se os fluxos que representam a demanda hídrica do modelo. Estes estão compostos pelos requerimentos de água dos setores agrícola, pecuário, população urbana e rural, e pela demanda ambiental, constituída esta última, pela vazão mínima que o rio deve ter, para manter a vida dos ecossistemas correspondentes - equivale a uma oferta mínima de água limpa. Neste estudo, será considerado vinte por cento (20%) da vazão média. Estas demandas têm um fluxo de saída que alimenta o estoque de água residual.

Os outros elementos do modelo evidenciados no diagrama causal, e que determinam os fluxos, se convertem em variáveis auxiliares ou constantes, tal como o consumo de água do setor agrícola, pecuário, populacional, entre outros.

As relações entre as variáveis, que no diagrama causal se estabelecem por intermédio de flechas, neste diagrama se indicam da mesma forma, sendo chamados de conectores. Estes vinculam os estoques e as variáveis auxiliares ou as constantes; os estoques aos reguladores de fluxos; e as auxiliares ou as constantes a outras auxiliares ou constantes.

4.2.2.2.2. Descrição matemática do modelo

Os modelos de dinâmica de sistemas são construídos por meio de um conjunto de equações diferenciais, que são matematicamente resultantes ao longo de um período por um algoritmo que gera comportamentos dependentes do tempo para as variáveis contidas no modelo. Nesse estudo, para se determinar a consistência dimensional do modelo, cuja equivalência se pode constatar durante todo o período da simulação e em cada um dos anos dos cenários avaliados, a seguinte equivalência foi verificada (Figura 78).

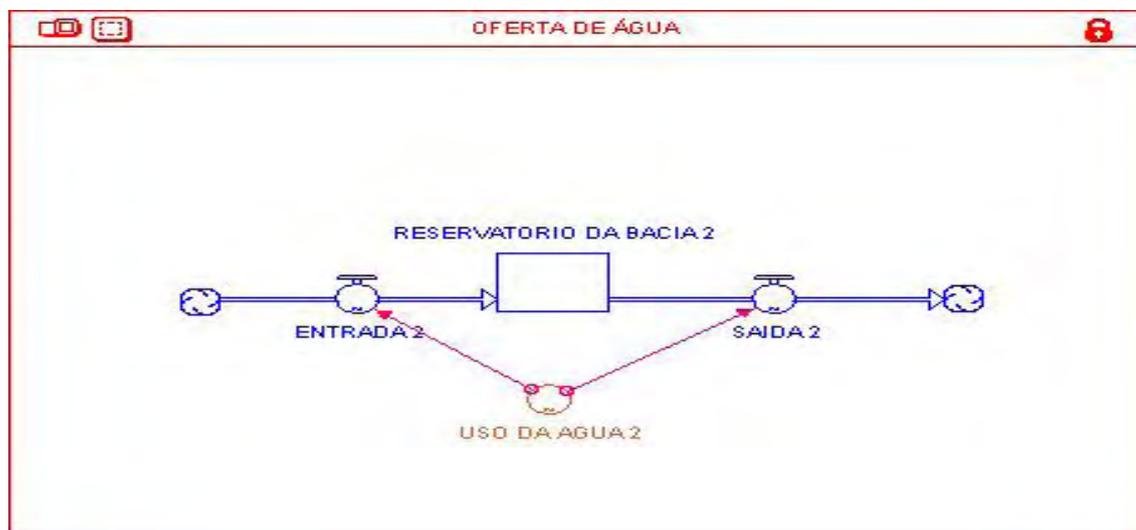


FIGURA 78 - Oferta de água igual à soma da demanda de água com a saída.

A seguir, serão apresentadas as equações necessárias à composição do modelo (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006). Todas as fórmulas estão embutidas no programa e não estão aqui relacionadas. Observa-se abaixo, algumas daquelas que foram utilizadas:

➤ **Estimativa da demanda de água (em milhões de metros cúbicos)**

$$D = DPOPULACIONAL + DAGP + DAMB \quad (1)$$

Em que:

D = quantidade total de água demandada;

DPOPULACIONAL = engloba por uma parte, a demanda urbana de água para consumo doméstico, e por outro, a demanda rural de água usada para os mesmos fins;

DAGP = demanda agrícola e pecuária de água;

DAMB = demanda ambiental de água.

➤ **Demanda ambiental de água**

A demanda de água para a proteção do meio ambiente e dos ecossistemas foi assumida como um valor constante. Para este estudo, se considerará igual a um volume mínimo registrado na estação pluviométrica sobre as bacias hidrográficas do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, denominada com o código 152 da rede existente no Estado de Minas Gerais que engloba uma série de cinquenta 50 anos (TEIXEIRA SOUZA, 1993). Na verdade, tomar-se-á como base a vazão mínima registrada nesse período.

➤ **Estimativa da oferta de água disponível**

$$S = SSUP + SRET \quad (2)$$

Em que:

S = oferta total de água disponível;

SSUP = oferta disponível de água superficial;

SRET = oferta disponível de águas de retorno.

Obs.: Poder-se-ia considerar 70% da $Q_{7,10}$ - critério adotado no Estado de Minas Gerais.

➤ **Índice de sustentabilidade**

É fundamental a criação desse índice, posto ser um dos critérios para avaliar se o funcionamento de um sistema de recursos hídricos se encontra com

confiabilidade, vulnerabilidade e capacidade de recuperação (XU *et al.*, 2002). Nesse estudo, foi implementado um índice de sustentabilidade (IS) definido como a relação entre um possível déficit de água com respeito à oferta correspondente na mesma região, com os seguintes critérios:

$$IS = (S - D) / S \quad \text{se } S > D \quad \text{e} \quad 0 \quad \text{se } S \leq D \quad (3)$$

Em que:

D = demanda de água;

S = oferta disponível de água.

Caso o valor de IS seja maior que 0,2, indica um baixo ou nenhum estresse na oferta de água, o que implica que a demanda de água é menor ou igual a 80% da oferta potencial de água. Valores menores a 0,2 refletirão condições de vulnerabilidade, o que supõe que a demanda de água é maior que 80% da oferta potencial de água. Valores iguais a zero indicam que a oferta de água é insustentável, o que sugere que a demanda de água é igual ou excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais.

O Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto representa um modelo de simulação explícita do sistema de Recursos Hídricos das referidas bacias. As equações "time", expressas como equações diferenciais implícitas no Modelo da água do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, encontram-se no ANEXO A.

Estruturas matemáticas implícitas nos modelos

Segundo DUVOISIN (2000), quando se observam a desintegração (variação) de uma substância radioativa, constata-se que o número de desintegrações por unidade de tempo é proporcional à quantidade de substância presente em cada instante. Assim X representa a quantidade de substância presente em cada instante t; a equação diferencial que representa o fenômeno é dada por $dx/dt = kx$ (4).

A equação dx/dt representa a variação instantânea (desintegração) sofrida pela substância e k representa o coeficiente de proporcionalidade, que é constante dependendo de cada tipo de substância radioativa. Portanto, na utilização de sistemas quantitativos de modelagem, surgem equações diferenciais, porém para transformar essas equações em linhas de programa, para ser modelada no computador o mais adequado é transformar as equações diferenciais em equações de diferenças.

Ao se analisarem as variações em um modelo simplificado, pode-se observar que a diferença entre as duas medidas sucessivas da substância é proporcional à

quantidade de substância existente na primeira medida, isto é: $X(t + \Delta t) - X(t) = KX(t)$ (5), onde $X(t)$ é a quantidade de substância medida no tempo t e $X(t + \Delta t)$ é a quantidade medida um tempo depois, ou seja, o tempo varia discretamente.

Pode-se observar que as leis de formação dos dois modelos são idênticas, embora em (4) seja uma equação diferencial e em (5) uma equação de diferenças. A analogia ocorre porque a derivada de uma função é definida como o limite de um quociente de diferenças

$$dX/dt = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta X / \Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [X(t + \Delta t) - X(t)] / \Delta t$$

e quando $\Delta t \rightarrow 0$, o caso discreto (equações de diferenças) aproxima-se de um limite que é o caso contínuo (equações diferenciais). Portanto, um mesmo problema pode ser analisado do ponto de vista das equações diferenciais, ou do ponto de vista computacional, usando-se as equações de diferenças. Para trabalhar com modelagem computacional, descrevemos a equação de diferenças em forma de conjunto:

$$\begin{aligned} t &= t + dt \\ dX &= K * X * dt \\ X &= X + dX \end{aligned}$$

que se repete de modo iterativo, a partir de um certo t e um certo x iniciais. Esta estrutura é chamada de exponencial e tem a seguinte representação semi-quantitativa (Figura 79).

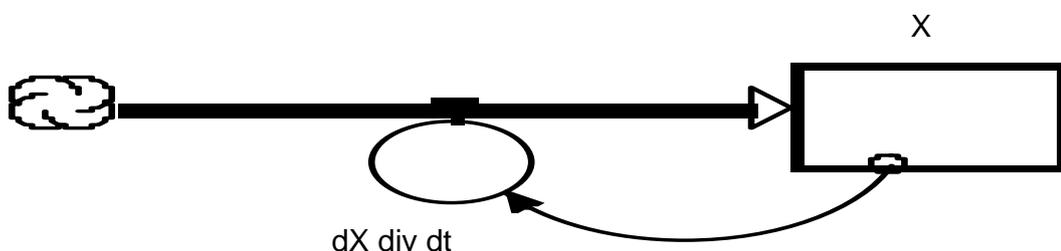


FIGURA 79 - Representação semi-quantitativa da equação de diferenças de crescimento exponencial. Fonte: DUVOISIN (2000).

A representação gráfica é a seguinte (Figura 80):

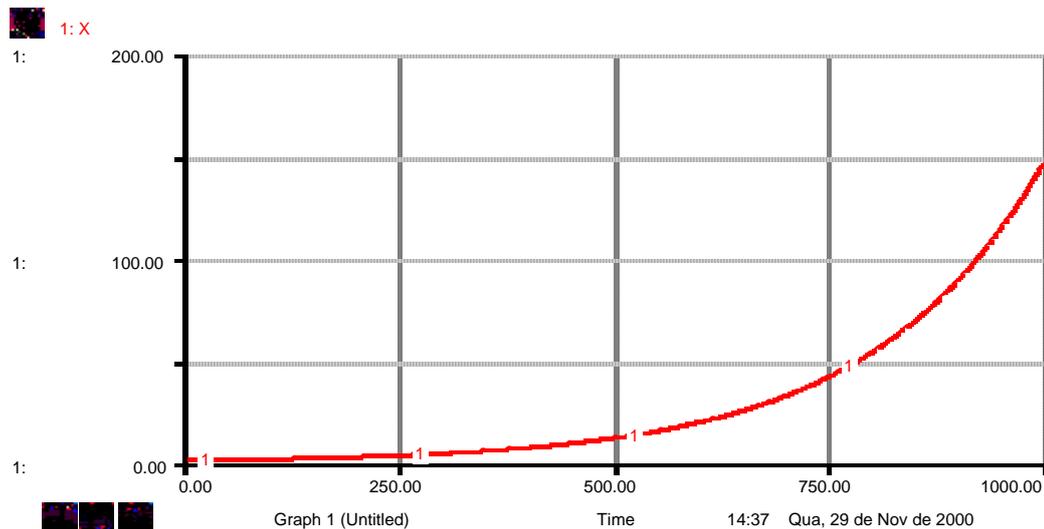


FIGURA 80 - Crescimento exponencial. Fonte: DUVOISIN (2000).

A equação diferencial pode ser assim solucionada analiticamente:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} [dX/x] = \int_0^t K^* dt \quad \Rightarrow \quad \ln X \Big|_{x(0)}^t = k^* t \Big|_0 \Rightarrow \ln X(t) - \ln X(0) = kt \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln X(t)/X(0) = K^*t \Rightarrow X(t)/X(0) = e^{k^*t} \Rightarrow X(t) = X(0) * e^{k^*t},$$

... cuja representação gráfica é idêntica ao modelo computacional utilizando equações de diferenças.

Outros modelos podem ser estudados, como por exemplo: processos lineares ou exponenciais construídas; ou processos que geram equações de segunda ordem; ou ainda processos logísticos de caos; cada um deles podendo ser trabalhado com equações diferenciais ou de diferenças. O Programa STELLA utiliza equações “time”, que se orientam por essa lógica.

4.2.3. Validação do modelo matemático

Os modelos de simulação dinâmica se prestam para a realização de descrições abstratas da realidade, tornando possível a representação de problemas complexos, caracterizados como dinâmicos e não-lineares. Nesses modelos existem relações de retroalimentação ou retardos (“delays”); ou seja, muitas vezes o impacto de uma política não aparece no momento em que é implementada; pode aparecer posteriormente, de forma temporal e, ou, espacialmente distribuído. O objetivo das simulações dos modelos é tornar evidentes as pressuposições conduzidas sobre o mesmo (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006).

Sobre esses aspectos, cabe considerar dois importantes conceitos - Cumulatividade e Sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente que são causadas por ações antrópicas em combinação com outras

ações do passado, presente ou futuras, podem de alguma forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região, a partir de processos interativos e sobreposições sucessivas de processos antrópicos (EPE, 2008).

Os efeitos cumulativos são entendidos como aqueles resultantes da simples soma de outros que vão se sobrepondo em diferentes escalas temporais e espaciais por interação, combinação e composição, de tal maneira que os efeitos gerados freqüentemente superam a simples soma dos impactos prévios isolados. Já os sinérgicos ocorrem de tal forma que os efeitos gerados a partir dessas interações, combinações e composições freqüentemente diferem da simples soma dos impactos prévios isolados (*ibidem*).

A sinergia ocorre, portanto, quando um impacto associado a um determinado recurso natural, tal como os recursos hídricos, potencializa efeitos sobre outros recursos e, ou, aspectos sociais, tais como a biota aquática, a irrigação, a pesca ou a qualidade de vida da população. Por este motivo, neste trabalho, as ações de identificação destes efeitos serão desenvolvidas de forma integrada à atividade anterior, por meio dos dados do trabalho de LATUF (2007); a partir dos cenários propostos nesse estudo, buscando identificar em quais destes cenários as mudanças climáticas e as alterações de uso das classes de solo, que produzirão novas demandas por “Água”, possam provocar impactos de caráter cumulativo e sinérgico.

Assim, para atingir da melhor forma possível esse objetivo, é importante que o comportamento real do sistema esteja reproduzido pelo modelo. Não obstante, como comentado por GECIC e MUNITIC (2006), ao elaborar um modelo, algumas características de sua dinâmica não são quantificáveis, razão porque os dados qualitativos e empíricos são usados, perdendo então a eficácia de testes de validação quantitativa. Como resultado dessa questão previamente exposta, levanta-se a necessidade de realizar uma validação qualitativa do modelo, procurando estabelecer de maneira prioritária, se este é útil para o objetivo proposto tal como sustentando por FORD (1999).

Para STERMAN (2000), os modelos não representam a realidade, razão porque sua veracidade não pode ser constatada: são suscetíveis de falsificação ou refutados de acordo com alguns testes ou teorias. É importante, então, e deve-se tornar prioridade, identificar o modelo que da melhor maneira alcance o objetivo do problema a ser estudado e determinado. Nesse contexto, torna-se prioritário identificar de forma clara e precisa o problema a ser estudado e contextualizá-lo a fim de especificar seus objetivos reais.

De acordo com FORRESTER (1990), na Dinâmica dos Sistemas, a validação dos modelos de simulação se julga de acordo com suas conveniências e utilidade. É preciso confiar em seu comportamento sob circunstâncias limitadas e de acordo com

um objetivo específico. Para RUTH e HANNON (1994), o modelo de simulação dinâmica deve somente capturar os fatores essenciais de um sistema real, sendo necessário abstrair os demais fatores. Sua validação deve ser considerada de acordo com a consistência lógica de sua estrutura interna.

Alguns testes e procedimentos são usados a fim de dar ao modelo de simulação dinâmica, maior confiabilidade, além de evidenciar suas limitações. Há de se considerar, em qualquer um desses testes: a) a padronização da documentação dos componentes do modelo; e b) a replicação do modelo e da disponibilidade de suas equações para revisões. Entre os que se destacam, podem-se citar (FORRESTER, 1990; FORD, 1999; STERMAN, 2000):

- Testes de Erros Mecânicos: usado na busca de erros mecânicos da simulação a fim garantir a estabilidade inicial;
- Teste de Robustez: refere-se às condições extremas e se aplica com o objetivo de se avaliar a consistência do modelo;
- Teste de Consistência Dimensional: análise dimensional das equações do modelo;
- Teste de Políticas: É usado para indicar e descobrir formas de mudar o desenvolvimento do sistema;
- Testes de Sensibilidade: analisa a solidez das políticas por intermédio da variação dos valores dos parâmetros do modelo;
- Teste do Limite: indica se os limites do modelo e os conceitos que o descrevem, representa de forma apropriada o sistema real sob o estudo.

Neste estudo, buscaram-se representar as inter-relações existentes da mudança das classes de uso do solo e suas influências sobre os fatores climáticos e os ecossistemas aquáticos, nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Por meio de uma análise do comportamento hidrológico, examinou-se se os recursos estão sendo usados de forma sustentável.

Este sistema é constituído por um conjunto de elementos organizados em torno do objetivo do ajuste e da distribuição da água para tornar possível a vida humana e dos demais componentes ambientais, bem como a produção agropecuária, visando à melhoria da condição sócio-econômica regional. Construiu-se o sistema, os elementos-chaves que o compõe foram previamente identificados, e se utilizaram os procedimentos anteriormente mencionados.

Considerou-se que a dinâmica do sistema é determinada pela demanda dos recursos hídricos, para satisfazer às necessidades da população e do setor agropecuário. Esta demanda compreende as necessidades de água nas citadas bacias e repercute de forma direta a sustentabilidade do sistema. Não se incluiu a demanda do setor industrial, que é muito reduzida. A demanda ambiental foi avaliada

posteriormente considerando a vazão mínima; ou 20% da vazão média. Para alimentar o modelo, entretanto, será utilizada a vazão média, por se entender que a bacia já está altamente antropizada e a vazão mínima, que normalmente é utilizada para a concessão de outorga, não representaria de forma adequada às propostas de sustentabilidade sugeridas por este estudo. Esse fato se justifica quando se analisa pelo lado da oferta, como no estudo realizado por LATUF (2007) durante o período de 1985-2000, onde se verificou que a “Precipitação Direta” na bacia e as vazões máxima, média e mínimas vêm sofrendo significativas reduções.

Durante todo o processo de simulação se conhece a quantidade de água requerida por cada setor frente à oferta de água disponível, embora só a “Irrigação” tenha merecido destaque e análise particularizada. Tomando como base os dados de 1995, o comportamento das demandas setoriais foi simulado até 2060, cujos resultados estão representados na Figura 81. Tais dados ilustram a quantificação da demanda da bacia, de acordo com os parâmetros especificados para cada uma das atividades nelas desenvolvidas.



FIGURA 81 - Simulação do uso da água (em porcentual) no período 1995-2060 para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

Analisando a tendência da curva da Figura 81, observa-se que as demandas hídricas estão aumentando na medida em que a população cresce e que se aumentam as áreas cultivadas. Para se ter a idéia do crescimento populacional, o município de Paracatu apresentava uma população de 6.304 habitantes em 1970, passando para 75.216 habitantes (63.014 de população urbana) em 2000 (IBGE, censos de 1970 e 2000). Em 2007, a população era de 79.739 habitantes (IBGE, censo de 2007).

Dessa forma, caso nenhuma medida regulatória, estruturadora ou indutora de comportamento seja adotada e implementada, observa-se na Figura 81 que no ano de 2011, aproximadamente, 35% da água disponível já estará sendo consumida; em

2027, aproximadamente 60%; ou seja, a tendência apontada pela simulação do modelo indica o consumo excessivo do recurso água.

Este resultado é coerente com a lógica de que na medida em que cresce a população e as áreas cultivadas irrigadas se intensificam, maior volume de água é requerido para satisfazer às suas respectivas demandas. Por outro lado, o crescimento populacional que tem estimulado o aumento das áreas de “Cultivo”, vem provocando a redução das áreas de “Cerrado”, como pode ser observado no Quadro 21, tendo como referência os dados de uso do solo da Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua (EFFBE), no período de 1985-2000.

QUADRO 21 - Uso do solo na área de drenagem da EFFBE no período 1985-2000

Uso do solo	Área (km ²)			Variação (%)	Cobertura das classes (%)	
	1985	2000	Diferença	85 a 00	1985	2000
Cerrado	635,23	332,55	- 302,68	- 47,65	39,93	20,90
Cultivo	154,68	461,09	+306,41	+198,09	9,72	28,98

Observa-se, no Quadro 21 que as áreas de “Cerrado” sofreram uma redução de 302,68 km² (- 47,65%), enquanto que as áreas de “Cultivo” sofreram um incremento de 306,41 km² (+198,09%) no período 1985-2000. Assim, pode-se esperar que ocorra ainda maior redução das vazões mínimas; ou seja, compromete a oferta de água necessária para se atender à demanda ambiental, e o índice de sustentabilidade, provavelmente, apontará a tendência da exaustão do recurso água.

Isso pode ser justificado pelo estudo realizado por LATUF (2007), quando se considerou as diversas classes de uso do solo, tais como “Urbanização” e “Cultivo” - foi verificado que com os seus incrementos se espera uma tendência de aumento das vazões máximas, devido à alta taxa de impermeabilização do solo. Ao mesmo tempo, observou-se que houve redução das vazões mínimas, devido à menor infiltração de água no solo e conseqüente deficiência na realimentação dos aquíferos. Observou-se, ainda, tendência de redução para as vazões médias - devido ao acelerado escoamento superficial nestas áreas, as precipitações foram convertidas em enxurradas.

Há de se considerar, ainda, para agravar essa situação, de acordo com COSTA *et al.* (2003), com a substituição de “Cerrado” ou “Mata” por “Pasto”, diminui a interceptação da água da chuva, o que aumenta o escoamento superficial e diminui a infiltração de água nestas áreas, causando uma redução das vazões média e mínimas e provocando o aumento da vazão máxima. Como agravante, considere-se que “Pasto” não consegue manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”, e como tem um dossel linear, diferentemente de “Mata” e “Cerrado”, a dinâmica do ciclo hidrológico será alterada em face da ausência de movimentos turbulentos dos ventos.

O mesmo pode ser esperado com relação ao uso do solo “Cultivo”: devido a este estar relacionado com uma menor proteção da superfície do solo, principalmente em cenários de mudanças climáticas com elevação de temperatura, possibilitará o aumento do encrostamento superficial e conseqüente aumentos de escoamento e da vazão máxima. Ao contrário, para as vazões média e mínimas, espera-se sua redução.

O processo de validação de um modelo baseado em Dinâmica de Sistemas tem como alvo principal estabelecer a sua validade estrutural com respeito aos objetivos para que ele fora construído: este é o aspecto determinante. Isto porque a intenção de um estudo conduzido sob essa ótica é servir de base para a avaliação de diferentes estratégias e políticas que permitam melhorar o desempenho do sistema (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006).

Contudo, aperfeiçoar o comportamento de um sistema, só tem sentido a partir do momento em que se tem a confiança na estrutura do modelo. Uma vez que este é construído de forma confiável, devem-se efetuar testes de validação, cuja ênfase deve ser orientada prioritariamente aos padrões da predição, mais do que a resultados precisos, particularmente, quando se trata de modelos projetados para fornecer uma visão de longo prazo do comportamento dos sistemas em estudo (BARLAS, 1996).

Baseado no trabalho de LATUF (2007) foi selecionado para a realização deste trabalho duas “Estações Fluviométricas” localizadas nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, respectivamente a estação Fazenda Barra da Égua (42435000) e Porto dos Poções (42600000). O principal motivo dessa escolha se deve ao fato de que ambas as estações representam as características das bacias onde se inserem: tem a maior área de drenagem; possui maiores conflitos pelo uso da água; e onde ocorreram as modificações mais significativas nas classes de uso do solo. Dessa forma, subsidiará posteriores associações entre modificações do uso do solo e comportamento hidrológico, devido ao seu maior percentual de cobertura de área de drenagem, além de estarem localizadas no ponto mais inferior de cada uma das bacias; ou seja, traduzem todas as modificações sofridas à montante.

Nesse estudo a calibração do modelo foi realizada por intermédio de determinados parâmetros para os quais existiam dados registrados no período 1985-2000. Nesta fase a dinâmica do crescimento da área cultivada (Figuras 82 e 83) e o crescimento da prática de irrigação (Figura 84) são comparados aos seus respectivos dados históricos (ANEXO B).

Verifica-se que o comportamento do modelo correspondeu de forma satisfatória aos dados disponíveis. Contudo, é importante assinalar, que nenhum modelo pode ser 100% validado. Isso porque as variáveis incluídas não podem ser precisamente quantificadas, e também, devido às suposições feitas sobre o comportamento

esperado dos parâmetros avaliados, posto que frequentemente possa diferir do que acontece, de fato, na realidade.

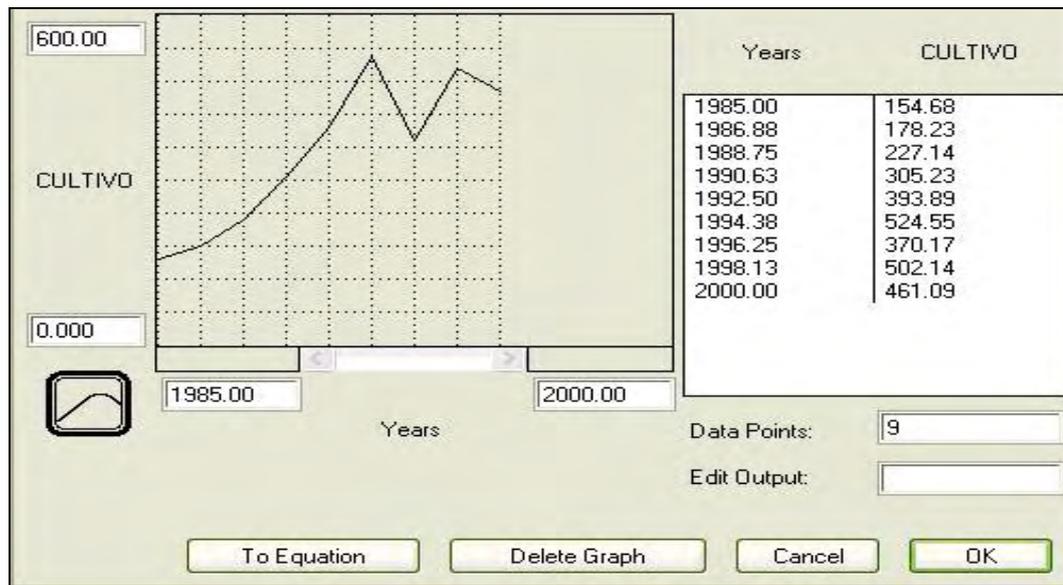


FIGURA 82 - Crescimento da área cultivada na área de drenagem da EFFBE no período 1985-2000. Fonte: Dados compilados dos Censos Agropecuários do IBGE de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

Observa-se na Figura 83 a tendência geral de crescimento das áreas cultivadas nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

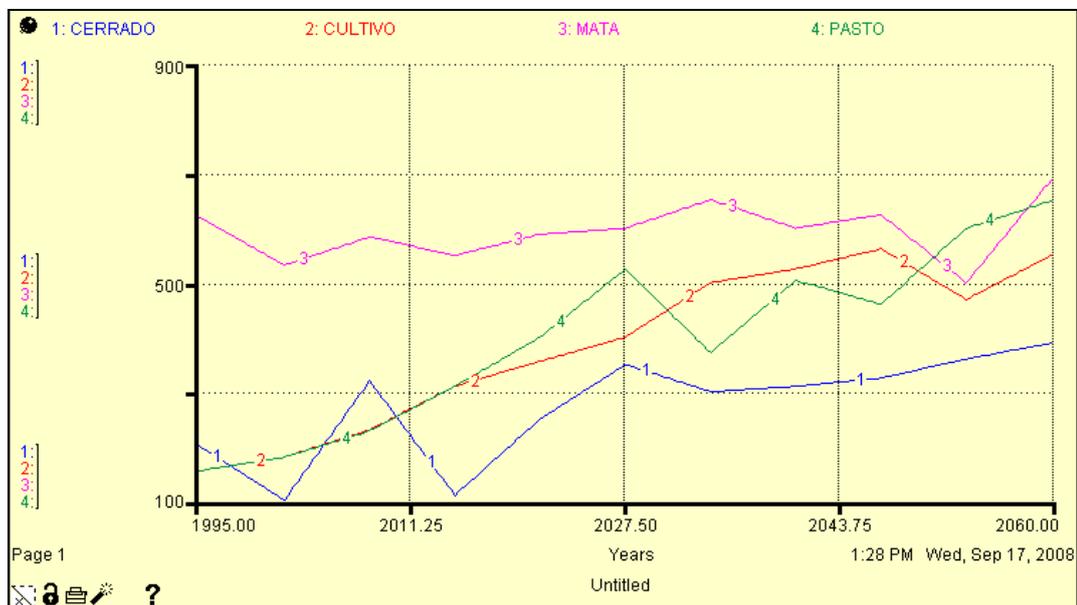


FIGURA 83 - Simulação para a dinâmica das mudanças das classes de uso do solo nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto período 1995-2060.

A Figura 84 reflete a tendência de crescimento das áreas irrigadas na bacia hidrográfica do rio Paracatu no período de 1970-1996.

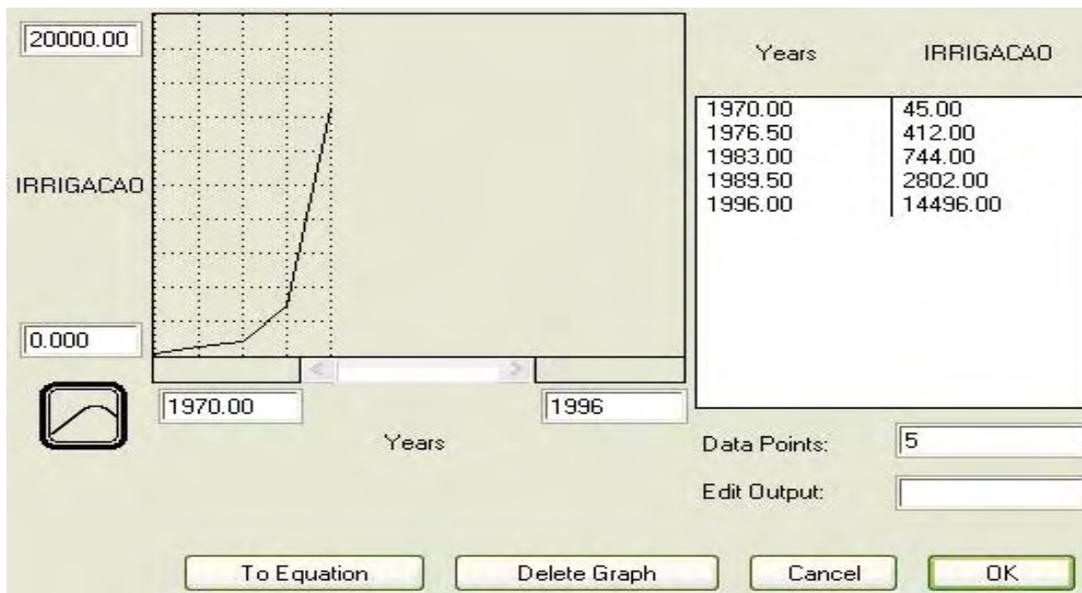


FIGURA 84 - Resultados consistidos do crescimento da área irrigada no Município de Paracatu no período 1970-1996. Fonte: Censos Agropecuários do IBGE de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

A validação em Dinâmica de Sistemas é uma prática realizada em cada etapa da modelagem, com o propósito de se detectarem falhas nos sistemas construídos. De acordo com FORRESTER e SENGE (1980); e BARLAS (1996), entre os procedimentos formais está a aplicação de testes orientados de comportamento estrutural, entre os quais se tem os testes de condições extremas, de sensibilidade e de relacionamento.

4.2.4. Etapa de simulação e aplicação do modelo

A escala temporal do modelo foi determinada de acordo com a natureza do problema e ao objetivo baseado no qual ele foi desenvolvido. Neste estudo, o objetivo principal foi o de avaliar as influências das mudanças do uso do solo sobre os ecossistemas aquáticos, em longo prazo, nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, tendo como base de dados a análise do comportamento hidrológico observado no período de 1985-2000 pelo estudo de LATUF (2007).

É necessário já ter uma perspectiva sistêmica dos recursos hídricos no longo prazo. Isso porque se escolherá um futuro, ainda distante e, de fato, apenas quando esse tempo chegar, será possível avaliar se estes recursos estarão sendo usados de maneira sustentável.

O processo de simulação do modelo compreende diferentes cenários de oferta e demanda de água, de acordo com as seguintes especificações:

- Horizonte temporal: se propõe a um horizonte de 65 simulações. Cada simulação é caracterizada por unidade/ano que determina um horizonte de tempo de 65 anos;
- Passagem do tempo ou etapa: a passagem do tempo é de uma unidade;

- Método da integração: se usam equações diferenciais para descrever as relações complexas na dinâmica do sistema, aquelas que são resolvidas por intermédio do método de Euler, que é usado mais frequentemente; e este caracterizou pela adaptação de um fluxo constante durante o passar do tempo ou etapa (STELLA, 2001).

Utilizando-se de uma interface amigável, como a que se apresenta na Figura 85, torna-se fácil a experimentação do sistema.

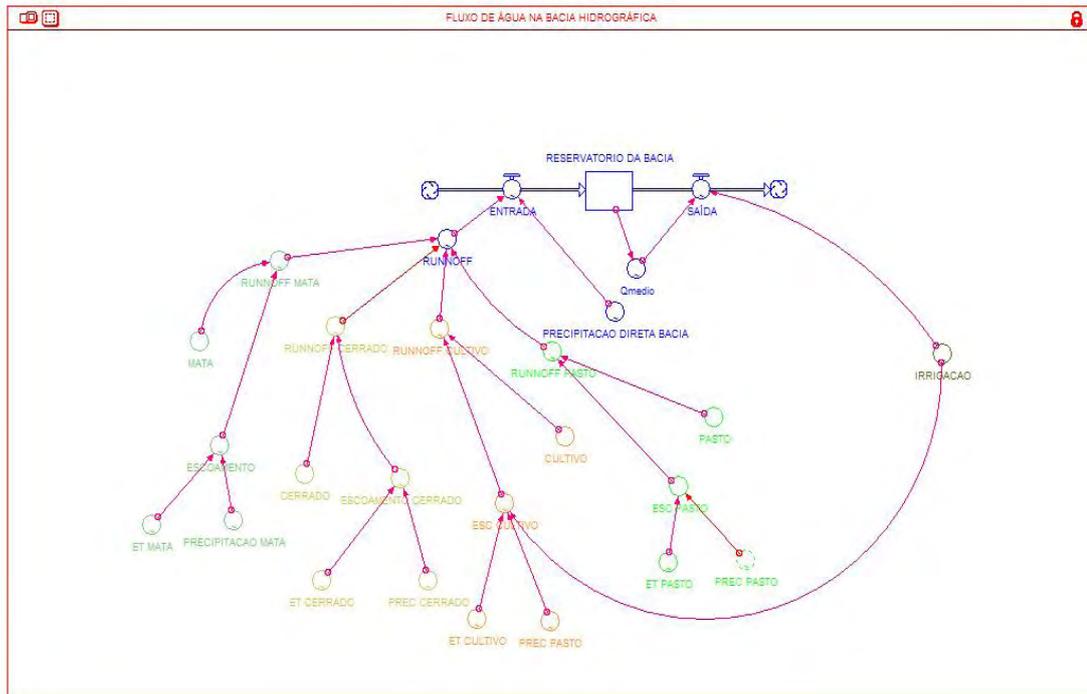


FIGURA 85 - Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

A Figura 85 apresenta o modelo representativo dos estoques e fluxos das bacias hidrográficas em estudo. Foi realizada a seleção dos componentes ou “entradas” mais importantes, onde se puderam configurá-los por intermédio dos ícones interativos, razão pela qual se tem um laboratório do sistema que permite simular políticas e cenários, a fim de descobrir novas idéias e a possibilidade da geração de novos questionamentos.

O modelo desenvolvido neste estudo foi usado para avaliar opções diferentes da exploração dos recursos hídricos para as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Estabeleceram-se diferentes cenários para analisar e avaliar o comportamento das demandas dos setores/atividades econômicas, sociais e ecológicas selecionados: “Cultivo”, “Cerrado”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Mata”, “Urbanização”, “Irrigação” e “Precipitação”. Também, foram analisados os efeitos causados por redução ou incremento da oferta de “Água”.

A partir da identificação do sistema em estudo e a definição do problema de forma concisa, precisa e clara, foi escolhido como horizonte de planejamento um período de sessenta e cinco (65) anos (1995-2060). A partir dos dados da realidade levantados sobre as referidas bacias, foram elaborados e examinados oito (8) CENÁRIOS (Quadro 22) que compreenderão futuros aumentos de demanda de água, bem como restrições ou aumento da oferta deste recurso, a fim de se avaliar a sustentabilidade do uso do recurso “Água” nessa região.

QUADRO 22 – Cenários propostos e avaliados

Cenários	Categoria	Descrição
1	Agronegócio	Agronegócio atual.
2	Mudanças climáticas	6,9% de aumento na precipitação e 1°C na temperatura média do ar (AZEVEDO <i>et al.</i> , 2005), <i>ceteribus paribus</i> .
3	Mudanças climáticas	Oferta de água reduzida em 20% (HADLEY CENTRE, 2008).
4	Mudanças climáticas	Oferta de água aumentada em 25% (Laboratório de Dinâmica dos Fluidos dos Estados Unidos, MASON, 2002); ou aumento da área de “Reservatórios”.
5	Mudanças climáticas	Aumento da temperatura em 1°C e acréscimo da precipitação em 5% (EMBRAPA, 2001).
6	Mudanças climáticas	Aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10% (EMBRAPA, 2001).
7	Mudanças climáticas	Aumento da temperatura em 5,8°C e acréscimo da precipitação em 15% (EMBRAPA, 2001).
8	Incremento da área irrigada	10% de incremento ao ano*.

* estimativa aproximada baseada na média dos aumentos verificados nas áreas irrigadas levantadas nos Censos Agropecuários de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, do IBGE, que ocorreram nos municípios que compõem as respectivas bacias em estudo.

CENÁRIO 1 - representa o modelo atual em que se desenvolve o agronegócio. Nele foram mantidas todas as tendências atuais de crescimento, de consumo e de oferta de água.

CENÁRIO 2 - contempla as previsões de mudanças climáticas proposta por AZEVEDO *et al.* (2005), onde se vislumbra um aumento de 1°C na temperatura média do ar e de 6,9% no aumento de precipitação. Portanto, aumento da oferta de água, assumindo-se que os demais componentes do modelo não apresentam variações, ou seja, *ceteribus paribus*.

CENÁRIO 3 - contempla as previsões de mudanças climáticas propostas pelo “Hadley Centre”, o qual sugere uma redução na oferta de água em 20%, devido aos diversos fatores alterados que poderão influenciar no clima.

CENÁRIO 4 - contempla as previsões de mudanças climáticas onde a oferta de água seria aumentada em 25%, sugerida pelo Laboratório de Dinâmica dos Fluidos

dos Estados Unidos, *apud* MASON (2002); ou uma elevação da oferta de água em função do aumento das áreas inundadas por “Reservatórios”.

Esse cenário tem um importante significado quando se consideram as alterações de precipitação ocorridas nas bacias, observadas por LATUF (2007). Nesse estudo, verificou-se que a redução das precipitações média diária anual (Pa) e do mês mais chuvoso (Pmc), influenciou na redução das vazões média e máxima. Dessa forma, o aumento das áreas inundadas poderá contribuir para aumentar o tempo de concentração da água na bacia, o que favorecerá a recarga dos aquíferos, aumentando as vazões mínimas e médias, além de reduzir as vazões máximas, contribuindo no controle de enchentes. Daí a importância de se trabalhar esse cenário que poderá ser uma contribuição futura para a regularização das vazões, o que permitiria o crescimento das áreas irrigadas.

CENÁRIO 5 - contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 1°C e acréscimo da precipitação em 5%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001).

CENÁRIO 6 - contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001).

CENÁRIO 7 - contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 5,8°C e acréscimo da precipitação em 15%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001).

CENÁRIO 8 - contempla um incremento das áreas irrigadas em 10% ao ano. Tal taxa de crescimento foi estimada baseada em uma média aproximada dos aumentos verificados nas áreas irrigadas pelos Censos Agropecuários de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, do IBGE, que ocorreram nos municípios que compõem as respectivas bacias em estudo, como pode ser observado no Quadro 23.

QUADRO 23 - Áreas irrigadas por município das bacias em estudo

Municípios	Área irrigada (ha)				
	1970	1975	1980	1985	1996
Formosa	39	787	4.169	4.110	1.874
Cabeceiras	0	229	47	15	805
Cabeceira Grande	-	-	-	-	-
Distrito Federal	1.151	2.086	3.812	5.538	12.591
Unaí	111	116	624	6.073	16.851
Natalândia	-	-	-	-	-
Dom Bosco	-	-	-	-	-
Bonfinópolis de Minas	0	2	0	217	1.937
Paracatu	45	412	744	2.802	14.496
TOTAL	1.346	3.632	9.396	18.755	48.554
Crescimento (%)		269%	258%	99,60%	258,90%

Fonte: Censos agropecuários 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

O modelo deste trabalho foi elaborado para simular diferentes cenários de disponibilidade de recursos hídricos. Teve o propósito de identificar, no longo prazo, a sustentabilidade do sistema sob cenários distintos: tanto concernentes ao abastecimento, como também com respeito às necessidades hídricas dos distintos setores sócio-econômicos e ambientais incorporados ao modelo. O modelo também poderá ser utilizado como uma ferramenta de análise dos impactos sócio-econômicos e ambientais que poderiam ocasionar diferentes alterações na oferta e demanda no desempenho do sistema.

O efeito do aumento da irrigação foi incorporado em todos os cenários propostos. Tal preocupação se deve ao fato de que esta atividade tem sido a que mais interfere no aumento da demanda de recursos hídricos das bacias em estudo. O crescimento das atividades agrícolas regionais tem incorporado, em condição crescente, como foi verificada no período de 1985-2000, a prática da irrigação. Esse cálculo passa a ter significativa importância dada à influência dessa atividade no acréscimo da produção, via aumento de produtividade.

Há de se considerar, se bem manejada, futuramente, a prática da irrigação poderia reduzir a pressão sobre as áreas da classe de uso do solo “Cerrado” – fator que mais influenciou na redução das vazões médias e mínimas. Contudo, a prática da irrigação tem servido para o cálculo das demandas hídricas desse setor, para que se possa estimar sua respectiva tendência.

Neste estudo, os setores industriais e agroindustriais não serão avaliados. Isso porque atualmente são pouco significativos na região em estudo, além de não se terem dados precisos sobre os seus volumes de produção. Contudo, de acordo com dados de toxicidade dos recursos hídricos regionais, já se observam problemas relacionados à poluição hídrica. Há de se considerar, que em face ao crescimento agropecuário e populacional que vêm ocorrendo nessa região, espera-se que em um futuro próximo estes setores aumentem a sua participação como resposta aos programas de estímulo à industrialização via incentivos fiscais, que visam à geração de renda e empregos para atender ao aumento crescente da população. Dessa forma, apesar dessa nova condição que se delineia, em função do baixo consumo de água apresentado por esses setores, optou-se pelas suas não inclusões no processo de modelagem.

Todavia, caso esse crescimento se manifeste, conhecendo a dinâmica que ocorre no modelo e as interferências que estes setores podem provocar, bastaria incorporar os seus dados ao modelo. Agindo dessa forma, espera-se que em um futuro próximo, e com os dados das produções industriais e agroindustriais disponíveis e confiáveis, se possa calcular de forma confiável as exigências hídricas anuais, por tipo de produto e pela quantidade de produção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Cenários elaborados para a bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros

Baseado no trabalho de LATUF (2007) foi selecionado para a realização do estudo dessa bacia a EFFBE - Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua (42435000). O principal motivo dessa escolha se deve ao fato de que essa estação representa as características da bacia onde se insere, além do fato de subsidiar posteriores associações entre modificações das classes de uso do solo, mudanças climáticas e comportamento hidrológico, devido ao seu maior percentual de cobertura de área de drenagem (41,15%) e por estar localizada no ponto mais inferior dessa bacia; ou seja, traduz todas as modificações sofridas à montante de onde está instalada. No Quadro 24 podem-se observar os dados de área e porcentagem da EFFBE em relação à área total do estudo.

QUADRO 24 - Porcentagem da área da estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua

Código	Estação Fluviométrica	Bacia	Área total (km ²)	Área de estudo (%)
42435000	Fazenda Barra da Égua	Ribeirão Entre Ribeiros	1.591	41,15

Fonte: Modificado de LATUF (2007).

Observa-se no Quadro 24 que a EFFBE apesar de cobrir apenas 41,15% da área total da bacia em estudo, das duas (2) estações fluviométricas existentes nessa bacia, é a mais representativa. Ou seja, a análise de seus dados foi bastante importante para se avaliar o funcionamento dos ecossistemas locais e suas inter-relações; ou seja, nos permitiu conhecer a dinâmica desses sistemas.

É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Sobre essas relações e as possíveis alterações surgidas nessa bacia em estudo, cabe considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente causadas por ações antrópicas em combinação com outras ações do passado, presente ou futuras, podem de alguma

forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região. Parece que essa condição está se dando nas atuais condições.

De acordo com Costa *et al.* (2003) e Bruijnzeel (1990), *apud* LATUF (2007), com a substituição de “Cerrado” e, ou, “Mata” por “Pasto” e, ou, “Cultivo”, diminui a interceptação da água da chuva. Neste sentido, com o solo mais exposto, ficará mais susceptível às ações da energia cinética associada às precipitações e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração tenderá a ficar reduzida. Tal fato acarretará em aumento do escoamento superficial, com redução da alimentação do aquífero, aumentando, desta forma, as vazões máximas e reduzindo as vazões média e mínimas. Segundo TUCCI (1998), quando o solo permanece protegido das ações de precipitações diretas sobre a sua superfície, o excedente de precipitação que não é evapotranspirado possui melhores condições de se infiltrar e o aquífero terá uma maior recarga, aumentando, neste sentido, as vazões médias e mínimas e reduzindo as vazões máximas.

É bom lembrar que se faz necessário os conhecimentos de quais classes de usos do solo se agregaram às áreas de outras classes para a análise das contribuições de evapotranspiração/precipitação. Para a EFFBE, LATUF (2007) constatou que o crescimento das áreas das classes de usos do solo “Mata” e “Cultivo” ocorreram, principalmente, em áreas de “Pasto” e “Cerrado”, respectivamente.

Merece destaque a redução das áreas de “Cerrado” nesta área de drenagem, que se deve ao avanço da fronteira agrícola, posto que a sua redução em 302,68 km² no período 1985-2000, 91,93% desse total se transformaram em áreas de “Cultivo”. A substituição das áreas de “Pasto” (-78,99 km²), 73,88% desse total se converteu em áreas de “Mata”, que nesse período do estudo, cresceu 73,58 km².

Com relação à classe de uso do solo “Reservatórios”, segundo RODRIGUEZ (2004), não houve a identificação de nenhuma grande barragem para este fim, sendo que há uma barragem de extenso espelho d’água, utilizada para fins de disposição de rejeitos de mineração, localizada dentro dos limites no município de Paracatu/MG. Neste sentido, o aumento identificado para este uso do solo é caracterizado por pequenas barragens provavelmente utilizadas como reservatórios utilizados para alimentação de sistemas de irrigação, principalmente, pivô-central.

Ainda, segundo essa mesma autora, evidenciou que na bacia do ribeirão Entre Ribeiros há conflitos de disponibilidade de água para atendimento da demanda de seus agentes consumidores, onde 92% da vazão consumida para a EFFBE são para o atendimento da demanda de irrigação nesta área de drenagem. Em outro estudo, MOREIRA (2005) evidenciou que para a bacia do rio Paracatu, em seu afluente ribeirão Entre Ribeiros, não há disponibilidade de água para atendimento de novas outorgas de concessão de direito de uso da água até 2010.

5.1.1. Cenário 1: agronegócio atual

Na primeira etapa se efetuou a simulação do CENÁRIO 1, que compreende o agronegócio atual. Este cenário não considera nenhuma variação nos demais parâmetros no modelo, mantendo-se, portanto, suas tendências atuais. Tal análise é importante posto que serviu de base para estudos dos demais cenários. Na Figura 86 observam-se as relações existentes atualmente no Cenário Agronegócio atual, tendo como parâmetros os dados levantados na EFFBE.

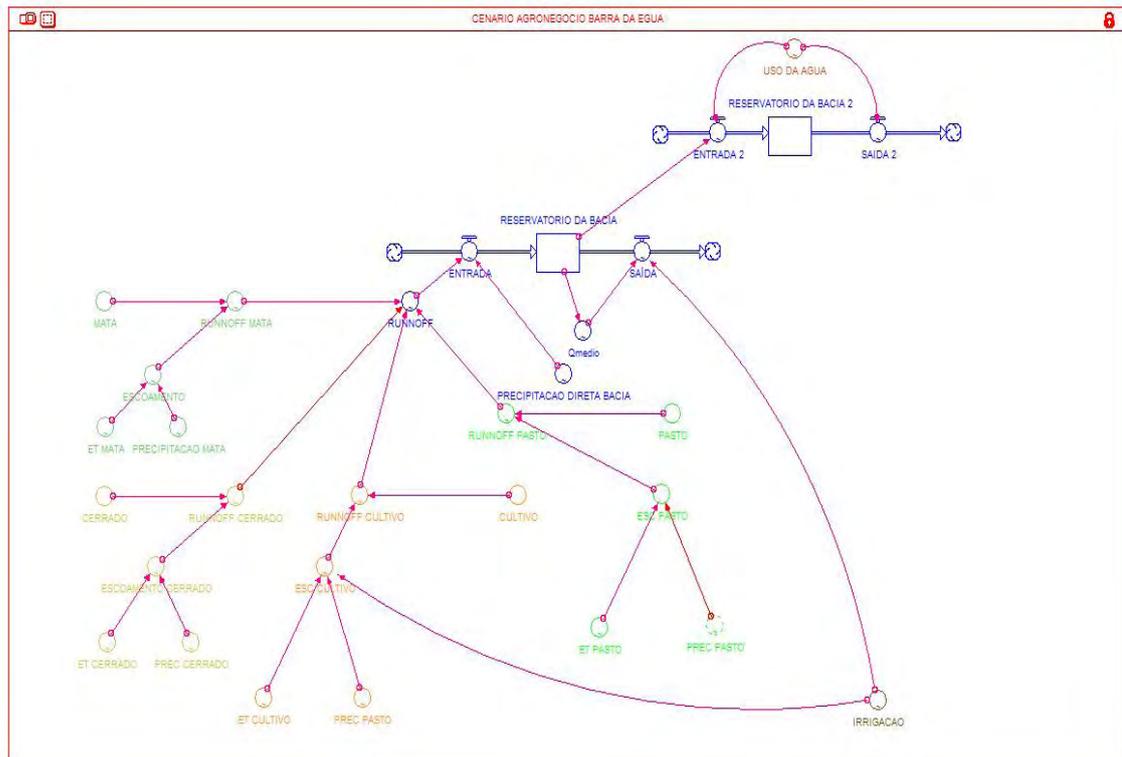


FIGURA 86 - Modelo de estoque e fluxo da água para o CENÁRIO 1.

Apesar dos dados acima serem apenas relativos à EFFBE, os parâmetros do CENÁRIO 1 refletem as tendências de crescimento econômico de longo prazo nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros. Isto pode ser percebido porque esta estação reflete o mesmo comportamento do uso das classes de solo dos principais parâmetros avaliados, no período entre 1985-2000, que as demais estações fluviométricas monitoradas na referida bacia hidrográfica (LATUF, 2007), como se pôde observar no Quadro 17 (página 163).

Uma das vantagens do programa STELLA é que este lança os resultados obtidos na forma de tabelas, gráficos ou figuras, como a Figura 87, que indica o comportamento das demandas de água pela irrigação no período analisado nesse estudo (1995-2060) na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

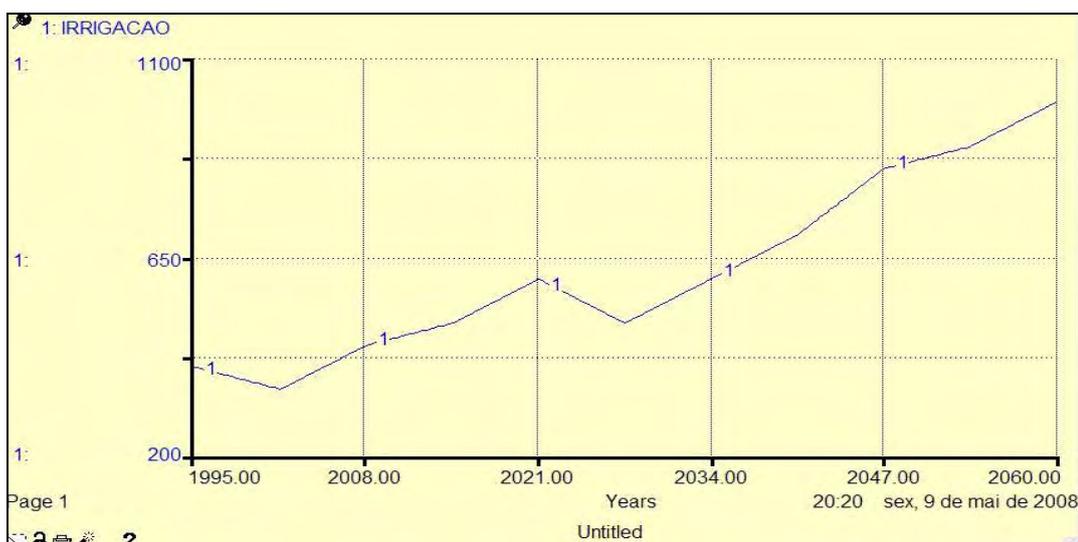


FIGURA 87 - Demanda de água para a atividade irrigação (mm ano⁻¹) para a bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros.

Considerando-se a demanda de água apenas para o setor “irrigação”, apresentado na Figura 87, no ano de 1995, de toda a oferta de água da bacia, essa atividade demandaria 400 mm ano⁻¹. Em função da redução da área cultivada, sofre pequena queda até o ano de 2001, quando volta a apontar tendência de crescimento até o ano de 2021, quando novamente sofre redução; a partir do ano de 2027 a tendência de crescimento acontece até o final do período analisado (2060). Nesse CENÁRIO 1, no ano de 2021 a demanda seria de 600 mm ano⁻¹; em 2047, de 850 mm ano⁻¹; e em 2060, 1000 mm ano⁻¹.

Considerando como exemplo o parâmetro “Precipitação do Cerrado”, que é o Bioma da região de estudo, e que a precipitação é a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, o modelo apontou os seguintes valores precipitados nos referidos períodos acima citados, respectivamente: 990 mm ano⁻¹, 780 mm ano⁻¹, 1.000 mm ano⁻¹ e 600 mm ano⁻¹. Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS), e se considerando apenas o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados (Quadro 25).

QUADRO 25 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros “Irrigação” e “Precipitação no “Cerrado”

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	400	990	0,59
2021	600	780	0,23
2047	850	1.000	0,15
2060	1.000	600	0

Verifica-se nesse CENÁRIO 1 onde se modela o “Agronegócio atual” que o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, apesar do IS ser de 0,23, significando que o sistema estaria utilizando 77% da oferta potencial de água, já apontaria para uma condição de vulnerabilidade, que ocorre quando a demanda de

água é superior a 80% da oferta potencial de água: nesse cenário ocorre no ano de 2038. No ano de 2047 o IS de 0,15 indica que o sistema já apresenta um forte estresse hídrico, posto estar consumindo 85% da oferta potencial de água. No ano de 2060 o IS é igual a zero; ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa estar ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração.

Considerando como exemplo o parâmetro “Precipitação Direta” na bacia, ter-se-iam os seguintes volumes nos referidos períodos acima citados, respectivamente: 1.230 mm ano⁻¹, 1.110 mm ano⁻¹, 800 mm ano⁻¹ e 1.000 mm ano⁻¹. Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS), e se considerando como demandante apenas o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados (Quadro 26).

QUADRO 26 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando os parâmetros “Irrigação” e “Precipitação Direta”

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	400	1.230	0,67
2021	600	1.110	0,46
2047	850	800	0
2060	1.000	1.000	0

Observa-se no ano de 2021, com o IS igual a 0,46, significa que o sistema estaria utilizando 54% da oferta potencial de água, bem acima dos 33% usados no ano de 1995. No ano de 2047 o IS é igual a 0 (zero); ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa estar ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração. Dessa forma, a insustentabilidade do sistema já estaria confirmada, mesmo se toda a água disponível fosse destinada apenas à atividade irrigação. Esse fato pode ser confirmado quando se analisam o uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFFBE (Figura 88).

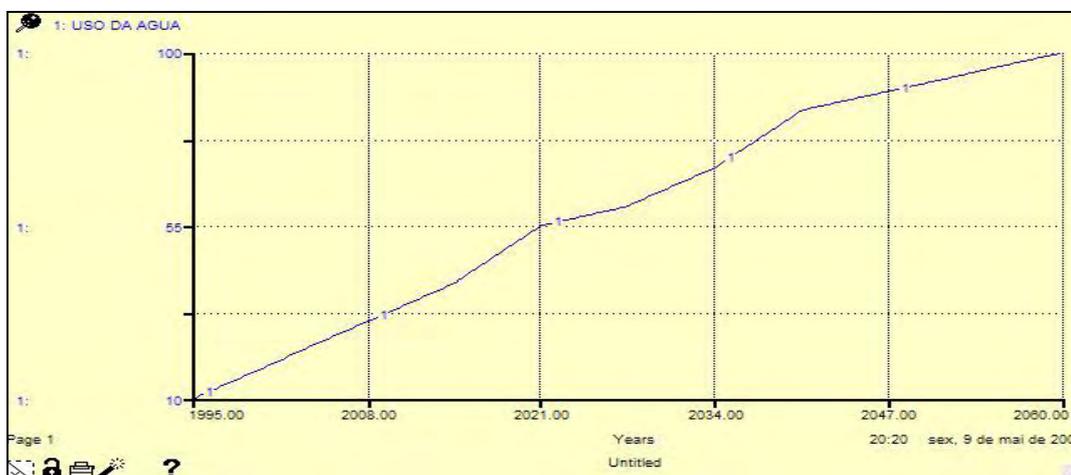


FIGURA 88 - Simulação para o uso da água no período 1995-2060 na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

Analisando a Figura 88, observa-se que em 1995 eram consumidos 10% do total de toda a água disponível da bacia. Em 2005 a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 25,38%; em 2010, a simulação aponta para um consumo de 33,08%; em 2015, para 41,15%; em 2025, para 58,46%; e em 2039, para uma demanda de 81,54% de toda a água disponível da bacia. Considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2039 aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. Para justificar essa tendência, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 89).

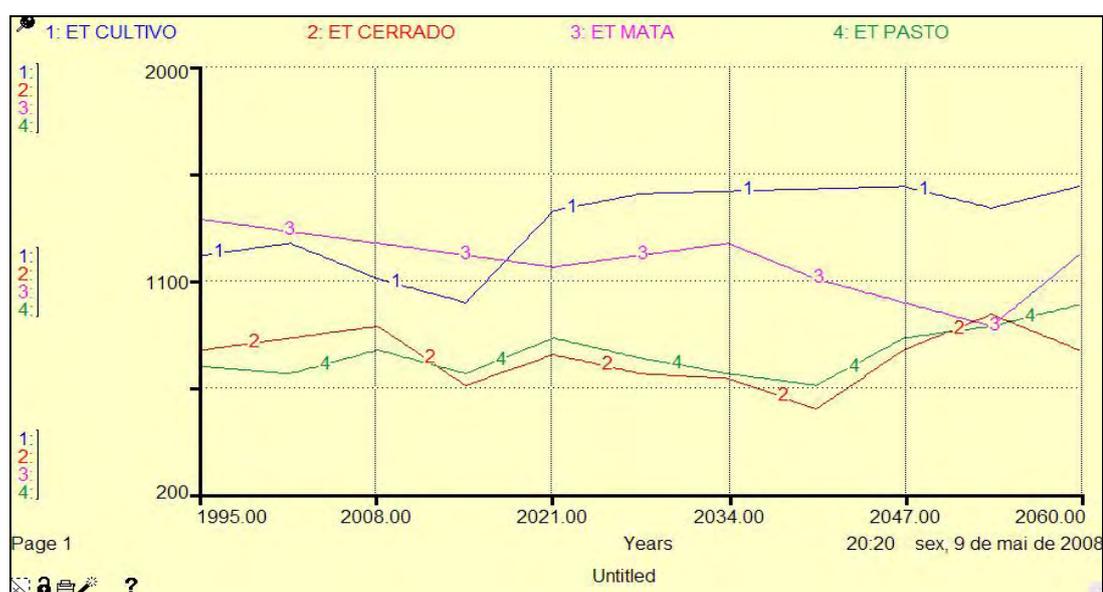


FIGURA 89 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060 na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.

De acordo com o estudo de LATUF (2007), no período de 1985-2000, as áreas de “Mata” sofreram um aumento de 11,86%; “Cerrado” uma redução de 47,65%; “Pasto” uma redução de 44,83%; “Cultivo” um aumento de 198,09%; e “Reservatórios” um aumento em sua área de 38,80%. Nesse CENÁRIO 1 verifica-se na Figura 88 que a maior contribuição para a evapotranspiração era a classe de uso do solo “Mata”, no período 1995-2017. Com o aumento das áreas destinadas à “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo. As áreas de “Cerrado” também apontam uma tendência de redução até o ano de 2040, quando volta a apontar crescimento até o ano de 2053, voltando novamente a decrescer.

É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Cerrado”, significa que esta classe de uso do solo está sendo substituída por outra classe que apresenta maior taxa evapotranspirométrica. Nesse caso, poderia ser

“Cultivo” e, ou, “Mata”. Há de se considerar, entretanto, que “Cultivo”, quando a área não é manejada adequadamente, com o decorrer do tempo, em função das alterações da estrutura do solo e redução do teor de matéria orgânica, entre outros, acarretariam na redução das taxas evapotranspirométricas.

Considerando que a partir do ano de 2053 a contribuição da evapotranspiração do “Cerrado” volta a decrescer, significa que a sua substituição se deu por “Cultivo”, que não conseguiu manter a elevada taxa evapotranspirométrica por condição inerente a essa classe de uso do solo, particularmente quando não são utilizadas práticas de conservação do solo adequadas. Caso tivesse sido substituído por “Mata”, em função da sua capacidade de retenção de água no solo, a situação seria inversa ao ocorrido. Avaliando a Figura 89 para a evapotranspiração, observaram-se as seguintes variações das categorias de classe de uso do solo em estudo (Quadro 27).

QUADRO 27 - Variação da evapotranspiração no período 1995-2060 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no CENÁRIO 1

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
Variação (%)				
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11

No Quadro 27 verifica-se um aumento significativo da contribuição na taxa da evapotranspiração das áreas de “Pasto” e “Cultivo”. Isso se justifica porque “Mata” substituiu 73,88% das áreas de “Pasto”, o que implica em maior evapotranspiração em face de suas peculiaridades; e “Cultivo”, que entrou em áreas de “Cerrado”, considerando a fase inicial que o solo ainda apresentava com suas características preservadas, passou a ter maior contribuição relativa nas taxas de evapotranspiração. A redução da contribuição da evapotranspiração da classe de uso do solo “Mata”, deve-se, provavelmente, à redução da precipitação e, ou, à sua substituição por “Pasto” e, ou, “Cultivo”. Relacionando-o à Figura 89, pode-se afirmar que, sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse cenário, e que houve significativa redução nas áreas de “Cerrado”, que é o Bioma da região e lhe confere a condição de homeostasia, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia, posto que “Cultivo” não consegue manter uma taxa de evapotranspiração aos mesmos níveis que “Mata”, e, ou, “Cerrado”.

Tal situação já havia sido observada no trabalho de LATUF (2007), onde os comportamentos das variáveis hidrológicas vazões máxima, média e mínimas, assim como a precipitação anual e a do mês mais chuvoso tiveram tendências gerais de redução ao longo do período analisado (1985-2000), aumentando os períodos de seca. A Figura 90 representa a precipitação na área de drenagem da EFFBE, onde se

observa a tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia persistirá até ao final do período analisado (2060).

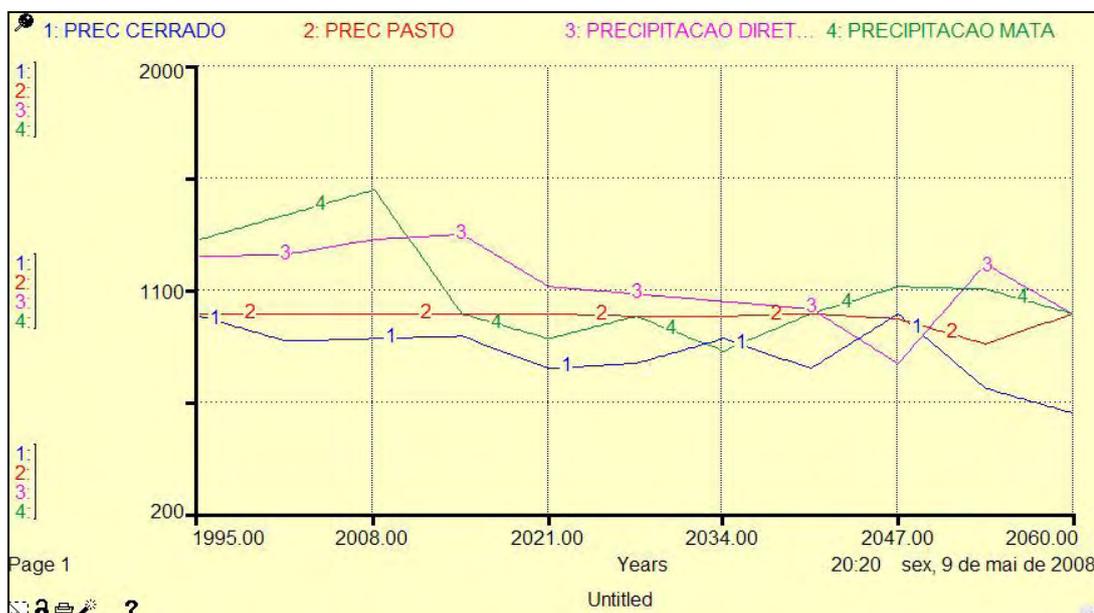


FIGURA 90 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no período 1995-2060.

Analisando de forma detalhada a Figura 90, observa-se que no ano de 2008, “Mata” contribuía com um volume de $1.500 \text{ mm ano}^{-1}$ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 998 mm ano^{-1} ; “Cerrado”, com 900 mm ano^{-1} , enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era de $1.300 \text{ mm ano}^{-1}$. Ou seja, a “Precipitação Direta” na área da bacia representa uma média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existente, desde que sejam mantidas as demais condições (*ceteribus paribus*). Cabe considerar, entretanto, saber existir influências externas que influenciam na precipitação local e regional.

Dessa forma, caso toda a bacia fosse coberta por “Mata”, em função de sua maior capacidade de retenção de água no solo, sua taxa de evapotranspiração seria mais elevada, e provavelmente ter-se-ia um maior volume de chuva na região em estudo, *ceteribus paribus*. Contudo, caso a categoria “Cultivo” continuasse a sofrer aumento de suas áreas irrigadas, como se observou na Figura 89, as taxas de evapotranspiração poderiam ser tão elevadas quanto “Mata”; para tanto, ter-se-ia de haver disponibilidade de água para irrigação, que não há, como foi verificada no Quadro 26.

Observa-se, no Quadro 28, que o volume da “Precipitação Direta” na bacia no ano de 1995 correspondia a $1.230 \text{ mm ano}^{-1}$; e no ano de 2060, $1.000 \text{ mm ano}^{-1}$; ou seja, uma redução de 18,70% na “Precipitação Direta” na bacia. Dessa forma, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas.

QUADRO 28 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 no CENÁRIO 1

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Variação (%)
1	1.230	1.000	- 18,70

Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, fica imprevisível qual seria o comportamento desse sistema. Por esta questão, serão avaliados cenários considerando os possíveis efeitos de alterações das classes de uso do solo e seus efeitos sobre os recursos hídricos, em cenários com a ocorrência de mudanças climáticas.

5.2.1.2. Cenário 2: acréscimos na temperatura (1°C) e na precipitação (6,9%)

Segundo NASCIMENTO (2007), as teleconexões e mudanças climáticas em geral influenciam os recursos hídricos porque alteram o clima e podem causar eventos extremos, como secas e inundações, levando ao aumento ou redução na vazão dos rios; no nível de evaporação da água contida no solo, da superfície das plantas e dos corpos aquáticos; na quantidade de água perdida por transpiração por diferentes espécies de plantas; na quantidade e distribuição de chuva; na água infiltrada no solo; entre outros.

A região em estudo vem sofrendo intensas modificações em sua paisagem dadas as constantes alterações nas classes de uso do solo. É sabido que as atividades antrópicas sobre o meio ambiente tais como a pecuária e a agricultura, alteram a dinâmica do clima. Considerando os efeitos cumulativos e sinérgicos das interconexões, do efeito estufa e da destruição da camada de ozônio, pode-se sugerir que os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco e de seus afluentes poderão ser afetados.

Há de se considerar que o clima - local, regional e global - resulta da interação entre diversas variáveis, tais como temperatura, pressão atmosférica e temperatura das águas superficiais dos oceanos. Essas e outras variáveis afetam, por conseguinte, a ocorrência de chuvas. Vários cientistas, em todo o mundo, concordam que as mudanças climáticas já afetam, e afetarão ainda mais, o ciclo hidrológico; mas os impactos e a capacidade de remediação destes, quando possível, ocorrerão de formas diversas nas diferentes regiões, como sugerido por GLEICK e KIPARSKY (2004).

Para se avaliar os possíveis efeitos das mudanças climáticas na região em estudo, o CENÁRIO 2 considera os efeitos de tais alterações, a partir dos acréscimos de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação, sugeridos por AZEVEDO *et al.* (2005). Tal análise será de relevante importância posto que servirá de base para estudos posteriores dos demais cenários onde se vislumbram maiores aumentos nas temperatura e precipitação.

Na Figura 91 observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 2, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFFBE. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3) onde será incorporado o aumento sugerido na precipitação.

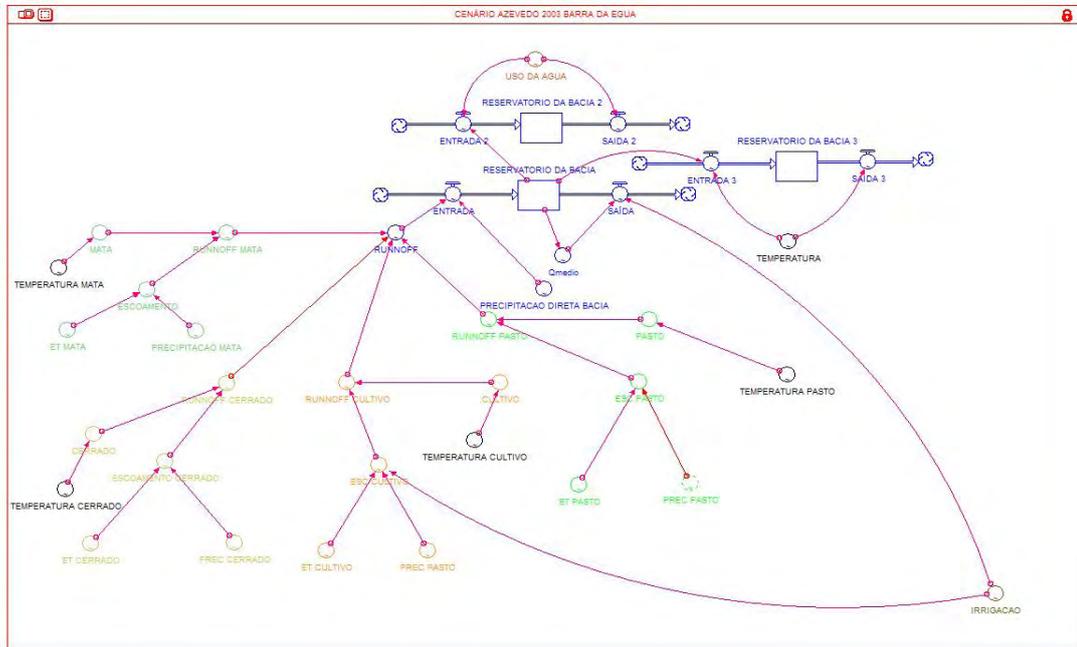


FIGURA 91 - Modelo de estoque e fluxo da água do CENÁRIO 2.

A Figura 92 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 2 - acréscimos de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação.

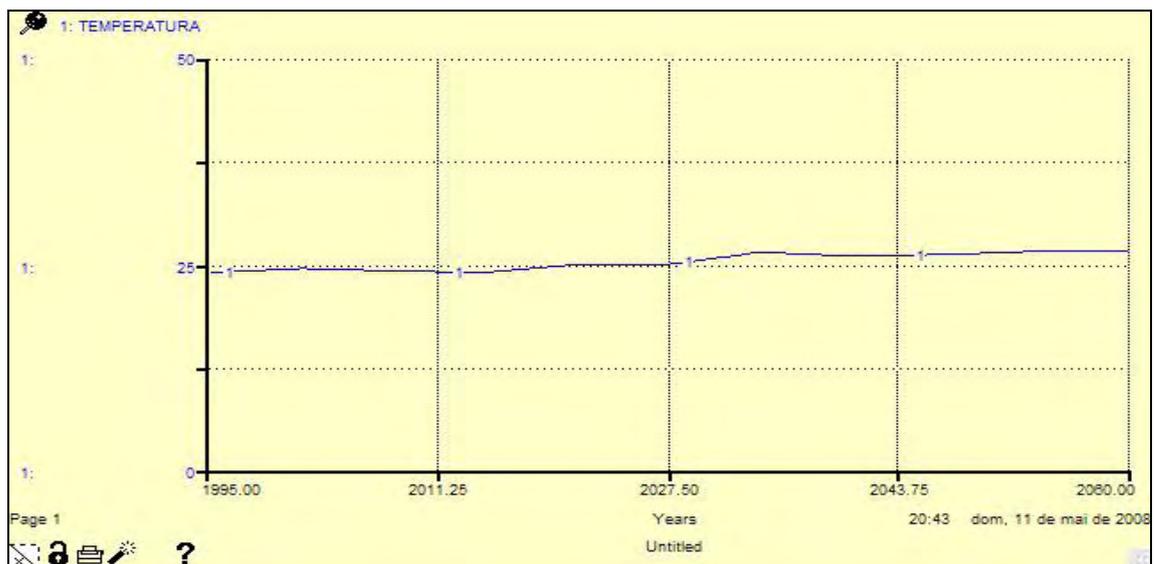


FIGURA 92 - Acréscimo de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação no CENÁRIO 2 na bacia do ribeirão Entre Ribeiros com dados da EFFBE.

Considerando a grande extensão do rio São Francisco e a diversidade de ambientes que compõem a sua bacia hidrográfica, a sua grande população, a geração

de hidroeletricidade, a irrigação e a diluição de esgoto, que figuram entre os maiores usuários dos recursos hídricos da bacia, tais efeitos poderão ser imprevisíveis e, ou, dramáticos, de acordo com a CBHSF (2004). Para se analisar os efeitos das teleconexões e mudanças climáticas, em geral, têm-se de pensar em duas situações (NASCIMENTO, 2007): escassez e excesso de chuvas – que, no caso do rio São Francisco, podem ocorrer conjuntamente em regiões distintas da bacia. Cabe lembrar que se faz necessário os conhecimentos de quais classes de usos do solo se agregaram às áreas de outras classes para a análise das contribuições de evapotranspiração/precipitação. Para a EFFBE, LATUF (2007) constatou para o período 1985-2000, que o crescimento das áreas das classes de usos do solo “Mata” e “Cultivo” ocorreu, principalmente, em áreas de “Pasto” e “Cerrado”, respectivamente.

No CENÁRIO 1 (Figura 90) observou-se que no ano de 2008, “Mata” contribuía com um volume de $1.500 \text{ mm ano}^{-1}$ do total precipitado na bacia; “Pasto”, com 998 mm ano^{-1} ; “Cerrado”, com 900 mm ano^{-1} , enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era de $1.300 \text{ mm ano}^{-1}$. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação (Figura 116), no ano de 2008, “Mata” passou a contribuir com um volume de $1.550 \text{ mm ano}^{-1}$; “Pasto”, com $1.098 \text{ mm ano}^{-1}$; “Cerrado”, com 910 mm ano^{-1} , enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de $1.320 \text{ mm ano}^{-1}$.

Observa-se que apesar da precipitação na “Mata” ter aumentado em 50 mm ano^{-1} , a “Precipitação Direta” na bacia aumentou em apenas 20 mm ano^{-1} ; ou seja, a “Precipitação Direta” ocorre em função da média da Evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existentes nessa área, *ceteribus paribus*. Pode-se avaliar que, mesmo tendo havido pequeno acréscimo da classe de uso do solo “Mata” (+11,86%) e o acréscimo de 6,90% na precipitação, tais situações não foram suficientes para influenciar na média direta precipitada na bacia, posto ao significativo crescimento da classe de uso do solo “Cultivo” (+198,09%) - essa classe de uso do solo não consegue manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”. Há de se considerar, ainda, que a classe “Cerrado”, reduzida em 47,65% ($-302,68 \text{ km}^2$), é o Bioma regional e representa condição de homeostase desse ambiente, foi substituída por “Cultivo” em 91,93% de suas áreas.

A Figura 93 representa a precipitação na área de drenagem do ribeirão Entre Ribeiros. Observa-se que essa tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia persistirá até o final do período analisado desse estudo (2060). Observa-se que o volume precipitado no ano de 1995 correspondia a $1.260 \text{ mm ano}^{-1}$; no ano de 2060, o modelo aponta para um volume de $1.069 \text{ mm ano}^{-1}$; ou seja, uma redução de 15,16% na precipitação.



FIGURA 93 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no CENÁRIO 2.

Outro aspecto importante a ser observado se refere à temperatura média do ar. Apesar de esta ter-se elevado em apenas 1°C , ao final do período analisado, a temperatura na “Mata” se elevou em $2,8^{\circ}\text{C}$ (Figura 94). Dessa forma, haverá maior perda de água por evapotranspiração, e conseqüentemente, maior seria a probabilidade de aumento das chuvas regionais, desde que a classe de uso do solo “Cultivo” não tivesse sido a com tendência de maior expansão na região.

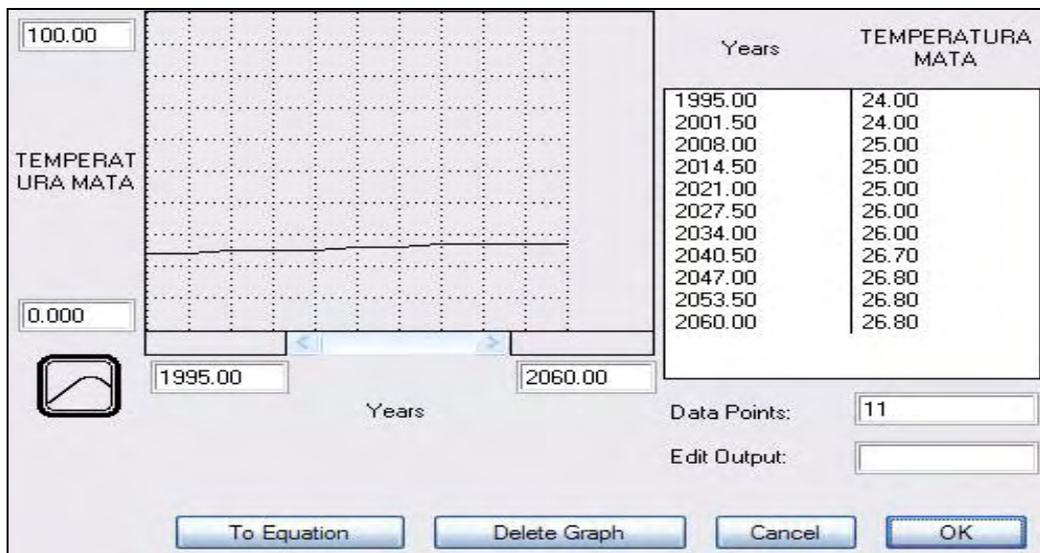


FIGURA 94 - Tendência de elevação da temperatura na “Mata” no período 1995-2060.

Outra importante observação se refere à característica relativa à perda de água por evapotranspiração. A maioria das espécies do Bioma “Cerrado” possui mecanismos que auxiliam no controle estomático, reduzindo a sua perda de água por evapotranspiração em condição de temperaturas elevadas. Várias dessas espécies, em seu processo de fixação de carbono, o fazem por meio do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM – *Crassulacean Acid Metabolism*). Este tipo de metabolismo

ocorre em plantas típicas de regiões áridas, com altas temperaturas diurnas, baixas temperaturas noturnas e baixo teor de água no solo. Nos vegetais que apresentam metabolismo C4, como o milho, a fixação do CO₂ ocorre nas células fotossintéticas presentes no mesófilo da folha. O carbono fixado na forma de malato migra para as células envoltivas da bainha onde ocorre então a liberação e refixação do CO₂ por intermédio do ciclo de Calvin (SOUZA, 2008).

Nas plantas do metabolismo CAM as fixações via fosfoenolpiruvato carboxilase e RuBisCO estão separados pelo tempo. Nessas plantas, a fixação ocorre durante a noite quando os estômatos estão abertos via carboxilação do fosfoenolpiruvato e acúmulo do malato, assim formado nos vacúolos. Durante o dia, os estômatos se fecham para minimizar a perda de água e o malato é transportado para o citossol onde é descarboxilado e o CO₂ é refixado pela RuBisCO. As vantagens dos metabolismos CAM e C4 sobre o C3 são: alta taxa fotossintética (dificilmente se atinge a saturação da fotossíntese); ausência de fotorrespiração; alta eficiência na utilização da água; alta tolerância salina; e baixo ponto de compensação para o CO₂ (*ibidem*).

Considerando que na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, os principais cultivos produzidos segundo os censos agropecuários realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística nos anos de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, são milho (C4), soja e feijão (C3), essas culturas teriam as suas produtividades alteradas. Isso porque a temperatura e a quantidade de água disponível ocasionam externalidades e impactos sócio-econômicos e ecológicos. Mudanças climáticas e teleconexões podem afetar a frequência e a intensidade desses eventos.

Para muitos pesquisadores esse cenário é bastante realístico. Estudos indicam que zonas áridas do nordeste do Brasil sofrerão ainda mais com secas resultantes das mudanças climáticas, se nada for feito para reverter o quadro atual (Marengo, 1992, *apud* HASTENRATH, 2006). Uma elevação da frequência e da área de ocorrência das secas afetará o acesso e a distribuição da água da bacia hidrográfica. A redução dos recursos hídricos poderá levar à ocorrência de desertos; causar a escassez de água para consumo humano, para outras espécies de animais e plantas; destruir ou reduzir a produção e a produtividade agrícola; aumentar a demanda de água para irrigação; incrementar a migração populacional para centros urbanos, entre outros.

A Figura 95 apresenta as alterações ocorridas na evapotranspiração na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Verifica-se que a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, no período de 1995 até o ano de 2016. No CENÁRIO 1 era até o ano de 2017; ou seja, a elevação de 1°C na temperatura média do ar e de 6,9% na precipitação, que fizeram com que a temperatura da “Mata” se elevasse em 2,8°C no período analisado (1995-2060), implicou em que o aumento da precipitação não tenha sido suficiente para que se mantivessem as mesmas taxas

evapotranspirométricas. Com a sua substituição por “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo, já no ano de 2016.

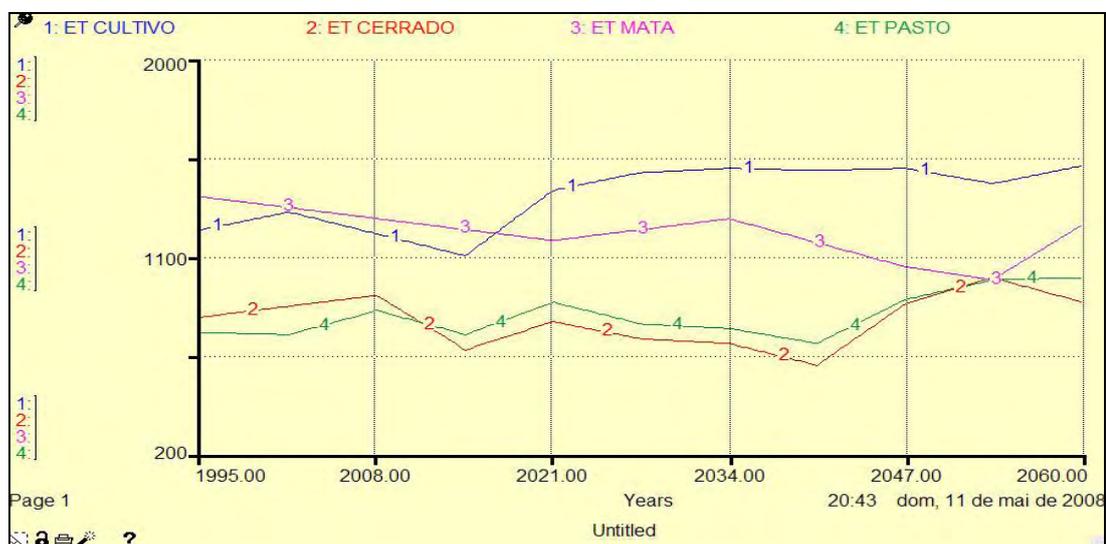


FIGURA 95 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060.

As áreas de “Cerrado” também apontam uma tendência de redução até o ano de 2040, quando volta a apresentar crescimento até o ano de 2053, decrescendo novamente até o final do período analisado (2060); ou seja, exatamente o mesmo comportamento apresentado no CENÁRIO 1. Como já comentado, o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Cerrado”, significa que esta classe de uso do solo está sendo substituída por “Cultivo”, principalmente (91,93%), e, ou, “Mata”, que apresentam maiores taxas de evapotranspiração (Quadro 5). O mesmo comentário pode ser feito para “Pasto”, que também está sofrendo as mesmas substituições, nesse caso, em 73,88% das situações por “Mata”. Avaliando os valores apresentados na Figura 95 para a evapotranspiração, observaram-se as seguintes variações das categorias em estudo, representadas no Quadro 29.

QUADRO 29 - Variação da taxa evapotranspirométrica no período 1995-2060 para categorias de classes de uso do solo nos CENÁRIOS 1-2

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
Variação (%)				
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,54	- 9,49

No Quadro 34 verifica-se uma variação significativa na contribuição das taxas evapotranspirométricas para as áreas de “Pasto” e “Cultivo” e moderada para

“Cerrado”. Por outro lado, o crescimento das áreas de “Cultivo” (+306,41 km²) implicou em redução da contribuição das áreas de “Mata” (apesar de ter ocorrido um aumento dessa classe de uso do solo em +73,58 km²), o que futuramente irá influenciar no clima regional. A redução da contribuição da evapotranspiração da classe de uso do solo “Mata”, deve-se, provavelmente, à redução da precipitação e, ou, à sua substituição por “Pasto” e, ou, “Cultivo” nas áreas anteriormente por ela ocupadas. Relacionando o Quadro 29 à Figura 95, pode-se afirmar que, sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse novo cenário, a tendência aponta para a redução da precipitação regional. Isso foi observado no trabalho de LATUF (2007), onde os comportamentos das variáveis hidrológicas vazões máxima, mínima e média, assim como a precipitação anual e a do mês mais chuvoso tiveram tendências gerais de redução ao longo do período analisado (1985-2000), aumentando os períodos de seca.

Sabe-se que a seca pode afetar, também, a geração de energia e o tamanho da população atingida, já que a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), principal empresa de geração elétrica da bacia, é responsável pelo abastecimento de energia das grandes capitais nordestinas (CHESF, 2004). A mudança nas características dos corpos aquáticos, como a elevação da temperatura e o aumento da salinidade devido à escassez e baixo nível da água, pode causar alteração na composição de ecossistemas, como a perda de espécies. O decréscimo da vazão na foz pode levar à entrada de água salgada do oceano Atlântico no rio São Francisco, destruindo habitats e espécies.

Por outro lado, poderia acontecer o caso de aumento da quantidade e frequência das chuvas, como sugerido em 6,9% nesse CENÁRIO 2, e como também já foi previsto por Marengo (1992) *apud* HASTENRATH (2006), que as mudanças climáticas podem alterar a intensidade das chuvas na região sudeste. Considerando que 73,5% da vazão natural média do rio São Francisco é proveniente do estado de Minas Gerais (MMA & SRH-MMA, 2006), dessa forma, a vazão do rio São Francisco seria elevada. Esse fato poderia influenciar o uso das estruturas construídas para a geração de energia e outras formas do uso da água e da terra da área. Mais chuva poderia levar a uma maior erosão na bacia, a maior entrada de sedimentos e outros elementos poluentes nos afluentes e no rio São Francisco, por exemplo, resíduos de agroquímicos. A poluição das águas poderia elevar os custos para limpeza e tratamento de água pelas empresas de distribuição (NASCIMENTO, 2007).

As espécies aquáticas poderiam ser prejudicadas pela destruição dos habitats, pelo aumento da quantidade de sedimentos e conseqüente turbidez da água, além da redução da penetração da luz necessária as espécies que precisam desta para realizar a fotossíntese (MASON, 2002). Populações ribeirinhas sofreriam

com inundações, perdendo as produções das várzeas e casas; especialmente porque as companhias hidroelétricas, provavelmente, precisariam abrir as comportas para permitir a passagem da água e reduzir o perigo da destruição das estruturas (CHESF, 2004; ANEEL, 2005).

Por outro lado, o crescimento no volume de chuva, em outras regiões da bacia, poderia aumentar o potencial agrícola que hoje depende de irrigação em áreas interioranas e semi-áridas (de Minas Gerais e do Nordeste), se a água chegasse a áreas apropriadas; e poderia elevar a capacidade de produção de energia elétrica, que hoje é abaixo do potencial instalado (*ibidem*). A Figura 96 apresenta a tendência de uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFFBE.

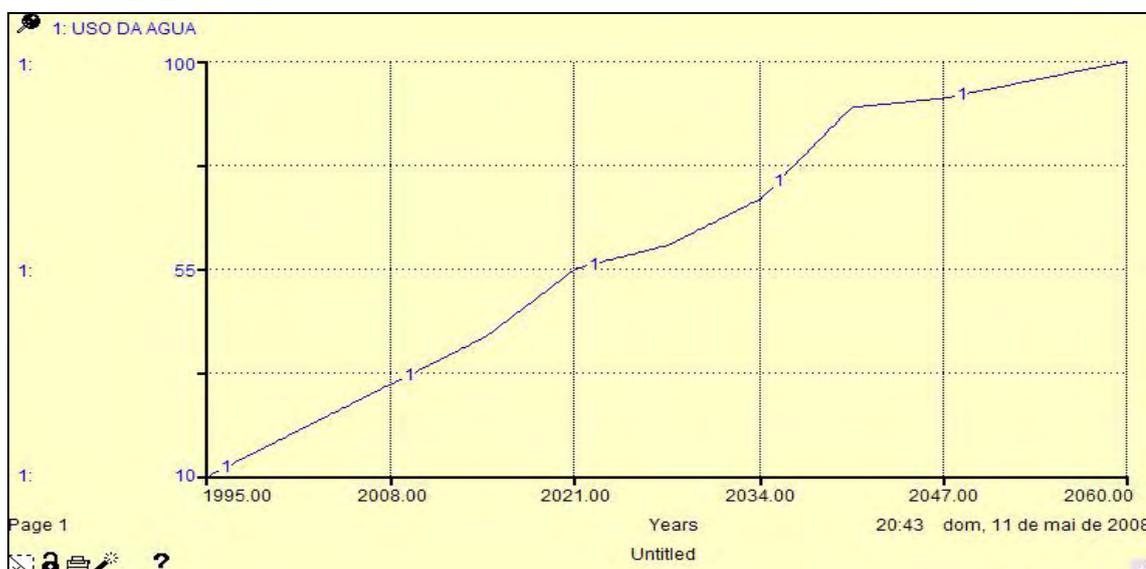


FIGURA 96 - Simulação para o uso da água no período 1995-2060.

No CENÁRIO 1 (Figura 88) observou-se que em 1995 eram consumidos 10% do total de toda a água disponível da bacia. Em 2005 a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 25,38% da disponibilidade hídrica total da bacia; em 2010, um consumo de 33,08%; em 2015, 41,15%; em 2025, 58,46%; em 2034, 70%; em 2039, 81,54%; e em 2047, para uma demanda de 90% de toda a água disponível da bacia. Quando se analisa o consumo de água no CENÁRIO 2, observa-se que até o ano de 2034 a demanda pelo recurso água é idêntico; mas a partir desse ano, o consumo começa a aumentar: em 2039 a demanda por água já representa 85% e, em 2047, 92% de toda a água disponível da bacia.

Observa-se que quando se comparam os consumos do ano de 2034, a diferença entre os CENÁRIOS 1 e 2 chega ser de 3,46%, e em 2047 essa diferença cai para apenas 2%. Tal fato pode ser explicado pela evapotranspiração no CENÁRIO 1, em 2034, para "Cultivo", era de 1.470 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, nesse mesmo ano de 2034, a evapotranspiração era de 1.500 mm ano⁻¹. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 6,9%, sugerindo que havia aumentado a oferta de

água, houve estímulo ao incremento das áreas de “Cultivo”. Contudo, em função do aumento da temperatura, a taxa evapotranspirométrica aumentou, e como “Cultivo” não consegue reter e armazenar água no solo tal como “Mata”, fez com que a oferta real de água na bacia não se elevasse.

Na verdade, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 15,16% (1.260 mm ano⁻¹ para 1.069 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060). Dessa forma, a partir do momento em que se percebeu tal tendência, novamente o uso da água foi reduzido. Quando se compara com o CENÁRIO 1, observa-se que o volume precipitado no ano de 1995 correspondia a 1.230 mm ano⁻¹ e no ano de 2060, 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 18,70% na precipitação. Como se pode observar no Quadro 35, verifica-se no CENÁRIO 2 que em função da elevação da temperatura em 1°C e com o aumento de 6,9% na precipitação, a redução no volume precipitado direto na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1.

QUADRO 30 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 nos CENÁRIOS 1-2

CENÁRIO	Ano	1995 (mm ano⁻¹)	2060 (mm ano⁻¹)	Varição (%)
1		1.230	1.000	- 18,70
2		1.260	1.069	- 15,16

Na análise do Quadro 30 justifica-se tal comportamento em função do aumento da temperatura que provocou a elevação das taxas evapotranspirométricas, aumentando o volume precipitado no CENÁRIO 2. Contudo, ao longo do período analisado (1995-2060), observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia foi reduzida. Tal fato se deu, provavelmente, em função da mudança do uso do solo, de “Cerrado” para “Cultivo”, que não consegue manter a mesma taxa evapotranspirométrica em face das operações realizadas no preparo do solo, que causam a sua compactação e aumentam as perdas de água por escoamento superficial, implicando em menor capacidade de armazenamento de água no solo e pela perda da condição de homeostasia proporcionada pelo “Cerrado”, influenciando na redução das vazões média e mínimas.

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2039, no CENÁRIO 2, aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico (IS = 0,20). Há de se considerar que a bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do volume e da distribuição das chuvas. Dessa forma, aí está a importância de se prever o comportamento hidrológico a partir de mudanças climáticas, que poderá elevar a

necessidade de escolha entre usos, por exemplo, irrigação ou geração de energia, proteção da vida aquática ou diluição de esgoto.

As políticas públicas destinadas à administração dos recursos da bacia terão que levar em consideração essas questões e ter em mente a necessidade de existência de diversos cenários para tentar se adaptar às mudanças climáticas. A água doce não tem substitutos para a maioria dos usos e, segundo VOROSMARTY e SAHAGIAN (2000), o seu ciclo tem sido diretamente influenciado por mudanças antrópicas para atender as necessidades humanas, como no caso de irrigação e hidroeletricidade.

O problema maior é que esses fatos estão também associados a outras variáveis, como mudança climática e as teleconexões. Esses fatos podem ser melhor entendidos quando se utiliza a modelagem com base na ciência Dinâmica de Sistemas. Para isso, será avaliado um novo cenário a partir de mudanças climáticas, mas com redução de 20% na oferta de água.

5.1.3. Cenário 3: mudança climática com redução na oferta de água em 20%

O CENÁRIO 3 analisa os efeitos de mudanças climáticas considerando uma redução da oferta de água em 20%, sugeridos pelo HADLEY CENTRE (2008). Na Figura 97, observam-se as relações existentes no CENÁRIO 3, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFFBE. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3), onde será incorporada a redução sugerida na oferta de água.

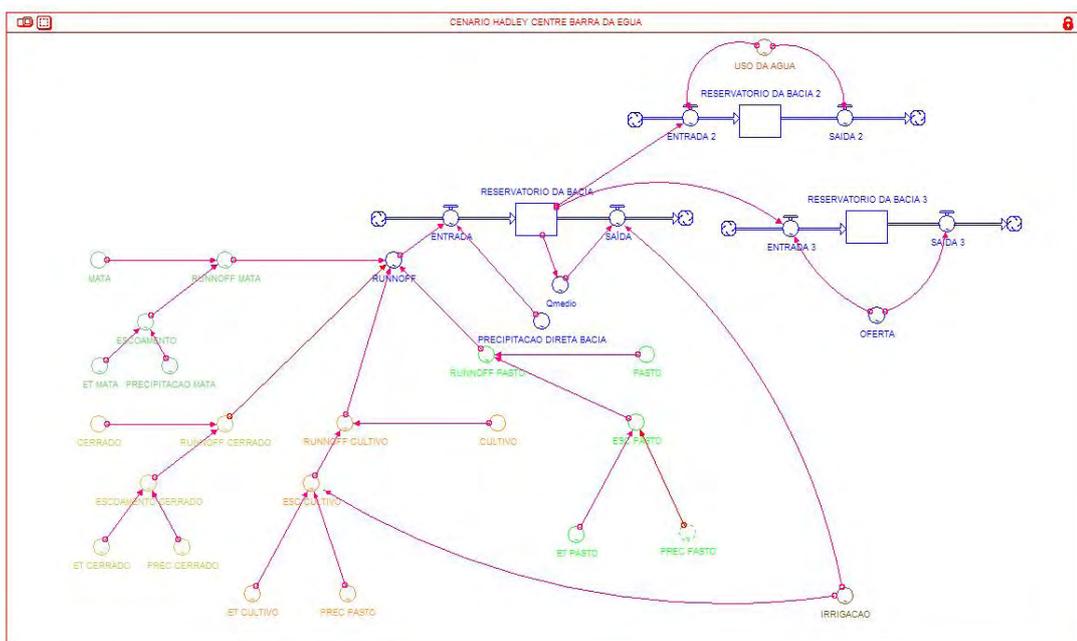


FIGURA 97 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 3.

A análise desse cenário poderá se estender, também, para uma condição onde ocorra a redução da oferta de água em função do aumento de sua demanda. Essa situação dar-se-ia em função do aumento das áreas irrigadas e da redução da “Precipitação Direta” na bacia. A oferta poderia aumentar, por exemplo, com a construção de “Reservatórios”. Na Figura 98 observa-se a curva da oferta de água no período 1995-2060 na área da EFFBE.

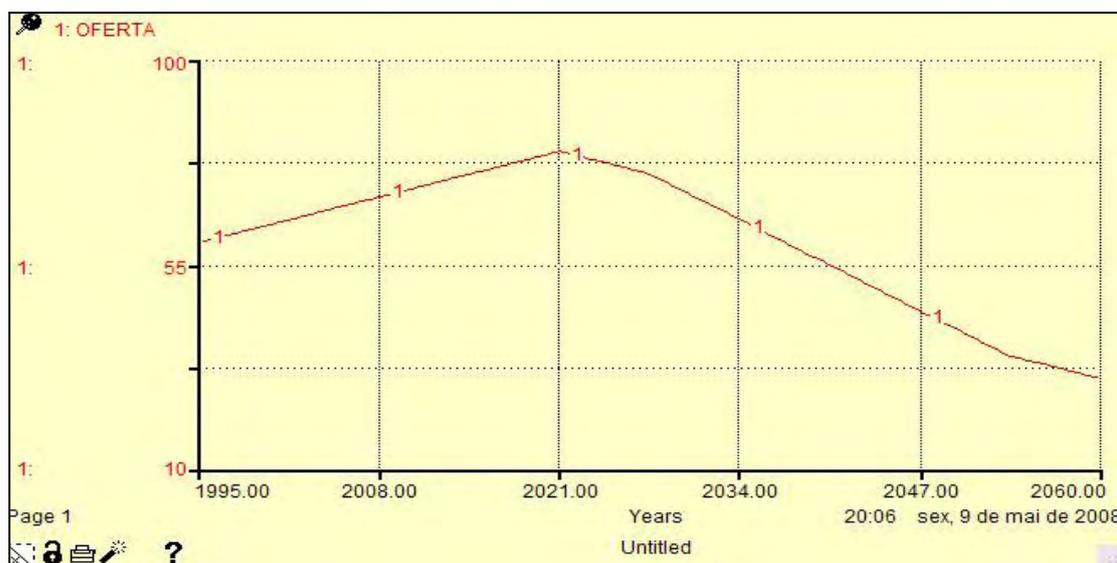


FIGURA 98 - Oferta de água reduzida em 20% na bacia do ribeirão Entre Ribeiros a partir dos dados da EFFBE no período 1995-2060.

Observa-se que em 1995, 60% do total de água da bacia estavam disponíveis para ser ofertado; ou seja, uma redução de 20% do total disponível, considerando como sendo 80% o máximo admitido. Como a demanda por água na bacia é crescente (Figura 99), a curva aponta a elevação da demanda até atingir 80% da oferta total de água disponível no ano de 2021. A partir desse limite, em função da demanda ambiental, dessedentação animal, consumo humano, entre outros, caso a demanda permaneça em elevação, o sistema entra em colapso por sobre-exploração, que nesse CENÁRIO 3, foi exatamente o acontecido.

Dessa forma, a partir do ano de 2021, a oferta começa a ser reduzida: talvez por influência de mudanças climáticas, que com a elevação de temperatura e as mudanças das classes de uso do solo “Mata” (percentualmente em relação à área total) e “Cerrado” por “Cultivos”, acabou resultando em redução da “Precipitação Direta” na bacia, como consequência da redução da evapotranspiração local; ou talvez pela crescente demanda pela atividade de “Irrigação”.

Como resultado final, no ano de 2060, o total ofertado é de apenas 30% do total disponível na bacia, com relação ao ano de 1995. Ou seja, uma redução de 30% na oferta de água, em função de mudanças climáticas ou de demandas excessivas como para a prática da irrigação, fez com que o sistema entrasse em estresse,

fazendo com que a oferta fosse, de fato, reduzida de 60% do total disponível da bacia para apenas 30%. Tal análise ganha sustentação quando se analisa a Figura 122, que ilustra a curva de demanda de água no período analisado (1995-2060) na área de abrangência da EFFBE. Verifica-se que demanda por água na bacia apresenta crescimento constante – condição que aponta para a vulnerabilidade do sistema.

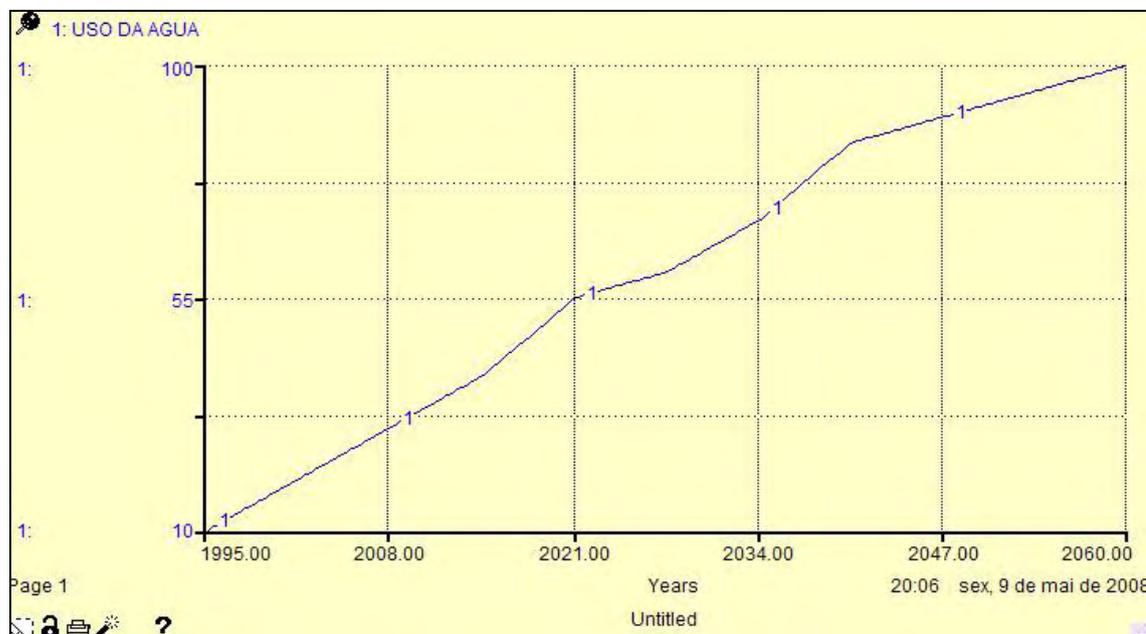


FIGURA 99 - Demanda de água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros no período 1995-2060.

Analisando a tendência da curva da Figura 88 (CENÁRIO 1), observa-se que as demandas hídricas estão aumentando na medida em que se aumentam as áreas de “Cultivo”. Verificou-se que o sistema era insustentável. Nesse CENÁRIO 3, quando se analisam as curvas de demanda e oferta em um mesmo gráfico, como na Figura 100, observa-se que, também, o sistema é insustentável.



FIGURA 100 - Demanda e oferta de água no ribeirão Entre Ribeiros no período 1995-2060.

Considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da sua oferta potencial, o ano de 2039, no CENÁRIO 1, apontava para a condição em que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. Nesse CENÁRIO 3, como houve redução na oferta de água em 20%, esse época é antecipada para o ano de 2027, mas já crítico em 2021. Determinando-se o Índice de Sustentabilidade (IS), em uma simples relação oferta/demanda, têm-se os seguintes resultados (Quadro 31).

QUADRO 31 - Índice de sustentabilidade (IS): relação oferta/demanda no CENÁRIO 3

ANO	DEMANDA (%)	OFERTA (%)	IS
1995	10	60	0,83
2011	35	72	0,51
2027	60	75	0,20
2028	61	74	0,17
2032	68	68	0

Verifica-se que, mantidas as alterações das classes de uso do solo e a demanda crescente por água para atividades antrópicas, o sistema se tornará insustentável. No CENÁRIO 1, o IS era igual a zero no ano de 2060, nesse CENÁRIO 3, em 2032. Justifica-se essa tendência de redução, observando-se dados relativos à evapotranspiração (Figura 101).

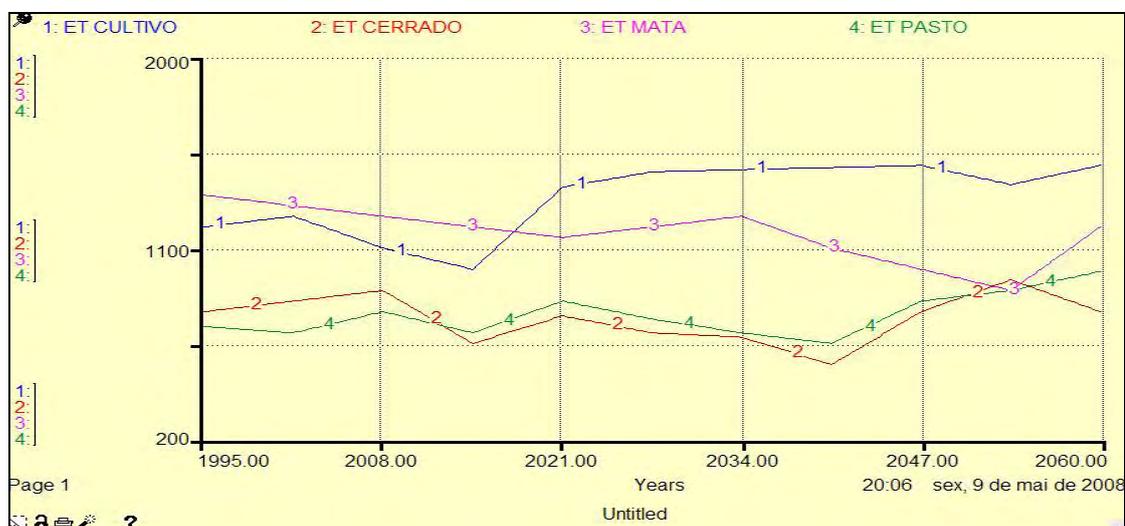


FIGURA 101 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 3.

Verificou-se no CENÁRIO 1 (Figura 89) que a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, no período 1995-2017. A partir do ano 2017, “Cultivo” passa a ser o principal contribuinte na evapotranspiração da bacia. As áreas de “Cerrado” também apontam uma tendência de redução até o ano de 2040, a partir de quando apresenta crescimento até o ano de 2053, voltando a decrescer. Tais condições se repetem nesse CENÁRIO 3 (Figura 101).

Como comentado no CENÁRIO 1, sendo “Cultivo” a principal responsável pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia, posto que “Cultivo” não consegue manter uma taxa de evapotranspiração aos mesmos níveis que “Mata”; além de ter rompido a condição de homeostasia por ter substituído o Bioma regional “Cerrado”. Avaliando os valores apresentados na Figura 101 para a evapotranspiração, observaram-se as seguintes variações das categorias em estudo (Quadro 32).

QUADRO 32 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-3 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
Variação (%)				
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,54	- 9,49
CENÁRIO 3	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11

No Quadro 32 verifica-se um aumento significativo da importância das áreas de “Cultivo” para o volume evapotranspirado. Sabe-se que o crescimento dessas áreas implicou em redução percentual relativa das áreas de “Mata”. Relacionando-o à Figura 101, pode-se afirmar que, sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse novo cenário, a tendência aponta para a redução da precipitação regional. É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Pasto”, significa que esta classe de uso do solo está sendo substituída, nesse caso, por “Mata” e, ou, “Cultivo”, que apresentam maiores taxas de evapotranspiração. Mas como o crescimento de “Cultivo” foi muito superior a “Mata”, +198,09% e +11,86%, respectivamente, a evapotranspiração total foi reduzida, influenciando na “Precipitação Direta” na bacia.

No Quadro 32 observa-se que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 3 sofreram maiores variações percentuais que no CENÁRIO 2, com exceção do “Cerrado”, significando possivelmente que nessa área a substituição foi por “Pasto” e, ou, “Cultivo”, em face da menor contribuição na taxa evapotranspirométrica. Caso tivesse sido por “Mata”, provavelmente ter-se-ia verificado variação como no CENÁRIO 2. Ou seja, considerando que as maiores variações na evapotranspiração se deram nas categorias de classe de uso do solo “Pasto” e “Cultivo”, e considerando a redução percentual com relação à área total na classe de uso de solo “Mata”, é de se esperar a redução da “Precipitação Direta” na bacia. De fato, a “Precipitação Direta”

na bacia sofreu uma redução de 18,70% (1.230 mm ano⁻¹ para 1.000 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060).

Como se pode observar no Quadro 33, verifica-se no CENÁRIO 2, mesmo em função das mudanças climáticas, a redução na “Precipitação Direta” na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1; e no CENÁRIO 3 os valores foram idênticos ao CENÁRIO 1.

QUADRO 33 - Variação da precipitação no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-3

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.230	1.000	- 18,70
2	1.260	1.069	- 15,16
3	1.230	1.000	- 18,70

De forma inesperada, mas já levantada anteriormente, o CENÁRIO 3 - que analisou o comportamento do sistema onde haveria uma redução de 20% na oferta de água – apresentou um volume de “Precipitação Direta” na bacia inalterado com relação ao CENÁRIO 1 – “Agronegócio atual”; ou seja, provavelmente confirma a teoria levantada de que a redução da oferta de água se deu em função do aumento da sua demanda para a atividade de irrigação; ou ainda, que nas condições do CENÁRIO 1 existiam uma tendência na redução da oferta de água em função das mudanças climáticas já existentes.

A Figura 102 representa a “Precipitação Direta” na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Observa-se que a tendência de redução do volume precipitado persistirá até o final do período analisado desse trabalho (2060).



FIGURA 102 - Comportamento da precipitação (mm ha⁻¹) no período 1995-2060.

Quando se comparam os dados de precipitação e de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1 e 3, verificam-se que são idênticos; ou seja, sugere que a oferta de água

reduziu em função do aumento da demanda por água, decorrente do crescimento das áreas irrigadas. Apesar das áreas da classe de uso do solo “Reservatórios” ter sido aumentada (+38,80%, segundo LATUF (2007), para o período 1985-2000), não foi suficiente para aumentar a oferta de água que atendesse à demanda.

Sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas. Considerando a possibilidade do aumento de precipitação decorrente de mudanças climáticas, será avaliado um novo cenário considerando os possíveis efeitos caso haja aumento na oferta de água. Também, será avaliado o aumento da oferta de água em decorrência de alterações da classe de uso do solo “Reservatórios”.

5.1.4. Cenário 4: aumento de 25% na oferta de água

Para se avaliar os possíveis efeitos das mudanças climáticas na região em estudo, o CENÁRIO 4 considera os efeitos de tais alterações sugerida pelo Laboratório de Dinâmica dos Fluidos dos Estados Unidos, *apud* MASON (2002), onde a oferta de água seria aumentada em 25%.

Pode-se considerar, sob a mesma análise, o efeito caso houvesse o aumento da oferta de água em decorrência de alterações de classes de uso do solo “Reservatórios”, que já apresentavam a tendência de aumento na área em estudo no período 1985-2000 analisado por LATUF (2007), com crescimento de +38,80%, significando um acréscimo de 1,68 km². Contudo, segundo esse mesmo autor, não houve a identificação de nenhuma grande barragem para este fim. Neste sentido, o aumento identificado para esta classe de uso do solo é caracterizado por pequenas barragens provavelmente utilizadas como reservatórios para alimentação de sistemas de irrigação, principalmente, pivô-central.

Dessa forma, a ampliação das áreas de reservatórios, que na prática poderá ser feito por meio da adoção de medidas como o aproveitamento de áreas alagadas; e, ou, construção de barragens/barraginhas. Assim, poderá contribuir para aumentar o tempo de concentração da água na bacia, favorecendo a recarga dos aquíferos, o aumento das vazões média e mínimas, além de contribuir no controle de enchentes com a redução das vazões máximas.

Esse fato revela a importância de se trabalhar esse cenário que poderá ser uma contribuição futura, desde que aliadas a outras práticas de conservação e mudanças de uso do solo para a regularização das vazões, permitindo o crescimento das áreas irrigadas. Segundo RODRIGUEZ (2004), a bacia do rio Paracatu não possui reservatório expressivo, porém possui potencial hídrico para instalação de barragens com a finalidade de regularização das vazões ao longo do ano, podendo assim,

permitir o crescimento das suas atividades econômicas sem comprometer a sustentabilidade desse desenvolvimento.

Tal fato se deve a pouca influência que a vazão total consumida pelos diversos usuários na bacia apresenta em relação à vazão média de longa duração (Q_{mld}), sendo a máxima porcentagem da vazão consumida em relação à Q_{mld} igual a 2,1%, evidenciada no ribeirão Entre Ribeiros. Outro fator que mostra o potencial para a instalação de reservatórios na bacia é a baixa capacidade de regularização natural dos rios, sendo constatada uma relação média entre as vazões associadas à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) e Q_{mld} igual a 0,20 (*ibidem*).

Na Figura 103 observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 4, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFFBE. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3) onde será incorporado o aumento sugerida na oferta de água.

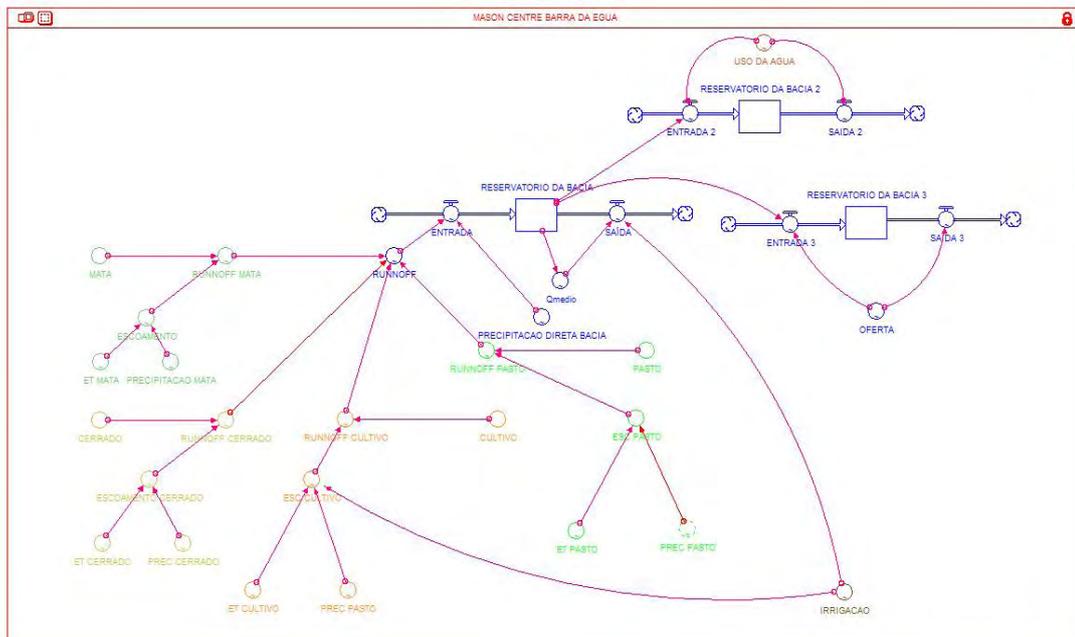


FIGURA 103 - Modelo do estoque e fluxo da água do CENÁRIO 4 na área da EFFBE.

O principal motivo de se analisar esse CENÁRIO 4 se refere aos resultados obtidos no estudo de LATUF (2007), onde se verificou a redução das variáveis hidrológicas vazões máxima, média e mínimas, assim como a precipitação anual e a do mês mais chuvoso ao longo do período analisado (1985-2000). Por outro lado, a atividade de irrigação nessa região em estudo vem demonstrando crescente expansão. Dessa forma, justifica-se a análise que será feita nesse CENÁRIO 4, particularmente pelos resultados obtidos no CENÁRIO 3, onde se concluiu que a redução da oferta se deu, principalmente: pela substituição das classes de uso solo que reduziram as taxas evapotranspirométricas e, conseqüentemente, a “Precipitação Direta” na bacia; e pelo aumento da demanda.

Há de se considerar, ainda, de acordo com RODRIGUEZ (2004), as vazões de retirada pela irrigação na bacia do Paracatu, estimadas para os meses de maior demanda, variam de 4,3 a 85,10% da $Q_{7,10}$, sendo que o valor de 85,10% foi evidenciada no ribeirão Entre Ribeiros, é bastante superior ao concedido para outorga em Minas Gerais (30% da $Q_{7,10}$). Reflete, portanto, uma utilização da água superior àquela permissível para outorga; e muito superior a permissível para suprir à demanda ambiental, considerada, nesse trabalho, 20% da vazão média.

Analisando a Figura 98 (CENÁRIO 3), observa-se que do total de água disponível em 1995, 60% estava disponível para ser ofertado. Nesse período, a demanda permanece em crescimento até o ano de 2021 quando atinge 80% da oferta potencial de água - a partir deste limite, caso a demanda permaneça em elevação, o sistema entra em colapso. Contudo, nesse ano de 2021, a oferta começou a ser reduzida: talvez por influência de mudanças climáticas com redução na “Precipitação Direta” na bacia, em função da substituição de “Cerrado” por “Cultivo”; ou talvez pela crescente demanda por atividades como a “Irrigação”; ou seja, uma redução de 30% na oferta de água, em função do aumento das demandas, como ambiental ou irrigação; fez com que a oferta fosse, de fato, reduzida em 30%. Na Figura 104 observa-se a curva de oferta de água para o CENÁRIO 4 na área de abrangência da EFFBE.

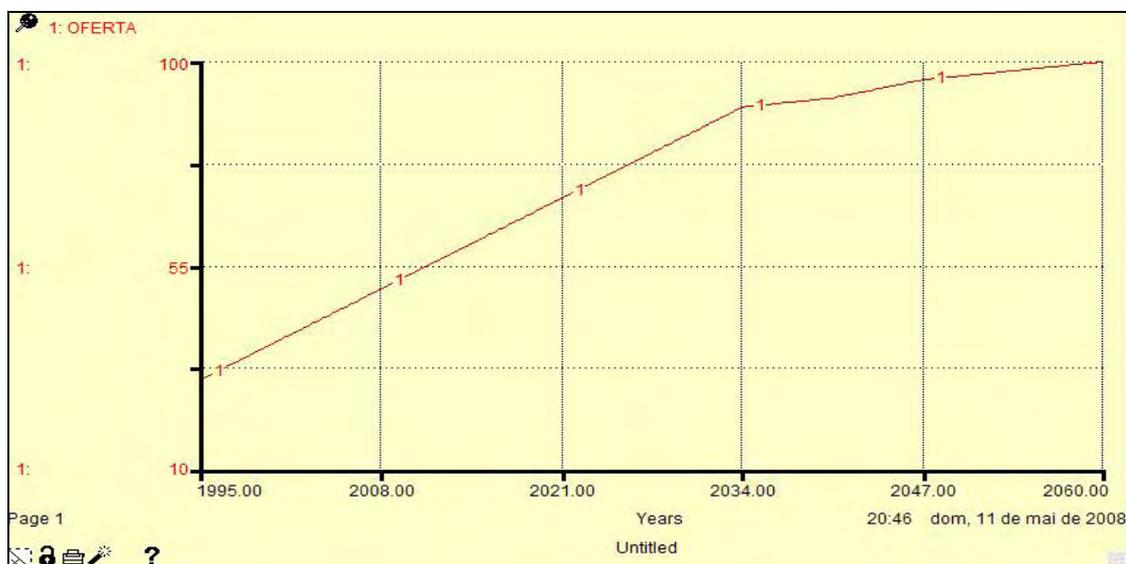


FIGURA 104 - Oferta de água aumentada em 25% no período 1995-2060.

A Figura 104 mostra a tendência de crescimento da oferta de água durante o período analisado (1995-2060). Pode-se observar que a oferta de água em 1995 correspondia a 30% do total disponível em 2060. Em 2011 esse total já atinge 55% do total disponível, continuando a aumentar até o final do período analisado (2060). Por outro lado, observa-se na Figura 105, que a demanda por água também apresenta

crescimento constante. Essa condição, apesar do aumento da oferta, aponta para uma possível vulnerabilidade do sistema, embora em tempo mais distante.

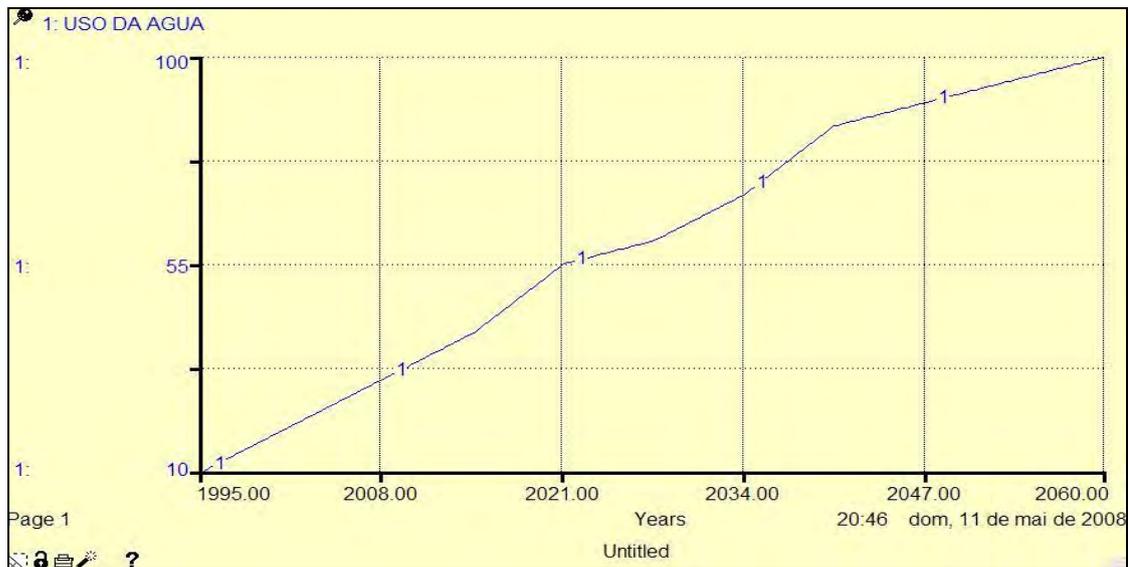


FIGURA 105 - Demanda de água na área da EFFBE no período 1995-2060.

Analisando a tendência da curva apresentada na Figura 88 (CENÁRIO 1), observou-se que as demandas hídricas estão aumentando na medida em que se aumentam as áreas cultivadas e irrigadas. No CENÁRIO 3 a oferta de água foi alterada (redução de 20% na oferta) e o consumo permaneceu o mesmo que no CENÁRIO 1, mostrando que o sistema tendia à insustentabilidade. Tal responsabilidade foi atribuída, entre outros, ao elevado consumo de água, principalmente, pela atividade de irrigação. Nesse CENÁRIO 4 observa-se que a situação é bastante diferente que aquela apresentada no CENÁRIO 3 (Figura 106).



FIGURA 106 - Demanda e oferta de água para o período 1995-2060.

Considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2039, no CENÁRIO 1, apontava para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. No CENÁRIO 3 observou-se que em função da redução em 20% da oferta de água total disponível para consumo, os períodos onde ocorre a situação de estresse são antecipados, já acontecendo a partir do ano de 2028. No CENÁRIO 1, o IS era igual a zero no ano de 2060, no CENÁRIO 3, em 2032. Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS), considerando a relação oferta/demanda para o CENÁRIO 4, têm-se os seguintes resultados (Quadro 34).

QUADRO 34 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando a relação oferta/demanda

ANO	DEMANDA (%)	OFERTA (%)	IS
1995	10	30	0,67
2011	35	55	0,36
2027	60	79	0,24
2028	61	81	0,25
2032	67	87	0,23
2035	72	90	0,20
2043	87	94	0,07

Na análise desse CENÁRIO 4 evidenciou-se que o aumento da oferta de água permitiu que o sistema permanecesse estável até o ano de 2035, cujo IS de 0,20 indica que a demanda atingiu 80% da oferta potencial de água; ou seja, o sistema passa a apresentar forte estresse hídrico. Contudo, essa situação no CENÁRIO 3 se deu no ano de 2027, portanto, oito (8) anos anteriores. De qualquer forma, pode-se perceber que em função da crescente demanda de água para irrigação, o sistema tende à depleção do recurso água; ou seja, o incremento de 25% na oferta não foi suficiente para suprir à demanda. Para justificar essa tendência de redução, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 107).

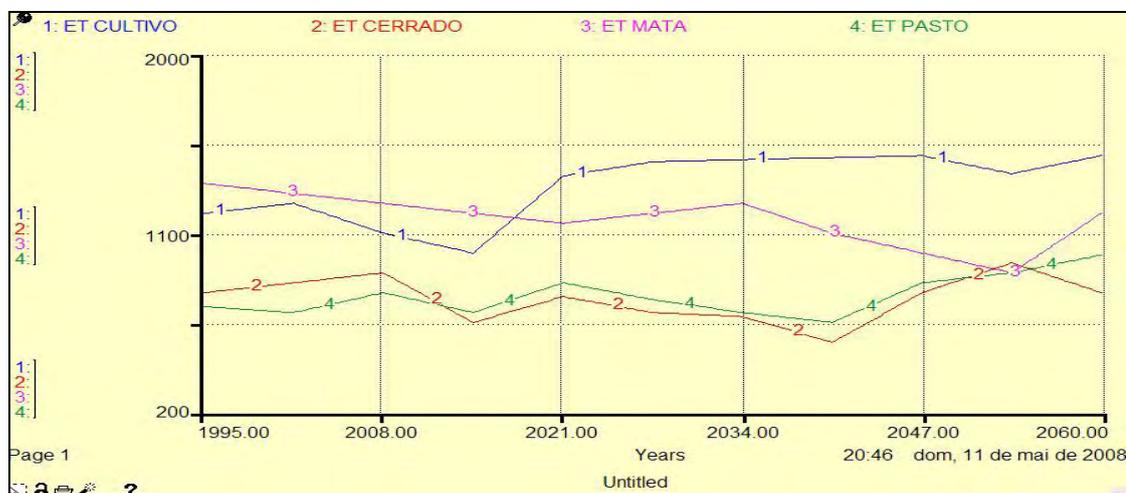


FIGURA 107 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 4: aumento da oferta de água em 25% no período 1995-2060.

No CENÁRIO 1 (Figura 89) verificou-se que a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, no período 1995-2017. A partir desse ano, “Cultivo” passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo. Tal condição se repetiu no CENÁRIO 3 (Figura 101) e também agora no CENÁRIO 4 (Figura 107). Como foi comentado no CENÁRIO 1, que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia.

Observa-se no Quadro 35 que as taxas evapotranspirométricas no CENÁRIO 4 não sofreram variações percentuais com relação ao CENÁRIO 3, tendo, ambos esses CENÁRIOS (3 e 4), apresentado a mesma variação que ao CENÁRIO 1.

QUADRO 35 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-4 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
Variação (%)				
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,53	- 10,48
CENÁRIO 3	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 4	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11

Observa-se no Quadro 35 que as mesmas variações apresentadas no CENÁRIO 4 ocorreram no CENÁRIO 1. Na verdade, considerando os mesmos comentários feitos nos cenários anteriores, nesse CENÁRIO 4, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 18,70% (1.230 mm ano⁻¹ para 1.000 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060), o mesmo apresentado no CENÁRIO 1. Ou seja, o aumento da oferta de água em 25%, considerando a condição de não elevação da temperatura e que não houve aumento da “Precipitação Direta” da bacia, pode ter se dado, por exemplo, pelo aumento das áreas da classe de uso do solo “Reservatórios”. Assim, como a oferta do recurso “Água” foi aumentada, a sua utilização se deu para a irrigação da classe “Cultivo”. Como a evapotranspiração dessas áreas são menores que “Mata”, “Cultivo” continua a ser o principal responsável pela evapotranspiração, o que explica a contínua redução da “Precipitação Direta”.

A Figura 108 representa a precipitação na área de drenagem do ribeirão Entre Ribeiros com base nos dados da EFFBE, ao longo do período analisado deste trabalho (1995-2060). Quando se comparam os dados de precipitação e de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1 e 3, e agora do CENÁRIO 4, verificam-se que são idênticos; ou seja, a oferta de água aumentou em função do aumento de “Reservatórios”.



FIGURA 108 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) no período 1995-2060.

No Quadro 36 verifica-se que no CENÁRIO 2, mesmo em função das mudanças climáticas, a redução na “Precipitação Direta” na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1; e que nos CENÁRIOS 3 e 4 os valores foram idênticos ao CENÁRIO 1.

QUADRO 36 - Comportamento da precipitação no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-4

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.230	1.000	- 18,70
2	1.260	1.069	- 15,16
3	1.230	1.000	- 18,70
4	1.230	1.000	- 18,70

Como não houve alteração na precipitação e na evapotranspiração, conclui-se que apesar das áreas da classe de uso do solo “Reservatórios” ter sido aumentada, todo esse volume foi utilizado para atender à demanda da irrigação, fato confirmado pela melhoria do Índice de Sustentabilidade. Assim, observa-se que “Reservatórios” auxiliaram no aumento da oferta de água. Contudo, para que seja atendida a demanda atual, deverá acontecer em volumes superiores aos propostos nesse cenário. Caso tal medida não seja adotada, o sistema em estudo tenderá à exaustão ou depleção de seus recursos hídricos.

Cabe considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia. Parece que essa condição está ocorrendo nas atuais condições. Por esta questão, serão avaliados cenários considerando os possíveis efeitos de alterações do uso do solo e seus efeitos sobre os recursos hídricos, a partir de cenários de mudanças climáticas, onde ocorram aumentos na temperatura e na precipitação.

5.1.5. Cenário 5: aumento de temperatura (1°C) e de precipitação (5%)

O CENÁRIO 5 contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 1°C e acréscimo da precipitação em 5%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001). Na Figura 109, observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 5, tendo como parâmetros os dados levantados na EFFBE, situada na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3), onde será incorporado o acréscimo sugerido na oferta de água.

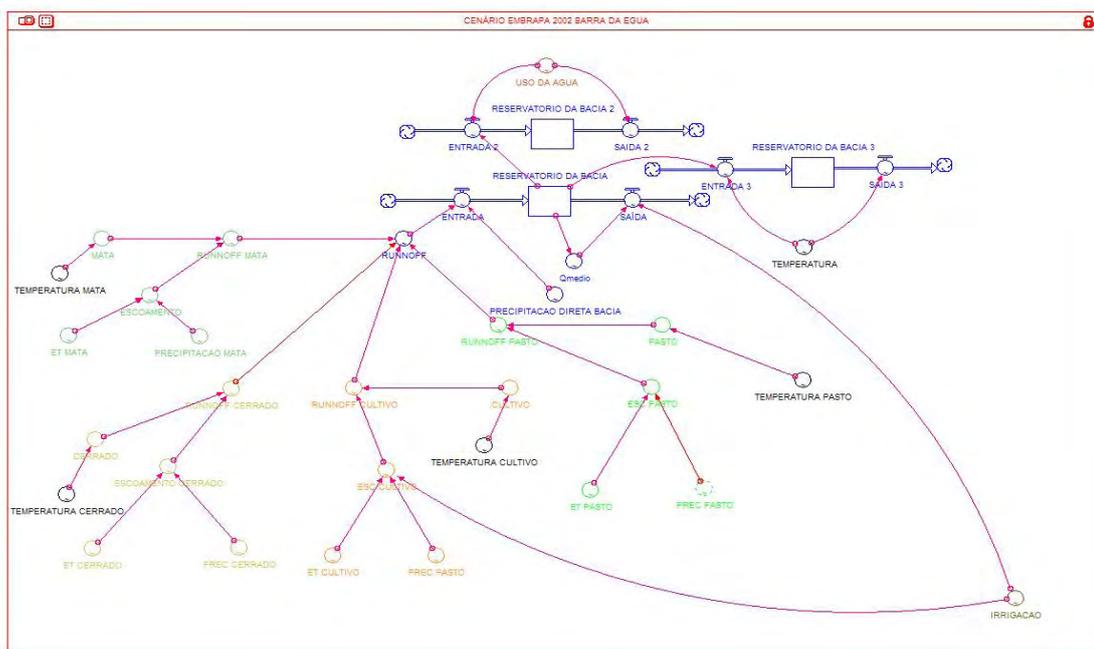


FIGURA 109 - Modelo do estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 5 na área de abrangência da EFFBE.

É sabido que as atividades como a pecuária e a agricultura têm elevado poder impactante sobre o solo e a água, interferindo na dinâmica do clima. Sabe-se, também, que o clima local, global e regional resulta da interação entre diversas variáveis, tais como temperatura, pressão atmosférica e temperatura das águas superficiais dos oceanos. Essas e outras variáveis afetam, por conseguinte, a ocorrência de chuvas. Vários cientistas, em todo o mundo, concordam que as mudanças climáticas já afetam, e afetarão ainda mais, o ciclo hidrológico.

Como foi discutido no CENÁRIO 2, para se analisar os efeitos das mudanças climáticas, em geral, têm-se de pensar em duas situações (NASCIMENTO, 2007): escassez e excesso de chuvas – que, no caso da bacia do rio São Francisco, podem ocorrer conjuntamente em regiões distintas da bacia. A Figura 110 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 5, com acréscimos de 1°C na temperatura e 5% na precipitação.

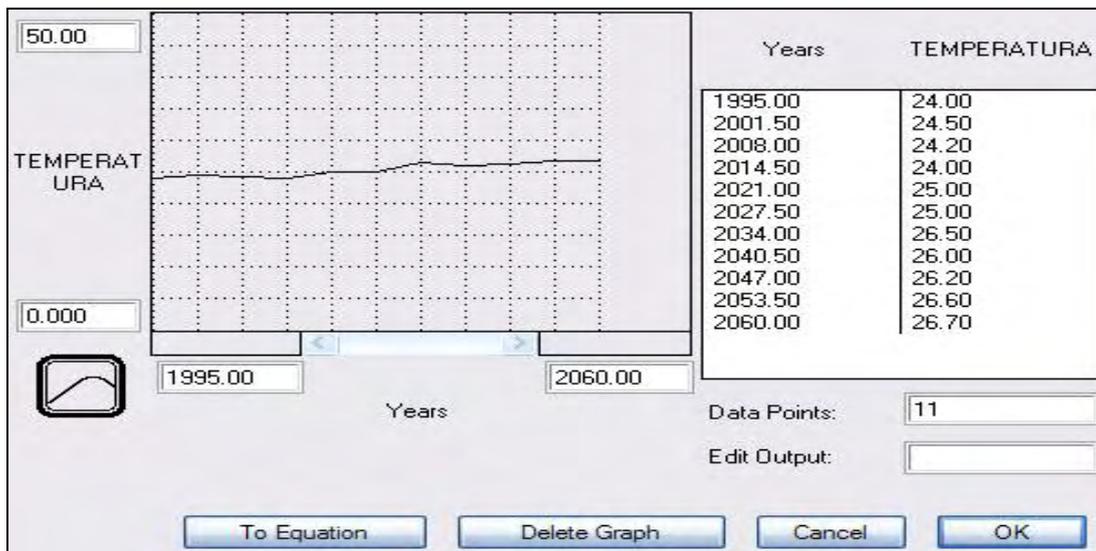


FIGURA 110 - Acréscimo de 1°C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 5.

No CENÁRIO 1, observou-se que, no ano de 2008, “Mata” contribuía com 1.500 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; no CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, “Mata” passou a contribuir com 1.550 mm ano⁻¹ desse volume. No CENÁRIO 5, “Mata” passou a contribuir com 1.540 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de 1.310 mm ano⁻¹. Observa-se que apesar da precipitação na “Mata” ter aumentado em 50 mm ano⁻¹ no CENÁRIO 2, a “Precipitação Direta” na bacia aumentou em apenas 20 mm ano⁻¹; e nesse CENÁRIO 5, em apenas 10 mm ano⁻¹; ou seja, a “Precipitação Direta” ocorre em função da média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existentes na área, *ceteribus paribus*, que em função da redução relativa das áreas de “Mata”, o acréscimo de precipitação sugerido para esse cenário não foi significativo o suficiente para influenciar na “Precipitação Direta” da bacia. Isso porque “Cultivo” foi a classe de uso do solo que apresentou maior crescimento relativo e absoluto.

Cabe destacar a sensibilidade do programa em mostrar a diferença de apenas 10 mm ano⁻¹ na “Precipitação Direta” na bacia entre os CENÁRIOS 2 e 5. Ao mesmo tempo, cabe chamar a atenção para a sensibilidade dos ecossistemas em reagir, de forma significativa e detectável, às pequenas oscilações climáticas (Teste de Sensibilidade). A Figura 111 representa a precipitação na área de drenagem do ribeirão Entre Ribeiros. Observa-se que a tendência de redução na “Precipitação Direta” na área da bacia persistirá, com elevação no período 2047-2054, voltando a reduzir até o final do período analisado deste estudo (2060).

Outro aspecto importante a ser observado é que apesar da temperatura média do ar ter se elevado em apenas 1°C, ao final do período analisado, a temperatura na mata se elevou em 2,8°C no CENÁRIO 2; e esse mesmo valor no CENÁRIO 5. Dessa forma, haverá maior perda de água por evapotranspiração, e conseqüentemente,

maior probabilidade de aumento nas chuvas regionais, *ceteribus paribus*. Nesse cenário observa-se novamente a sensibilidade do modelo em detectar pequenas alterações climáticas e identificar suas inter-relações.

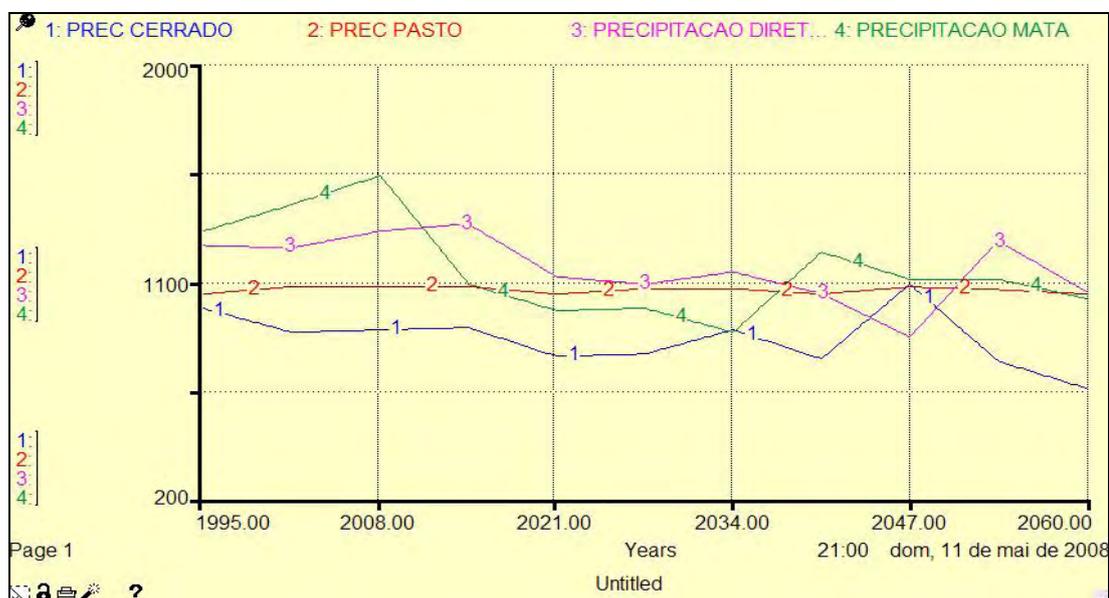


FIGURA 111 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no período 1995-2060.

No Quadro 37 verifica-se que no CENÁRIO 2, mesmo em função das mudanças climáticas, a redução na “Precipitação Direta” na bacia foi inferior que no CENÁRIO 1; que nos CENÁRIOS 3 e 4 os valores foram idênticos ao CENÁRIO 1; e que nesse CENÁRIO 5 a redução foi superior que no CENÁRIO 2, justificado pelo aumento de apenas 5% na precipitação sugerida pelo CENÁRIO 5, contra 6,9% sugerida no CENÁRIO 2.

QUADRO 37 - Comportamento da precipitação no período 1995-2060 nos CENÁRIOS 1-5

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano^{-1})	2060 (mm ano^{-1})	Varição (%)
1	1.230	1.000	- 18,70
2	1.260	1.069	- 15,16
3	1.230	1.000	- 18,70
4	1.230	1.000	- 18,70
5	1.250	1.059	- 15,28

Quando se comparam os dados de precipitação e de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1, 3 e 4, verificam-se que são idênticos; ou seja, a oferta de água aumentou no CENÁRIO 4 em função do aumento das áreas de “Reservatórios” para atender o crescimento das áreas irrigadas. Como não houve alteração na precipitação e na evapotranspiração, conclui-se que apesar das áreas de “Reservatórios” terem

sido aumentadas, referendado por LATUF (2007), todo esse volume foi utilizado para atender a demanda da irrigação.

No CENÁRIO 5 a elevação na precipitação em 5%, mas com um aumento de temperatura em 1°C, considerando que as áreas de “Mata” sofreram redução relativa às áreas de “Cultivo”, explica a redução na “Precipitação Direta” na bacia. A Figura 112 apresenta as alterações ocorridas na evapotranspiração na bacia do ribeirão Entre RIBEIROS com base nos dados coletados da EFFBE, para o CENÁRIO 5.

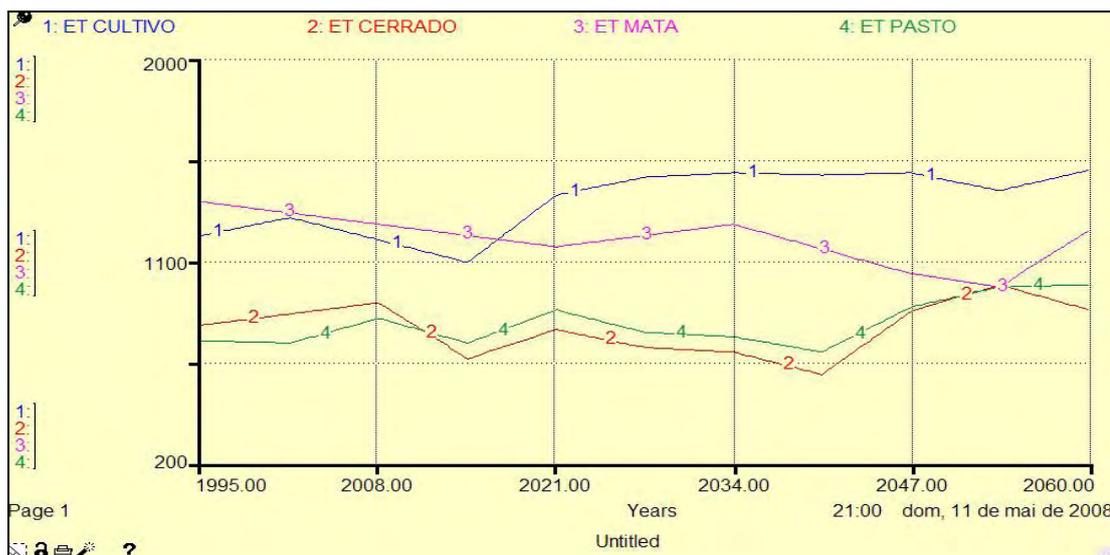


FIGURA 112 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060.

É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração “Cerrado”, está sugerindo que esta classe de uso do solo está sendo substituída por “Mata”, que apresenta maior taxa de evapotranspiração. Observa-se no Quadro 38 que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 5 sofreram pequenas variações percentuais com relação aos CENÁRIOS anteriores, sendo que os CENÁRIOS 1, 3 e 4, apresentaram a mesma variação.

QUADRO 38 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-5 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
Variação (%)				
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,53	- 10,48
CENÁRIO 3	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 4	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 5	+ 33,78	+ 23,97	+ 8,64	- 9,56

Verificou-se no CENÁRIO 2 que a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, no período 1995-2016. No CENÁRIO 1 essa contribuição foi até o ano de 2017; ou seja, a elevação de 1°C na temperatura média do ar e de 6,9% na precipitação, que fizeram com que a temperatura da “Mata” se elevasse em 2,8°C no período analisado (1995-2060), sugere que o aumento da precipitação não tenha sido suficiente para que se mantivessem as mesmas taxas evapotranspirométricas. Com a sua substituição por “Cultivo”, esse passou a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo já no ano de 2016. Observa-se nos CENÁRIOS 2 e 5, supondo que “Cerrado” tenha sido substituído por “Mata”, o aumento na precipitação com baixa elevação na temperatura fez com que se elevasse a contribuição do “Cerrado”.

No CENÁRIO 5, com um total de 1.198 mm ano⁻¹, a maior contribuição para a evapotranspiração é “Mata”. Todas as demais observações relativas à evapotranspiração para o CENÁRIO 2 se repetem no CENÁRIO 5, justificado pela pequena alteração entre os dois cenários. Com relação ao CENÁRIO 2 e ao CENÁRIO 5, pode-se afirmar que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da precipitação regional, posto que “Cultivo” não consegue manter uma taxa de evapotranspiração aos mesmos níveis que “Mata”. Essa situação é bastante complexa, posto que a demanda da água na bacia vem apresentado crescimento constante, principalmente pela atividade de irrigação. A Figura 113 apresenta a tendência de uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFFBE.

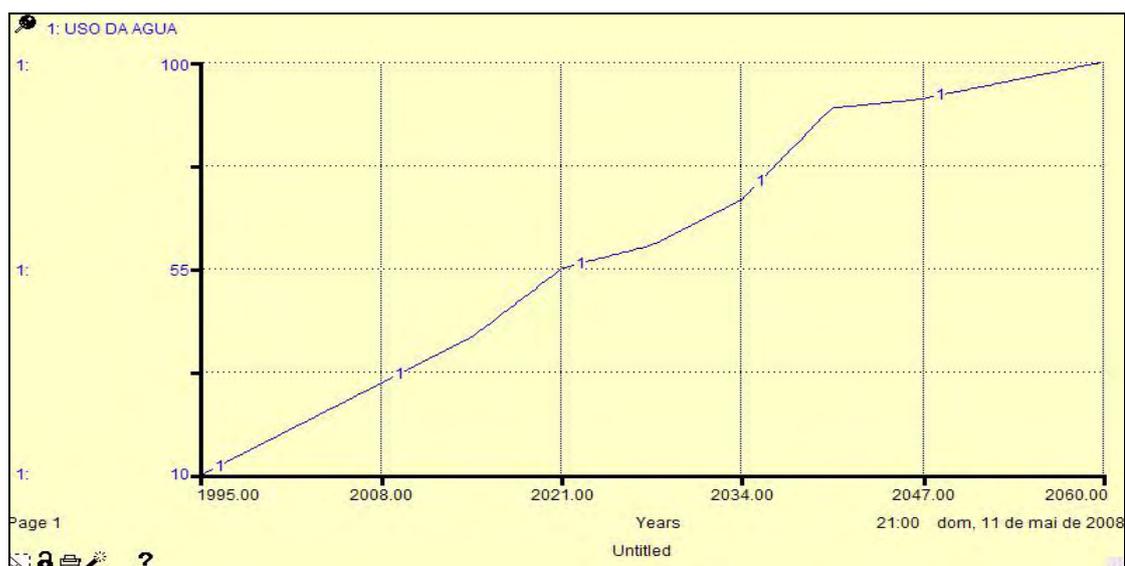


FIGURA 113 - Projeção para o uso da água no período 1995-2060 no CENÁRIO 5.

Na análise do CENÁRIO 1 observou-se que em 1995 eram consumidos 10% do total de toda a água disponível da bacia; em 2005 a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 25,38% da disponibilidade hídrica total da bacia; em 2025, para

58,46%; em 2034, para 70%; em 2039, para 81,54%; e em 2047, para uma demanda de 90% de toda a água disponível da bacia. Quando se analisou o consumo de água no CENÁRIO 2, observou-se que até o ano 2034 a demanda pelo recurso água é idêntico, mas a partir desse ano o consumo começa a aumentar: em 2039 a demanda por água já representa 85% e, em 2047, 92% de toda a água disponível da bacia.

Observou-se que quando se comparam os consumos do ano 2034, a diferença entre os CENÁRIOS 1 e 2 chega a ser de 3,46% e em 2047 essa diferença cai para apenas 2%. Tal fato pode ser explicado pela evapotranspiração no CENÁRIO 1, que no ano 2034, pelo “Cultivo”, era 1.470 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, nesse mesmo ano de 2034, a evapotranspiração era 1.500 mm ano⁻¹. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 6,9%, o que pode ser justificado pelo aumento da evapotranspiração, ocorreu o estímulo ao incremento das áreas de “Cultivo”. Contudo, em função do aumento da temperatura, que implicou na elevação da taxa evapotranspirométrica, fez com que a “Precipitação Direta” na bacia sofresse menor redução. Nesse CENÁRIO 5 verifica-se a sensibilidade e a robustez do modelo – a redução da “Precipitação Direta” na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1, e pouco superior que o CENÁRIO 2 - justificado pela pequena variação nos acréscimos do volume precipitado (6,9% no CENÁRIO 2 e 5% no CENÁRIO 1).

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda por água é superior a 80% de sua oferta potencial, o ano de 2039 no CENÁRIO 2 apontou para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. No CENÁRIO 5, em 1995 eram consumidos, aproximadamente, 10% do total de toda a água disponível da bacia. Em 2005, a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 25%; em 2010, a simulação apontou para um consumo de 33 %; em 2015, para 41 %; em 2025, para 58 %; em 2034, para 70%; em 2039, para 85%; e em 2047, para uma demanda de 92% de toda a água disponível da bacia; ou seja, condição semelhante ao CENÁRIO 2. Será avaliado um novo cenário onde ocorreria um aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10%.

5.1.6. Cenário 6: aumento de temperatura (3°C) e na precipitação (10%)

No CENÁRIO 6 foi sugerido um aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10% (EMBRAPA, 2001), tendo por base os dados levantados na EFFBE situada na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Na Figura 114 observam-se os estoques e fluxos da água, bem como as relações sugeridas para o CENÁRIO 6. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3), onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

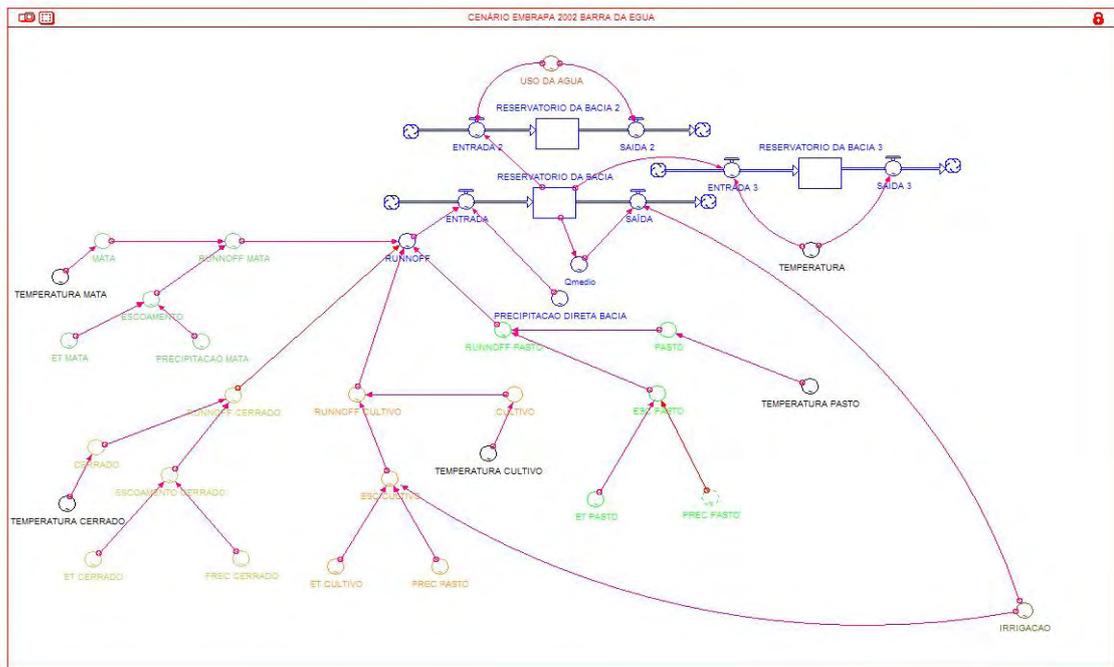


FIGURA 114 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 6.

A Figura 115 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 6 com acréscimos de 3°C na temperatura e 10% na precipitação.

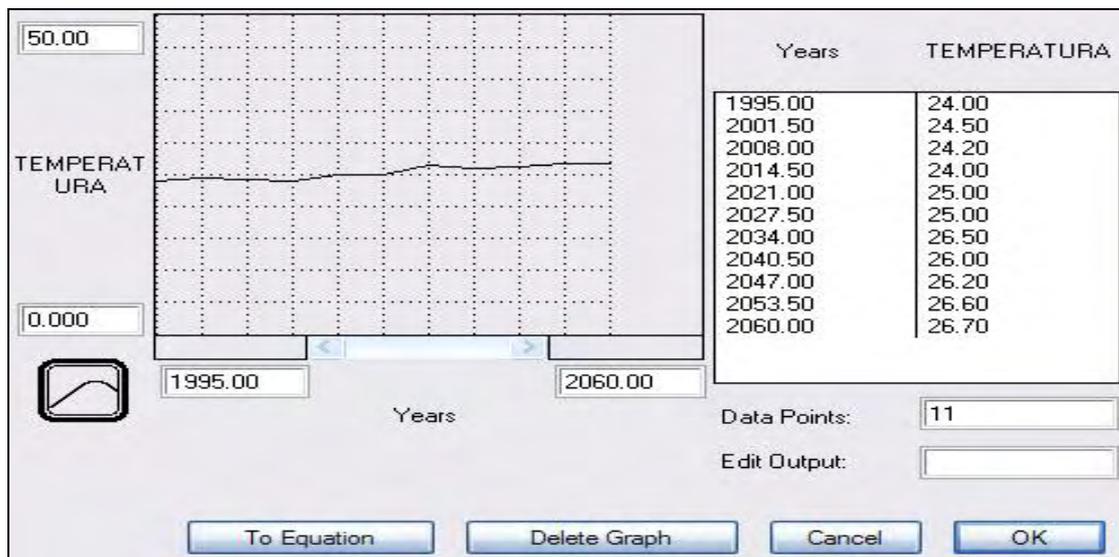


FIGURA 115 - Acréscimo de 3°C na temperatura sugerido no CENÁRIO 6.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano 2008 “Mata” contribuía com 1.500 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 998 mm ano⁻¹; “Cerrado”, com 900 mm ano⁻¹, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era 1.300 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação (Figura 116), “Mata” passou a contribuir com 1.550 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 1.098 mm ano⁻¹; “Cerrado”, com 910 mm ano⁻¹, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é 1.320 mm ano⁻¹.

No CENÁRIO 5, “Mata” passou a contribuir com 1.540 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 1.078 mm ano⁻¹; “Cerrado”, com 900 mm ano⁻¹, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de 1.310 mm ano⁻¹. Observou-se que apesar da precipitação na “Mata” ter aumentado em 50 mm ano⁻¹ no CENÁRIO 2, a “Precipitação Direta” na bacia aumentou em apenas 20 mm ano⁻¹; e no CENÁRIO 5, apenas 10 mm ano⁻¹; ou seja, a “Precipitação Direta” representa a média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existentes nessa área, *ceteribus paribus*, que em função da redução relativa das áreas de “Mata” ao “Cultivo”, o acréscimo de precipitação não foi significativo o suficiente para influenciar a média direta precipitada na bacia.

No CENÁRIO 6, no ano 2008 “Mata” passou a contribuir com 1.580 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 1.190 mm ano⁻¹; “Cerrado”, com 1.000 mm ano⁻¹, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é 1.340 mm ano⁻¹. Observa-se que a precipitação direta na bacia aumentou 40 mm ano⁻¹ com relação ao CENÁRIO 1; 20 mm ano⁻¹ com relação ao CENÁRIO 2; e 30 mm ano⁻¹ com relação ao CENÁRIO 5. Dessa forma, apesar de não ter sido tão significativa as alterações, cabe chamar a atenção para a sensibilidade dos ecossistemas em reagir às mudanças climáticas; e ao modelo, em detectar de forma tão precisa, tão “pequenas” oscilações (Teste de Sensibilidade). A Figura 116 representa a precipitação na área de drenagem do ribeirão Entre Ribeiros.



FIGURA 116 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) no período 1995-2060.

Observa-se que a “Precipitação Direta” na bacia era de 1.300 mm ano⁻¹ em 1995, sofre pequena redução até o ano 2001 (1.280 mm ano⁻¹), quando se eleva até o ano 2014 (1.370 mm ano⁻¹). A partir desse ano, apresenta tendência de redução até o ano 2047, quando atinge o seu menor nível de volume precipitado (900 mm ano⁻¹).

Desse ano até 2053, apresenta novamente tendência de elevação, atingindo 1.310 mm ano⁻¹, quando se percebe que a tendência de redução na “Precipitação Direta” na área da bacia persistirá até o final do período analisado desse estudo (2060), atingindo o valor de 1.100 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 15,38%.

A partir desses resultados, confirmou-se a tendência observada no estudo de LATUF (2007) de redução na precipitação nas áreas da bacia. Mesmo que haja aumento da precipitação como sugerido nesse CENÁRIO 6, ao final, ela novamente decrescerá. Outro aspecto importante a ser observado é que apesar da temperatura média do ar ter se elevado em 3°C, ao final do período analisado, a temperatura média do ar se eleva em 5°C. Dessa forma, haverá maior perda de água por evapotranspiração, e conseqüentemente, maior probabilidade de aumento nas chuvas regionais. Contudo, como as áreas de “Cerrado” foram fortemente substituídas por “Cultivo”, e as áreas de “Mata” sofreram uma redução relativa, conseqüentemente, haverá uma redução do volume precipitado direto na bacia.

No CENÁRIO 6, observam-se oscilações que variaram de 600 mm ano⁻¹ em 2040, até a um máximo de 1000 mm ano⁻¹ em 2054 para precipitação no “Cerrado”. Essa forte elevação pode significar que estas áreas estão sendo ocupadas, ou por “Cultivo” irrigado, ou por “Mata”. Como se pode observar no Quadro 39, no CENÁRIO 2, em função das mudanças climáticas (elevação de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação), a redução na “Precipitação Direta” na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1; nos CENÁRIOS 3 e 4 os valores foram idênticos ao CENÁRIO 1; no CENÁRIO 5 a redução foi superior ao CENÁRIO 2, justificado pelo aumento de apenas 5% na precipitação sugerida pelo CENÁRIO 5, contra 6,9% sugerida no CENÁRIO 2; e que nesse CENÁRIO 6 a redução na precipitação foi pouco superior ao CENÁRIO 5.

QUADRO 39 - Comportamento da precipitação no período 1995-2060 CENÁRIOS 1-6

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.230	1.000	- 18,70
2	1.260	1.069	- 15,16
3	1.230	1.000	- 18,70
4	1.230	1.000	- 18,70
5	1.250	1.059	- 15,28
6	1.300	1.100	- 15,38

Quando se comparam os dados de precipitação e de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1, 3 e 4, verificam-se que são idênticos; ou seja, a oferta de água aumentou no CENÁRIO 4 em função do aumento das áreas de “Reservatórios”. Como não houve alteração na precipitação e na evapotranspiração, sugere-se que apesar dessas áreas terem sido aumentadas (LATUF, 2007), a demanda se deu para atender as áreas irrigadas.

No CENÁRIO 5 a elevação na precipitação em 5%, mas com aumento de temperatura em 1°C, considerando que as áreas de “Mata”, relativamente, e “Cerrado”, foram substituídas por “Cultivo”, explica a redução na “Precipitação Direta”. No CENÁRIO 6 a elevação na precipitação em 10%, mas com o aumento de 3°C na temperatura, as alterações podem ser explicadas pelo mesmo motivo que no CENÁRIO 5. A Figura 117 apresenta as alterações ocorridas na evapotranspiração na bacia do ribeirão Entre Ribeiros para o CENÁRIO 6.

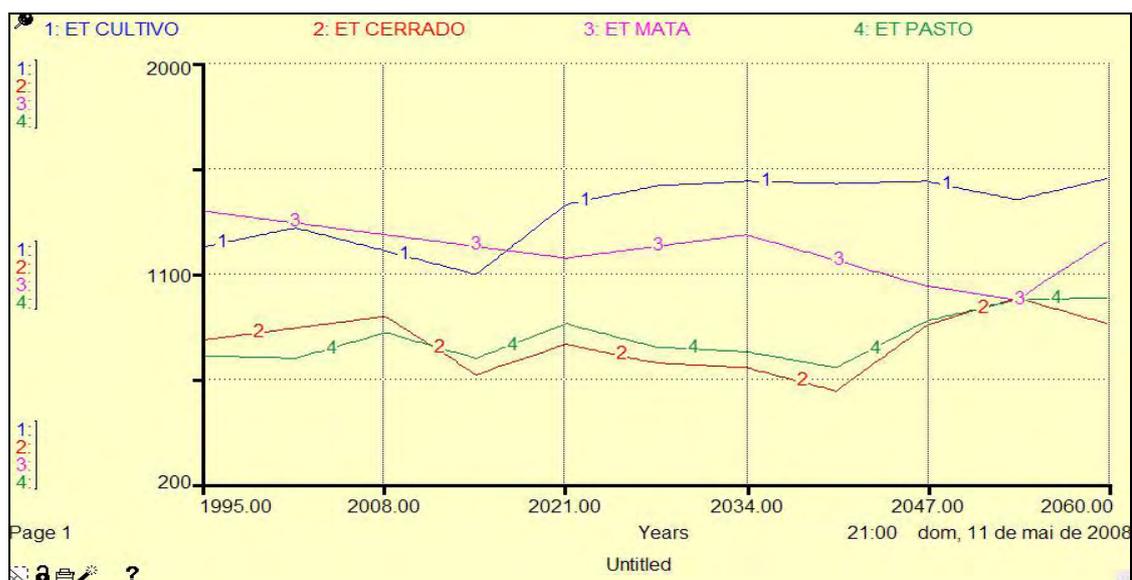


FIGURA 117 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060.

Na Figura 117 e no Quadro 40 percebe-se que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 6 sofreram pequenas variações percentuais com relação aos CENÁRIOS anteriores, com exceção para a Categoria “Pasto” - sugere que essa classe de uso do solo está sendo substituída por “Cultivo” irrigado e, ou, “Mata”.

QUADRO 40 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-6 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,53	- 10,48
CENÁRIO 3	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 4	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 5	+ 33,78	+ 23,97	+ 8,64	- 9,56
CENÁRIO 6	+ 40,00	+ 25,60	0,0	- 10,71

Verificou-se no CENÁRIO 2 que a maior contribuição para a Evapotranspiração era “Mata”, no período de 1995 até o ano de 2016. No CENÁRIO 1, essa contribuição foi até o ano de 2017; ou seja, a elevação de 1°C na temperatura média do ar e de

6,9% na precipitação, que fizeram com que a temperatura da Mata se elevasse em 2,8°C no período analisado (1995-2060), sugere que o aumento da precipitação não tenha sido suficiente para que se mantivessem as mesmas taxas evapotranspirométricas. Com a sua substituição por “Cultivo”, esse passou a ser o principal contribuinte para a Evapotranspiração na área da bacia em estudo, já no ano de 2016.

As áreas de “Cerrado”, no CENÁRIO 2, também apontaram uma tendência de redução até o ano de 2040, quando volta a apontar crescimento até o ano de 2053, voltando a decrescer até o final do período analisado (2060); ou seja, exatamente o mesmo comportamento apresentado no CENÁRIO 1 - um indicativo que essa classe de uso do solo está sendo substituída por “Cultivo” irrigado e, ou, “Mata”. No CENÁRIO 5, com 1.198 mm ano⁻¹, a maior contribuição para a evapotranspiração foi “Mata”. Todas as demais observações relativas à evapotranspiração para o CENÁRIO 2 se repetiram no CENÁRIO 5, justificado pela pequena alteração entre os dois cenários.

Com relação aos CENÁRIOS 2 e 5, sugeriu-se que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração, a simulação aponta para uma tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia. O mesmo pode ser comentado para esse CENÁRIO 6, onde a partir do ano de 2026, “Pasto” e “Cultivo” passam a ser as categorias que mais contribuem para o volume evapotranspirado. A Figura 118 apresenta a tendência de uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFFBE.

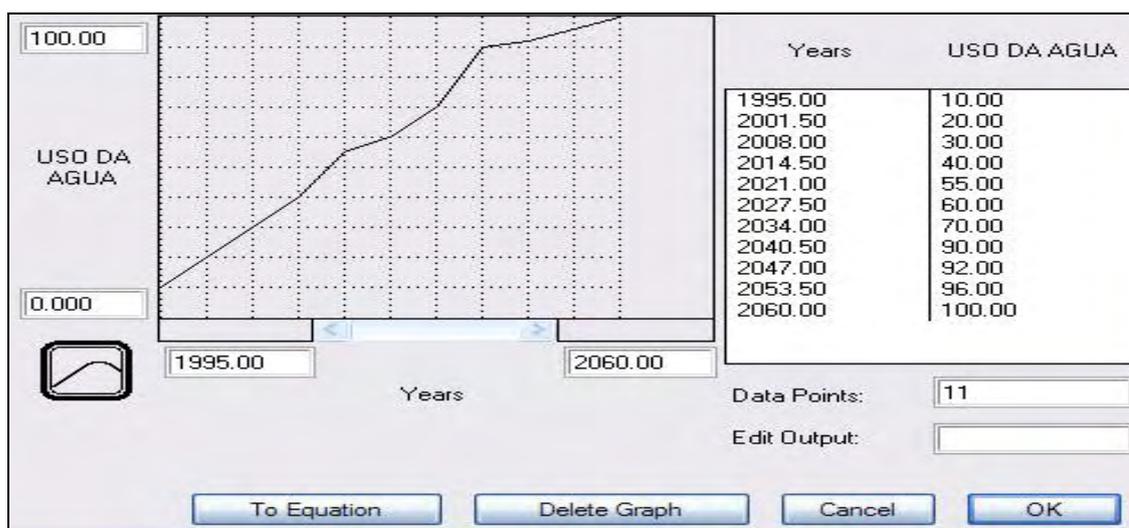


FIGURA 118 - Uso da água para o período 1995-2060 no CENÁRIO 6.

No CENÁRIO 1 observou-se que em 1995 eram consumidos 10% do total de toda a água disponível da bacia; em 2005, 25,38%; em 2015, 41,15%; em 2025, 58,46%; em 2034, 70%; em 2039, 81,54%; e em 2047, uma demanda de 90% de toda

a água disponível da bacia. Quando se analisou o consumo de água no CENÁRIO 2, observou-se que até o ano 2034 a demanda é idêntica, mas a partir desse ano, o consumo começa a aumentar: em 2039 a demanda já representa 85% e, em 2047, 92% de toda a água disponível da bacia.

Observou-se que quando se comparam os consumos do ano de 2034, a diferença entre os CENÁRIOS 1 e 2 chega a ser de 3,46%, e em 2047 essa diferença cai para apenas 2%. Tal fato pode ser explicado pela evapotranspiração no CENÁRIO 1, que no ano de 2034, pelo “Cultivo”, era 1.470 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, nesse mesmo ano 2034, a evapotranspiração era 1.500 mm ano⁻¹. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 6,9%, o que pode ser justificado pelo aumento da evapotranspiração, ocorreu o estímulo ao incremento das áreas de “Cultivo”. Contudo, em função do aumento da temperatura, que implicou na elevação da taxa evapotranspirométrica, fez com que a “Precipitação Direta” na bacia sofresse menor redução. No CENÁRIO 5 verificou-se a sensibilidade e a robustez do modelo – a redução da “Precipitação Direta” na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1, e pouco superior que o CENÁRIO 2 - justificado pela pequena variação nos acréscimos do volume precipitado (6,9% no CENÁRIO 2 e 5% no CENÁRIO 1).

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda por água é superior a 80% de sua oferta potencial, o ano de 2039 no CENÁRIO 2 apontou para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. No CENÁRIO 5, em 1995 eram consumidos, aproximadamente, 10% do total de toda a água disponível da bacia; em 2025, 58%; em 2034, 70%; em 2039, 85%; e em 2047, para uma demanda de 92% de toda a água disponível da bacia; ou seja, condição semelhante ao CENÁRIO 2. Nesse CENÁRIO 6, encontrou-se a mesma tendência, não sendo necessário, portanto, estimar o Índice de Sustentabilidade, posto ser visível a insustentabilidade da bacia em estudo. Será avaliado um novo cenário a partir de mudanças climáticas, onde ocorreria um aumento da temperatura em 5,8°C e acréscimo da precipitação em 15%.

5.1.7. Cenário 7: aumento de temperatura (5,8°C) e na precipitação (15%)

Nesse CENÁRIO 7 serão contempladas as previsões das possíveis alterações nos parâmetros avaliados, particularmente evapotranspiração e “Precipitação Direta” na bacia, a partir de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura de 5,8°C e um acréscimo da precipitação de 15%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001), a partir dos dados levantados na EFFBE. Na Figura 119 observam-se as relações existentes no CENÁRIO 7. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3), onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

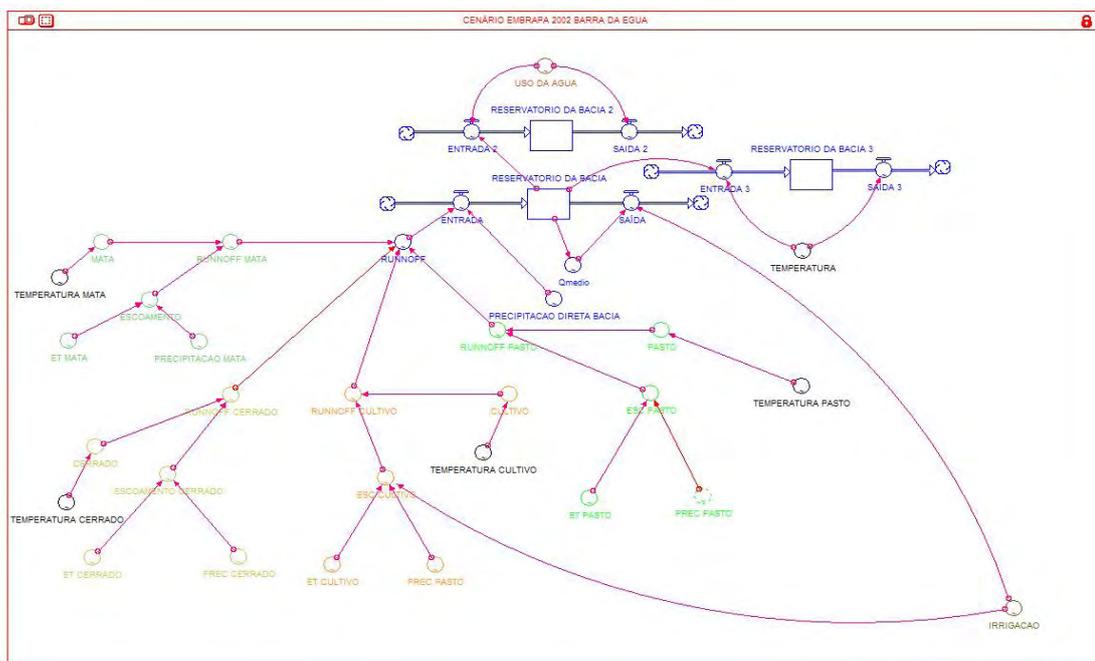


FIGURA 119 - Modelo de estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 7.

A Figura 120 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 7 com acréscimos de 5,8°C na temperatura e 15% na precipitação.

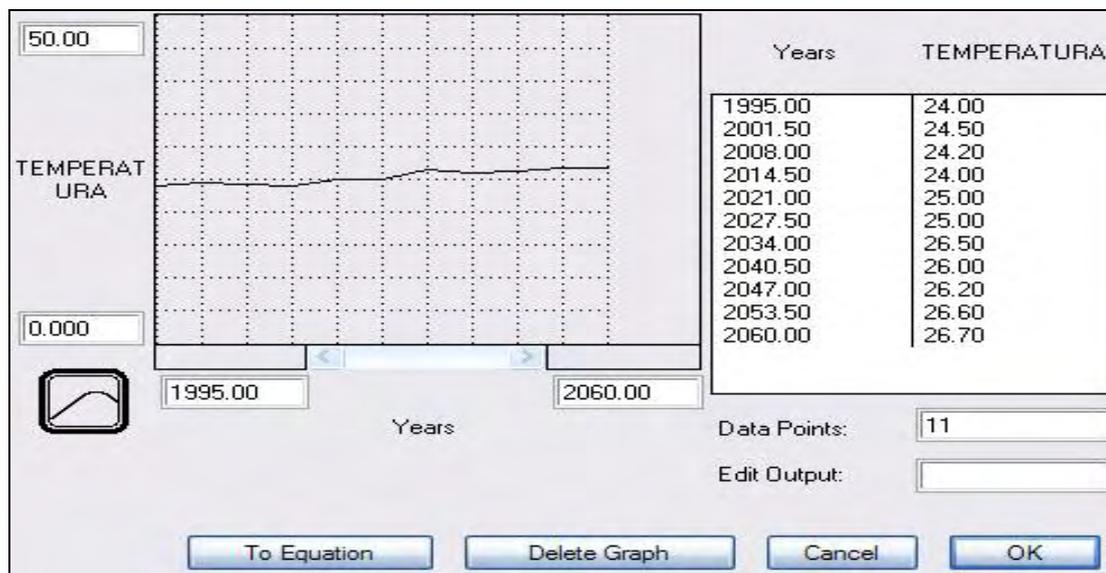


FIGURA 120 - Acréscimo de 5,8°C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 7.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano 2008 “Mata” contribuía com 1.500 mm ano⁻¹ do volume precipitado; enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era de 1.300 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, “Mata” passou a contribuir com 1.550 mm ano⁻¹ do volume precipitado; enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era de 1.320 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 5, no ano 2008 “Mata” passou a contribuir com 1.540 mm ano⁻¹ do volume precipitado; enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era de 1.310 mm ano⁻¹. No

CENÁRIO 6, no ano 2008 “Mata” passou a contribuir com $1.580 \text{ mm ano}^{-1}$ do volume precipitado, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de $1.340 \text{ mm ano}^{-1}$. No CENÁRIO 6 observou-se que a “Precipitação Direta na bacia aumentou 40 mm ano^{-1} , com relação ao CENÁRIO 1; 20 mm ano^{-1} com relação ao CENÁRIO 2; e 30 mm ano^{-1} com relação ao CENÁRIO 5.

No CENÁRIO 7, onde houve o maior aumento de temperatura e do volume precipitado, no ano de 2008, “Mata” passou a contribuir com $1.590 \text{ mm ano}^{-1}$ do volume precipitado; enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de $1.350 \text{ mm ano}^{-1}$. Ou seja, com relação ao CENÁRIO 6, houve apenas um acréscimo na “Precipitação Direta” na bacia de 10 mm ano^{-1} . No CENÁRIO 6 observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia era de $1.300 \text{ mm ano}^{-1}$ em 1995, e ao final do período analisado desse estudo (2060) era de $1.100 \text{ mm ano}^{-1}$. Nesse CENÁRIO 7 (Figura 121) observa-se que a “Precipitação Direta” na bacia era de $1.315 \text{ mm ano}^{-1}$ em 1995, atingindo o valor de $1.120 \text{ mm ano}^{-1}$; ou seja, uma redução de 14,83%.

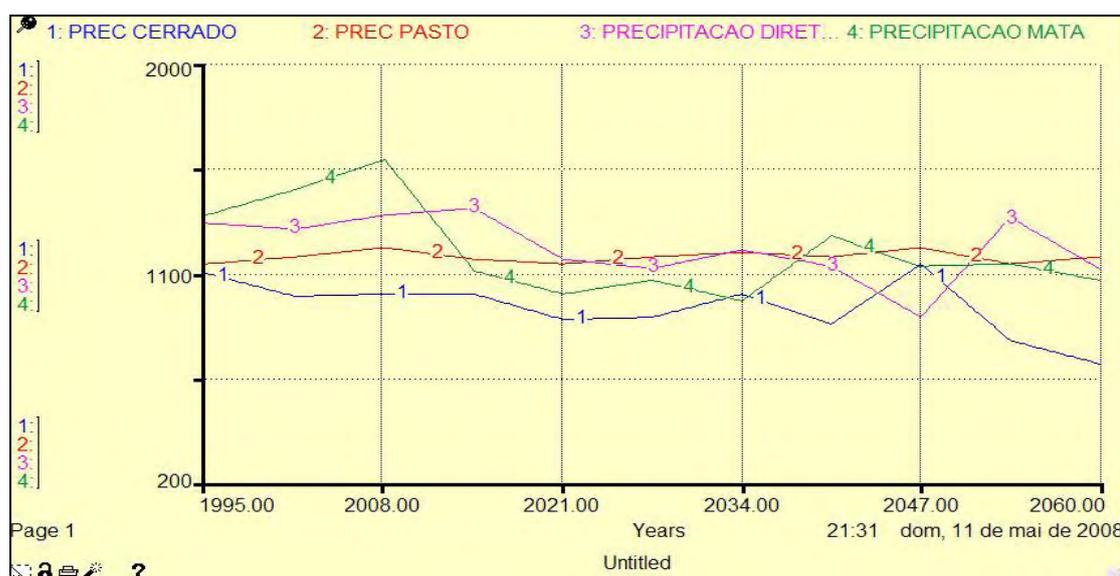


FIGURA 121 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) para o período 1995-2060.

Dessa forma, confirma-se a tendência observada no estudo de LATUF (2007) de redução na precipitação nas áreas da bacia, mesmo que haja aumento da precipitação sugerida nesse CENÁRIO 7, ao final do período, ela novamente decrescerá. Em parte, isso pode ser explicado pela redução das áreas de “Mata” e “Cerrado”. Uma análise importante se refere ao aumento de 15% na precipitação não ter influenciado em aumento da “Precipitação Direta” da bacia ao longo do tempo: em parte, pode ser explicado pela elevação da temperatura média do ar em $5,8^{\circ}\text{C}$. Dessa forma, haveria maior perda de água por evapotranspiração, e conseqüentemente, maior probabilidade de aumento nas chuvas regionais. Contudo, como as áreas de “Mata” e “Cerrado” foram fortemente substituídas por “Cultivo”, conseqüentemente, ocorre a redução do volume precipitado diretamente na bacia.

Como se pode observar no Quadro 41, verifica-se no CENÁRIO 2, que em função da elevação de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação a redução na “Precipitação Direta” na bacia foi inferior que no CENÁRIO 1; nos CENÁRIOS 3 e 4 os valores foram idênticos ao CENÁRIO 1; no CENÁRIO 5 a redução foi superior ao CENÁRIO 2, justificado pelo aumento de apenas 5% na precipitação sugerida pelo CENÁRIO 5, contra 6,9% sugerida no CENÁRIO 2; no CENÁRIO 6 a redução na precipitação foi pouco superior ao CENÁRIO 5; e nesse CENÁRIO 7, onde ocorre aumento de 5,8°C na temperatura e de 15% na precipitação, as alterações são inferiores aos CENÁRIOS 2, 5 e 6, porém apresenta valores semelhantes aos demais cenários; ou seja, em qualquer um dos cenários até agora avaliados, ocorrerá redução na precipitação .

QUADRO 41 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 nos CENÁRIOS 1-7

CENÁRIO	Ano	1995 (mm ano⁻¹)	2060 (mm ano⁻¹)	Varição (%)
1		1.230	1.000	- 18,70
2		1.260	1.069	- 15,16
3		1.230	1.000	- 18,70
4		1.230	1.000	- 18,70
5		1.250	1.059	- 15,28
6		1.300	1.100	- 15,38
7		1.315	1.120	- 14,83

Quando se comparam os dados de precipitação e de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1, 3 e 4, verificam-se que são idênticos; ou seja, a oferta de água aumentou no CENÁRIO 4 em função do aumento das áreas de “Reservatórios” para atender ao crescimento das áreas irrigadas. Como não houve alteração na precipitação e na evapotranspiração, conclui-se que apesar destas áreas terem sido aumentadas, como foi referendado por LATUF (2007), todo esse volume foi utilizado para atender à demanda da irrigação.

No CENÁRIO 5 a elevação na precipitação em 5%, mas com aumento de temperatura em 1°C, considerando que as áreas de “Mata” foram substituídas por “Cultivo” e “Pasto”, que não conseguem manter a mesma taxa evapotranspirométrica, explica, em parte, a redução na “Precipitação Direta” na bacia. No CENÁRIO 6, a elevação na precipitação em 10%, mas com o aumento de 3°C na temperatura, pode ser explicado pelo mesmo motivo que o CENÁRIO 5. No CENÁRIO 7, com a elevação na precipitação em 15%, mas com o aumento de 5,8°C na temperatura, pode-se explicar pelo mesmo motivo que nos CENÁRIO 5 e 6: considerando que a classe de uso do solo “Cultivo” ter sido a que apresentou maior aumento em sua área (+198,09%), por não conseguir manter a mesma taxa evapotranspirométrica que

“Mata” (+11,86%), implica na redução da precipitação. A Figura 122 apresenta as alterações ocorridas na evapotranspiração na bacia do ribeirão Entre Ribeiros com base nos dados coletados da EFFBE para o CENÁRIO 7.

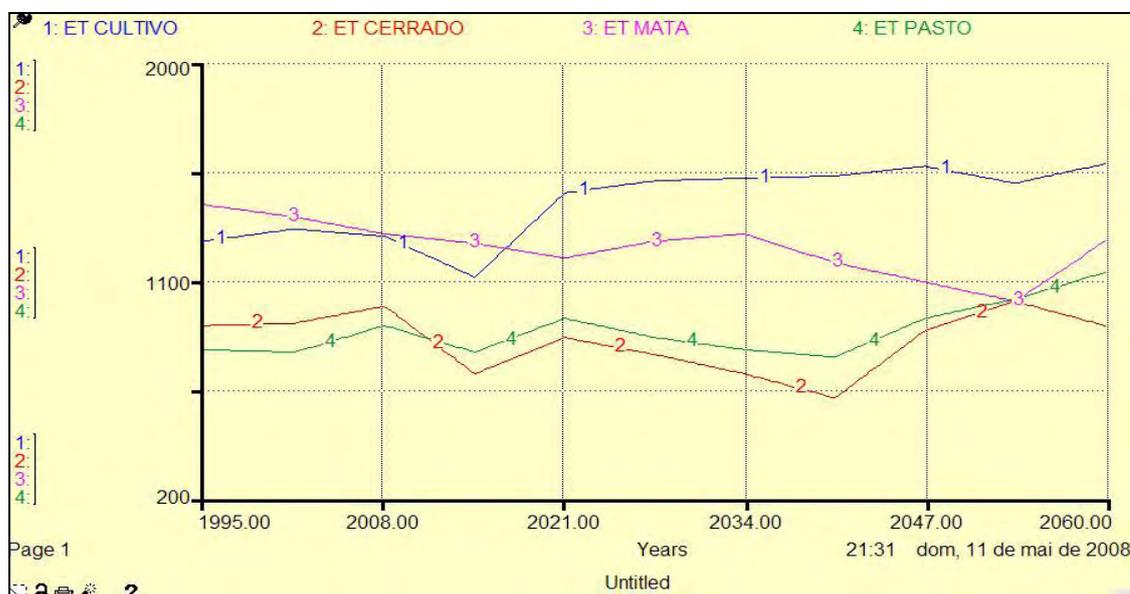


FIGURA 122 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060.

Na Figura 122 e no Quadro 42, percebe-se que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 7 sofreram pequenas variações percentuais com relação aos CENÁRIOS anteriores, com exceção do CENÁRIO 6 para a Categoria “Pasto”. Quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração de “Pasto”, está significando que esta classe de uso do solo está sendo substituída por “Mata”, principalmente (73,88%) e, ou, “Cultivo” irrigado, que apresentam maiores taxas de evapotranspiração.

QUADRO 42 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-7 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,53	- 10,48
CENÁRIO 3	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 4	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 5	+ 33,78	+ 23,97	+ 8,64	- 9,56
CENÁRIO 6	+ 40,00	+ 25,60	0,0	- 10,71
CENÁRIO 7	+ 39,50	+ 25,40	0,0	- 10,64

Verificou-se no CENÁRIO 2 que a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, no período 1995-2016. No CENÁRIO 1 essa contribuição foi até o ano de

2017; ou seja, a elevação de 1°C na temperatura média do ar e de 6,9% na precipitação, sugere que o aumento da precipitação não tenha sido suficiente para que se mantivessem as mesmas taxas evapotranspirométricas. Todas as demais observações relativas à evapotranspiração para o CENÁRIO 2 se repetiram no CENÁRIO 5, justificado pela pequena alteração entre os dois cenários. No CENÁRIO 6, a partir do ano de 2016, “Cultivo” passa a ser a categoria que mais contribuiu para o volume evapotranspirado; essa situação também se repete no CENÁRIO 7. A implicação será a redução no volume precipitado, confirmando o que foi observado no estudo de LATUF (2007).

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda por água é superior a 80% de sua oferta potencial, o ano 2039 no CENÁRIO 2 apontou para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. No CENÁRIO 6, e agora no CENÁRIO 7, foi encontrada a mesma tendência, não tendo sido estimado o Índice de Sustentabilidade, posto o sistema ser visivelmente insustentável. A Figura 123 apresenta a tendência de uso total de água na bacia.

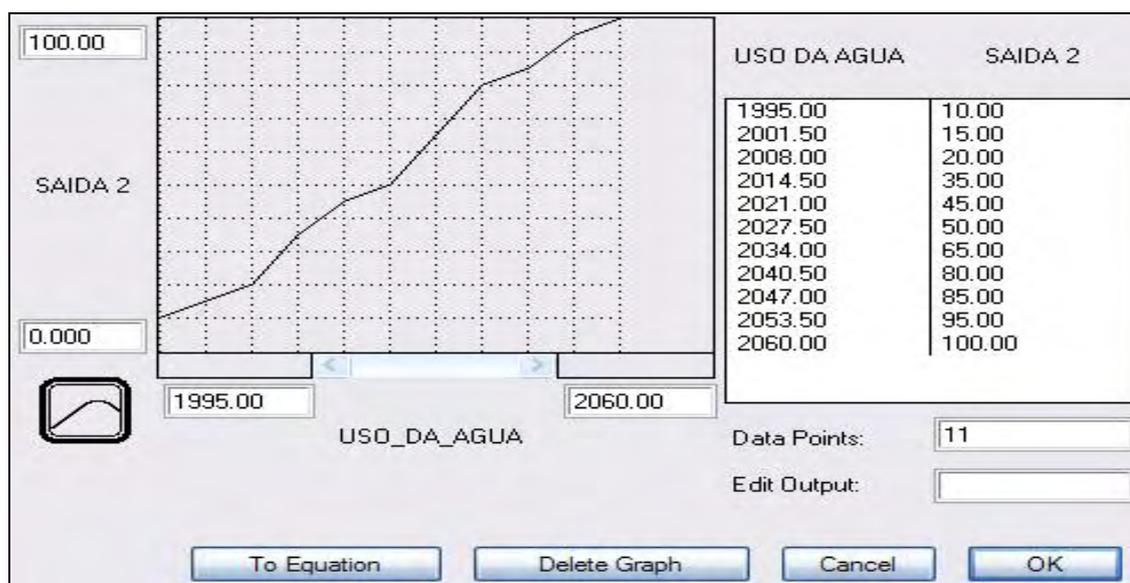


FIGURA 123 - Uso da água para o período 1995-2060 no CENÁRIO 7.

Dessa forma, as políticas públicas destinadas à administração dos recursos hídricos da bacia terão que levar em consideração essas questões e ter em mente a necessidade de existência de diversos cenários para tentar se adaptar às mudanças climáticas. Para isso, será avaliado um novo cenário a partir do incremento da área irrigada em 10% a.a., *ceteribus paribus*.

5.1.8. Cenário 8: Incremento da área irrigada

O CENÁRIO 8 contempla um incremento das áreas irrigadas em 10% a.a.. Tal taxa de crescimento foi estimada baseada em uma média aproximada das taxas de crescimento verificadas nas áreas irrigadas nos Censos Agropecuários de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, do IBGE, que ocorreram nos municípios que compõem as respectivas bacias em estudo.

A análise desse cenário tem significado importante uma vez que os grandes projetos de irrigação constituem a principal fonte de conflitos associados ao uso de água na bacia - conflitos essencialmente de natureza quantitativa e não qualitativa. A questão quantitativa se revela demasiadamente preocupante quando em dois dos mananciais que abastecem os três maiores centros urbanos da região - Unaí, Paracatu e João Pinheiro – assistiu-se a uma queda substancial da vazão: em uma situação de 50 L s^{-1} para 8 L s^{-1} ; e em outra para cerca de metade do que era usual (PROJETO MARCA D'AGUA/IBGE, 2001).

De acordo com RODRIGUEZ (2004) o consumo de água na bacia do Paracatu aumentou cerca de onze (11) vezes no período 1970-1996, com uma taxa de crescimento do consumo de água de $0,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que $0,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ correspondente ao aumento do consumo pela irrigação. Este fato indica a necessidade de adoção de uma gestão adequada dos recursos hídricos que considere a alta taxa de crescimento da demanda de água. Uma das soluções seria o aumento das áreas de “Reservatórios”. No trabalho de LATUF (2007), observou-se que essa classe de uso do solo obteve aumento significativo no período analisado (1985-2000), mas ainda não atende à demanda crescente da atividade de irrigação. Na Figura 124 observam-se as relações existentes atualmente no CENÁRIO 8.

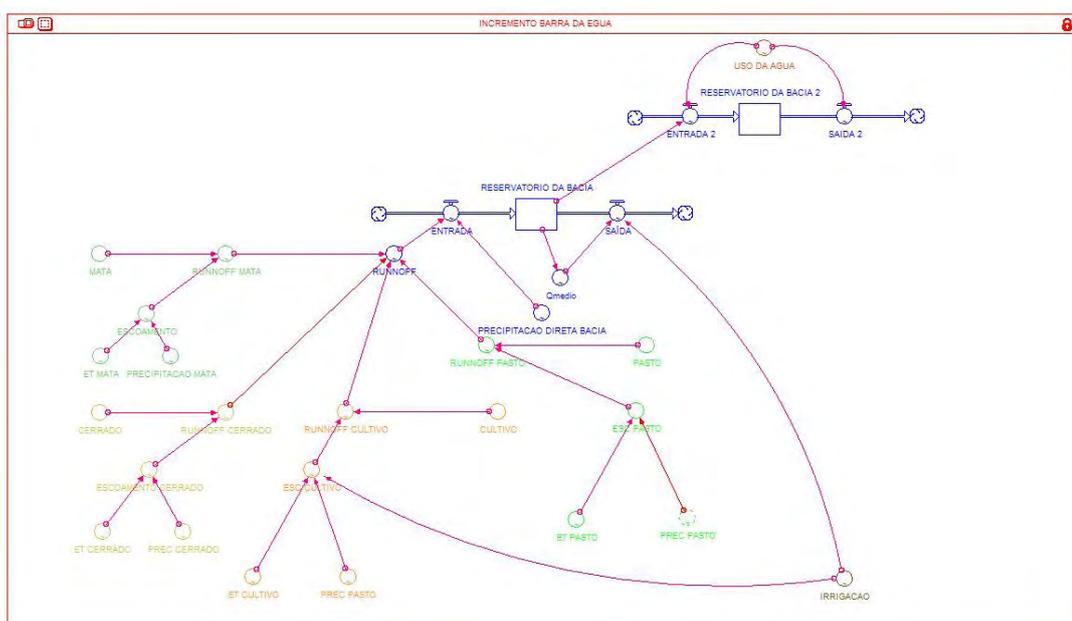


FIGURA 124 - Modelo do estoque e fluxo da água representativo do CENÁRIO 8.

Nesse Cenário, observa-se que o sistema tenderia a exaustão, tal como foi verificado no CENÁRIO 1. Quando se observa a simulação do CENÁRIO 1, que compreende o “Agronegócio atual”, não se considerou nenhuma variação nos demais parâmetros no modelo. Manteve-se, portanto, as tendências de crescimento econômico de longo prazo na bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros, cuja tendência de crescimento das áreas irrigadas já era de 10% a.a. Esse fato pode ser confirmado quando se analisa o uso total de água na bacia (Figura 125).

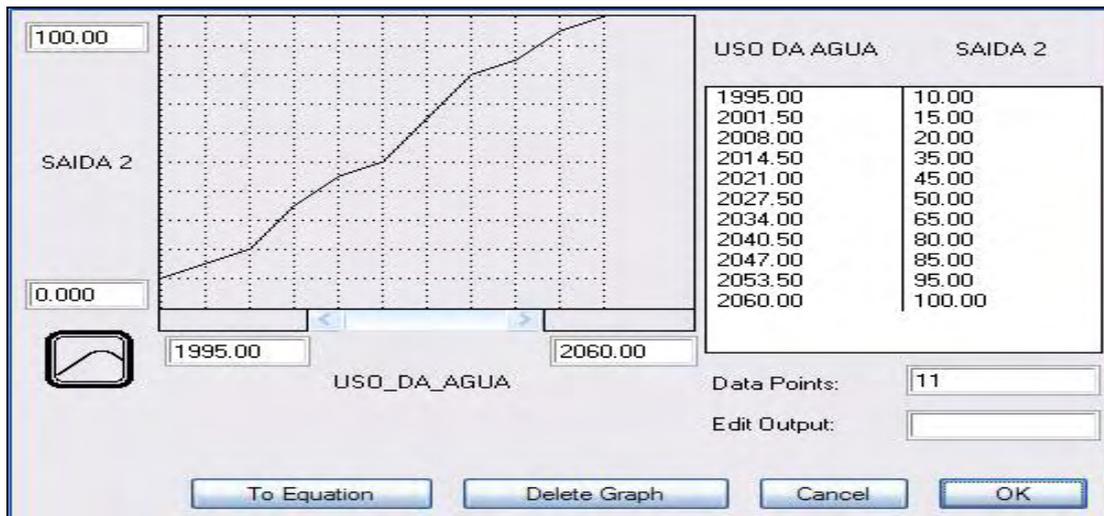


FIGURA 125 - Uso da água no período 1995-2060 no CENÁRIO 8.

Quando se observa o comportamento das demandas de água pela irrigação no período 1995-2060 no CENÁRIO 1, verifica-se a mesma tendência apresentada nesse CENÁRIO 8 (Figura 126).

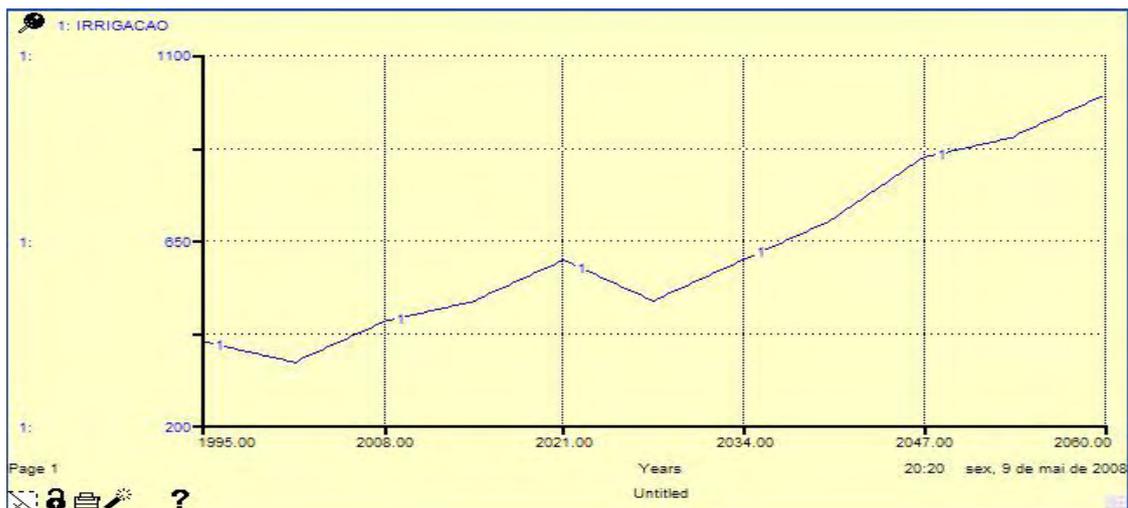


FIGURA 126 - Demanda de água para a irrigação (mm ano^{-1}) no CENÁRIO 1.

A diferença está no período 2021-2034, que pode ser explicado, por exemplo, pela construção de “Reservatórios”, mantendo a disponibilidade de água da irrigação (Figura 127).

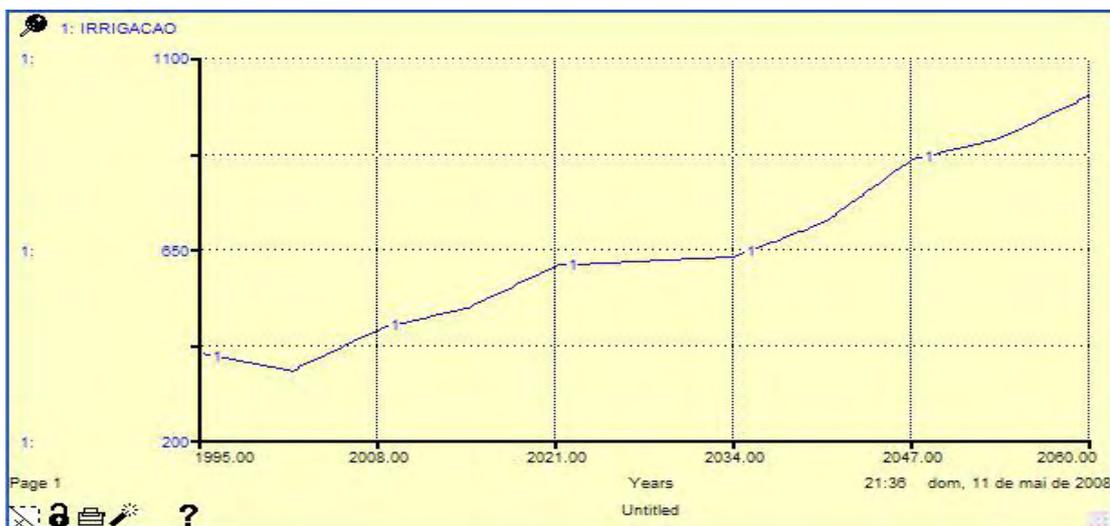


FIGURA 127 - Demanda de água para a irrigação (mm ano⁻¹) no CENÁRIO 8.

A partir desse período, e não se expandindo a construção de reservatórios na mesma proporção que a demanda de água para a irrigação, a tendência do CENÁRIO 8 se iguala novamente ao CENÁRIO 1. Nesse cenário considerou-se a demanda de água apenas para o setor “Irrigação”, apresentado na Figura 87, no ano 1995, de toda a oferta de água da bacia, essa atividade demandaria 400 mm ano⁻¹. Como se observa na Figura 127, sofre pequena queda até o ano de 2001, quando volta a crescer. No CENÁRIO 1, o qual considerou que a tendência de crescimento dessa atividade persistirá, no ano 2021 a demanda seria 600 mm ano⁻¹; em 2047, 850 mm ano⁻¹; e em 2060, 1000 mm ano⁻¹ - tais valores são os mesmos do CENÁRIO 8. Isso se justifica porque no CENÁRIO 1 a tendência de crescimento das áreas irrigadas já era de aproximadamente 10% a.a..

No CENÁRIO 1, para o cálculo do Índice de Sustentabilidade considerou-se como exemplo o parâmetro “Precipitação do Cerrado”, por ser o Bioma da região de estudo. A partir do princípio de que a precipitação é a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, nesse mesmo período, ter-se-iam os seguintes valores precipitados, respectivamente: 990 mm ano⁻¹, 780 mm ano⁻¹, 1000 mm ano⁻¹ e 600 mm ano⁻¹. Determinou-se o índice de sustentabilidade (IS) e, considerando a possibilidade do setor “Irrigação” ser o único consumidor, tiveram-se os seguintes resultados, conforme apresentados no Quadro 43.

QUADRO 43 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros “Irrigação” e Precipitação no “Cerrado”

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	400	990	0,59
2021	600	780	0,23
2047	850	1000	0,15
2060	1000	600	0

Verifica-se assim, que nesta condição, o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, apesar do IS ser de 0,23, significando que o sistema estaria utilizando 77% da oferta potencial de água, nesse período já apontaria para uma condição de vulnerabilidade. No ano de 2047 o IS de 0,15 indica que o sistema já apresenta um forte estresse hídrico, posto estar consumindo 85% da oferta potencial de água. No ano de 2060 o IS é igual a zero; ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa que está ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração.

Dessa forma, a insustentabilidade do sistema já estaria confirmada, mesmo se toda a água disponível fosse destinada apenas à atividade irrigação. Essa condição é idêntica para o CENÁRIO 8, onde se considerando, por exemplo, o parâmetro “Precipitação Direta”, que é a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, nesse mesmo período, ter-se-iam os seguintes valores precipitados, respectivamente: 1.230 mm ano⁻¹, 1.110 mm ano⁻¹, 800 mm ano⁻¹ e 1.000 mm ano⁻¹. Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS) e, considerando apenas a demanda para o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados, conforme apresentados no Quadro 44.

QUADRO 44 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros Irrigação e “Precipitação Direta” na bacia

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	400	1.230	0,67
2021	610	1.110	0,45
2047	860	800	0
2060	1.010	1.000	0

Verifica-se assim, considerando esta condição, que o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, apesar do IS ser de 0,45, significando que o sistema estaria utilizando 55% da oferta potencial de água, nesse período já apontaria para uma condição de vulnerabilidade, que ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água. Isso porque não estão sendo consideradas as demais demandas, como consumo humano, dessedentação animal e ambiental. A partir do ano de 2047, o IS igual a 0 indica que a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa que já ocorreu a sua depleção por sobre-exploração.

Essa situação pode ser justificada quando se analisou o uso total de água na bacia (Figura 88) e na “Precipitação Direta” na área de drenagem (Figura 90), ambas do CENÁRIO 1 do ribeirão Entre Ribeiros tendo por base os dados da EFFBE. Observou-se a tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia, cujo volume precipitado no ano de 1995 correspondia a 1.230 mm ano⁻¹ e no ano de 2060, 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 18,70%.

Ou seja, a “Precipitação Direta” na área da bacia representa uma média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existentes, *ceteribus paribus*. Dessa forma, caso toda a bacia fosse coberta por “Mata”, em função de sua maior capacidade de retenção de água no solo, sua taxa de evapotranspiração seria mais elevada, e provavelmente ter-se-ia um maior volume de chuva na região em estudo, *ceteribus paribus*. Contudo, como a categoria “Cultivo” continuou a sofrer aumento de suas áreas irrigadas, passou a não haver disponibilidade de água para irrigação, e nem para atender as demais demandas, como foi verificado na Figura 125.

Dessa forma, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas. Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, fica imprevisível qual seria o comportamento desse sistema.

5.2. CENÁRIOS ELABORADOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO

Baseado no trabalho de LATUF (2007) foi selecionado para a realização do estudo da bacia do rio Preto a Estação Fluviométrica Porto dos Poções (42600000). O principal motivo dessa escolha se deve ao fato de que esta estação representa as características da bacia onde se insere, fato que subsidiou associações entre modificações do uso do solo e comportamento hidrológico, devido ao seu maior percentual de cobertura de área de drenagem e por estar localizada em seu ponto mais inferior; ou seja, traduz todas as modificações sofridas à montante. Cabe considerar, ainda, a porcentagem de cobertura com relação à área de drenagem: a estação fluviométrica Porto dos Poções (EFPP) cobre 91,99% da área da bacia (9.459 km²), como se pode observar no Quadro 45.

QUADRO 45 - Porcentagem da área da estação fluviométrica Porto dos Poções

Código	Estação Fluviométrica	Bacia	Área total (km ²)	Área de estudo (%)
42600000	Porto dos Poções	Rio Preto	9.459	91,99

Fonte: Modificado de LATUF (2007).

A escala temporal do modelo foi determinada de acordo com a natureza do problema e ao objetivo baseado em que foi desenvolvido. Neste estudo, especificamente nesse sub-capítulo, o objetivo principal é o de avaliar as influências das mudanças das classes do uso do solo e os efeitos de mudanças climáticas sobre os ecossistemas aquáticos, em longo prazo, na bacia hidrográfica do rio Preto, por meio de uma simulação do comportamento hidrológico para o período 1995-2060, a partir dos dados do estudo de LATUF (2007), no período 1985-2000.

É necessário já ter uma perspectiva sistêmica dos recursos hídricos no longo prazo. Isso porque se escolherá um futuro, ainda distante e, de fato, apenas quando esse tempo chegar, será possível avaliar se estes recursos estarão sendo usados de maneira sustentável. Utilizando-se de uma interface amigável, como a que se apresenta na Figura 128, torna-se fácil a experimentação do sistema, onde se apresenta o modelo representativo dos estoques e fluxos da água da bacia hidrográfica do rio Preto, para avaliar opções diferentes da exploração de seus recursos hídricos. Foi realizada a seleção dos componentes ou “entradas” mais importantes, onde se puderam configurá-los por intermédio dos ícones interativos, razão pela qual se tem um laboratório do sistema que permite simular políticas e cenários a fim de descobrir novas idéias e a possibilidade da geração de novos questionamentos.

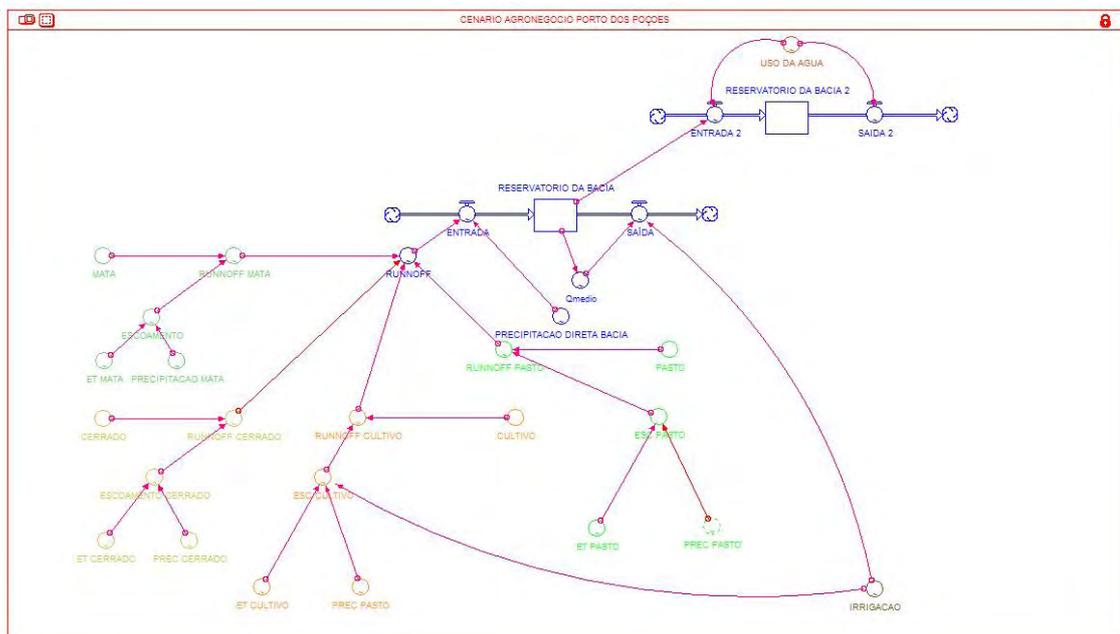


FIGURA 128 - Modelo de estoque e fluxo da água da bacia hidrográfica do rio Preto.

Estabeleceram-se diferentes cenários para analisar e avaliar o comportamento das demandas dos setores econômicos, sociais e ecológicos selecionados: “Cultivo”, “Cerrado”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Mata”, “Urbanização”, “Irrigação” e “Precipitação”. Também, os efeitos causados por limitações e, ou, elevações da oferta de recursos hídricos foram analisadas.

No monitoramento para a área de drenagem da EFPP, no estudo realizado por LATUF (2007), foi registrado crescimento das áreas de “Mata”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Cultivo” e “Urbanização”, tendo sofrido drástica redução a classe de uso do solo “Cerrado”: merece destaque por ter sido a única que sofreu decréscimo em sua extensão (-74,16%, o que equivale a uma área de 3.222,83 km²). O percentual das áreas que deixaram de ser “Cerrado” e se tornaram “Mata”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Cultivo” e “Urbanização” foram de 21,00%, 0,49%, 13,87%, 64,30% e 0,34%,

respectivamente. A maior substituição das áreas de “Cerrado” foi para a classe de uso do solo “Cultivo” (+132,19%, que corresponde a um aumento em sua área de +2.072,19 km²); seguida pela classe “Mata” (+31,54%, que corresponde a um aumento em sua área de 676,80 km²).

De acordo com Costa *et al.* (2003) e Bruijnzeel (1990), *apud* LATUF (2007), com a substituição de “Cerrado” e, ou, “Mata” por “Pasto” e, ou, “Cultivo”, diminui a interceptação da água da chuva. Com o solo mais exposto, ficará mais susceptível às ações da energia cinética associada às precipitações e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração tenderá a ficar reduzida. Tal fato acarretará em aumento do escoamento superficial, com redução da alimentação do aquífero, aumentando, desta forma, as vazões máximas e reduzindo as vazões média e mínimas. Segundo TUCCI (1998), caso o solo permaneça protegido das ações de precipitações diretas sobre a sua superfície, o excedente de precipitação que não é evapotranspirado possui melhores condições de se infiltrar e o aquífero terá uma maior recarga, aumentando, neste sentido, as vazões médias e mínimas e reduzindo as vazões máximas.

Em outro estudo, MOREIRA (2005) evidenciou que para a bacia do rio Paracatu, em seu afluente rio Preto, não há disponibilidade de água para atendimento de novas outorgas de concessão de direito de uso da água até 2010. Ou seja, parece que as alterações das classes de uso do solo e o aumento da demanda por água estão sendo os principais responsáveis por essa situação e condições atuais.

Sobre esses fatos, relações e alterações das vazões cabem considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente causadas por ações antrópicas em combinação com outras ações do passado, presente ou futuras, podem de alguma forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região. É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área.

Cabem algumas importantes considerações sobre a bacia hidrográfica, levantadas no estudo de LATUF (2007), principalmente com relação às classes de uso do solo “Mata”, que apresentou crescimento de +31,54%, o que equivale a uma área de 676,80 km². Nessas áreas, onde houve tendência de aumento de cobertura por essa classe de uso do solo, pode-se associá-la às áreas que não foram utilizadas para a expansão agrícola na bacia, em função de altas declividades. Segundo esse mesmo autor, o crescimento das áreas de cobertura por “Mata” em áreas ditas abandonadas foi mais expressivo onde anteriormente havia “Pasto”. Em um primeiro momento a vegetação nativa da região, o “Cerrado”, foi retirado para dar lugar a áreas de “Pasto”. Entretanto, devido a não capacidade de suporte do meio físico a este tipo de uso, essas áreas foram abandonadas, ficando sujeitas à regeneração natural. Em seguida,

tais áreas não foram utilizadas para a expansão da agricultura na região, o que levou a ocorrer a regeneração natural.

Por outro lado, a classe de uso do solo “Cerrado” obteve um comportamento de redução para todas as áreas de drenagem das estações fluviométricas monitoradas por este estudo, inclusive para a estação Porto dos Poções. Em sua área de drenagem, o “Cerrado” sofreu uma drástica substituição (- 74,16%, o que equivale a uma área de 3.222,83 km²) por outros tipos de cobertura do solo, sendo na maior parte dos casos pelo uso do solo “Cultivo” (64,30%); “Mata” (21,00%) e “Pasto” (13,87%). Este resultado, segundo dados da EMATER (2006), *apud* LATUF (2007), vem comprovar a substituição da vegetação nativa de “Cerrado” por culturas anuais, tais como a soja e o milho.

Assim, a partir da identificação do sistema em estudo e a definição do problema de forma concisa, precisa e clara, foi escolhido como horizonte de planejamento um período de sessenta e cinco (65) anos (1995-2060). De acordo com ORELLANA GONZÁLEZ (2006), o tempo mínimo que é normalmente empregado para a implantação da maioria dos planos de desenvolvimento sócio-econômico é de 25-30 anos. Portanto, os resultados desse estudo atendem a esse critério, inclusive analisando um período que ultrapassa os limites exigidos para o planejamento, o que permite uma melhor visão do futuro e facilita o estudo de modelos de gestão estratégica de longo prazo.

A partir dos dados da realidade levantados sobre as referidas bacias, foram elaborados e examinados oito (8) CENÁRIOS (Quadro 22) que compreenderão futuros aumentos de demanda de água, bem como restrições/aumentos da oferta deste recurso, a fim de se avaliar a sustentabilidade do uso do recurso “Água” nessa região. A descrição detalhada dos Cenários são as mesmas descritas para o estudo do ribeirão Entre Ribeiros (página 193).

5.2.1. Cenário 1: agronegócio atual

A Dinâmica de Sistemas é um enfoque adequado para modelar e simular o comportamento de problemas de recursos hídricos no tempo, permitindo decompô-lo em seus subproblemas. O modelo tem a vantagem de proporcionar informações quantitativas, o que permite analisar vários cenários a fim de escolher a solução mais adequada, sendo que isto se alcança em etapas.

Na primeira etapa se efetuou a simulação do CENÁRIO 1 que compreende o “Agronegócio atual”. Este não considera nenhuma variação nos demais parâmetros no modelo, mantendo-se, portanto, suas tendências atuais. Tal análise é importante posto que serviu de base para os estudos dos demais cenários. Na Figura 129, observam-se

as relações existentes atualmente no CENÁRIO 1, tendo como parâmetros os dados levantados na EFPP.

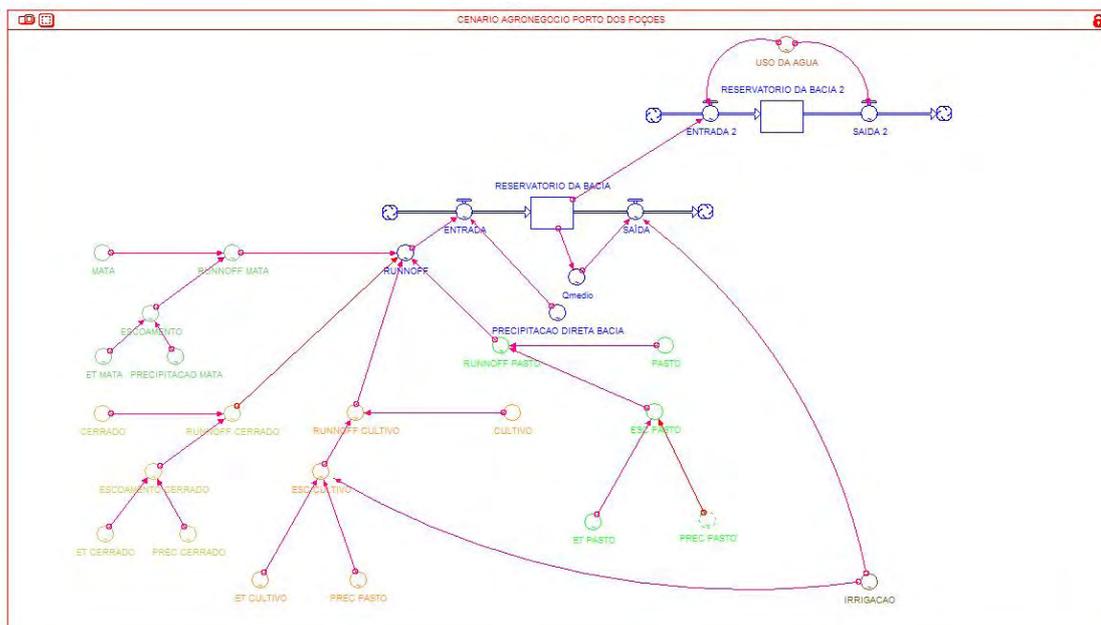


FIGURA 129 - Atividades atualmente desenvolvidas na área de abrangência da EFPP.

Apesar dos dados acima serem apenas relativos à EFPP, os parâmetros avaliados neste CENÁRIO 1 refletem as tendências de crescimento econômico de longo prazo de toda a bacia hidrográfica do rio Preto. Isto pode ser percebido porque esta estação reflete o mesmo comportamento do uso do solo dos principais parâmetros avaliados, no período de 1985-2000, que as demais estações fluviométricas monitoradas nessa bacia (LATUF, 2007), como se pode observar no Quadro 46.

QUADRO 46 - Significâncias e tendências observadas para o comportamento do uso do solo dos principais parâmetros avaliados, no período 1985-2000, para as estações fluviométricas monitoradas no rio Preto

Estações Fluviométricas	Significâncias (%) e Tendências (↑↓) ao longo do tempo para as classes de uso do solo					
	Mata	Cerrado	Pasto	Cultivo	Urbano	Reser. *
Fazenda Limeira	58,5↓	99,3↓	58,4↓	99,9↑	99,9↑	61,4↑
Unai	84,1↑	99,0↓	66,1↓	99,9↑	99,9↑	60,3↑
Santo Antônio do Boqueirão	93,5↑	98,9↓	74,1↓	99,9↑	99,9↑	54,0↑
Fazenda Resfriado	99,8↑	90,3↓	94,7↓	97,9↑	-	64,3↑
Fazenda Santa Cruz	98,7↑	90,3↓	71,5↓	83,9↓	-	30,7↑
Porto dos Poções	99,9↑	99,9↓	69,5↑	99,9↑	99,9↑	64,6↑

*Classe de uso do solo reservatório; - Sem ocorrência; ↑: Crescimento; ↓: Diminuição.

Fonte: LATUF, 2007.

Uma das vantagens do programa STELLA, a plataforma usada para a simulação do modelo, é que lança os resultados obtidos na forma de tabelas, gráficos

ou figuras, como a Figura 130, que indica o comportamento das demandas de água pela irrigação no período 1995-2060.

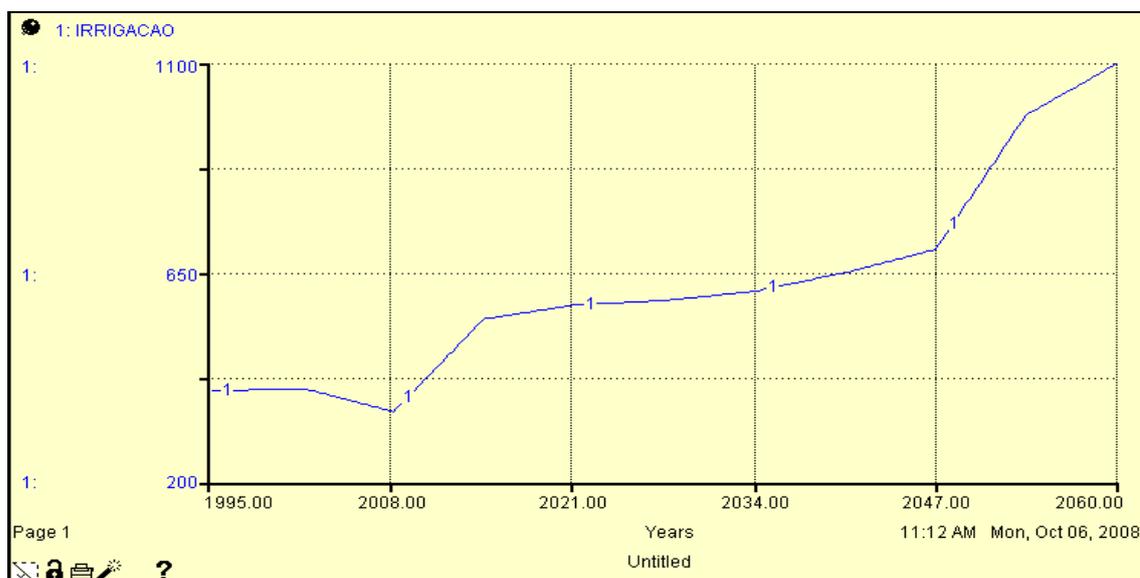


FIGURA 130 - Comportamento da demanda setorial de água na bacia hidrográfica do rio Preto para a atividade irrigação (mm ano⁻¹) no período 1995-2060.

Analisando o CENÁRIO 1 (Agronegócio atual) do rio Preto, quando se considera a demanda de água apenas para o setor “irrigação” (Figura 130), no ano de 1995, considerando toda a oferta de água disponível da bacia, essa atividade demandaria 395 mm ano⁻¹, mantendo constante esse valor até 2002, quando sofre uma queda até o ano de 2008 (350 mm ano⁻¹), voltando a crescer a partir desse período. No ano de 2021 a demanda seria de 580 mm ano⁻¹; em 2047, de 700 mm ano⁻¹; e em 2060, 1.100 mm ano⁻¹.

Considerando como exemplo o parâmetro “Precipitação do Cerrado”, que é o Bioma da região de estudo, e precipitação como a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, nesse mesmo período, ter-se-iam os seguintes valores precipitados, respectivamente: 900 mm ano⁻¹, 700 mm ano⁻¹, 1.100 mm ano⁻¹ e 750 mm ano⁻¹. Ao se determinar o índice de sustentabilidade (IS), onde será considerado apenas o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados (Quadro 47).

QUADRO 47 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando os parâmetros “Irrigação” e Precipitação no “Cerrado” do CENÁRIO 1 do rio Preto

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	395	900	0,56
2021	580	700	0,17
2047	700	1.100	0,36
2060	1.100	750	0

Verifica-se assim, que nesta condição, o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2008, o IS de 0,56 aponta que se estaria utilizando 44% de toda a água disponível na bacia. No ano de 2021, o IS de 0,17 indica que o sistema já apresenta um forte estresse hídrico, posto estar consumindo 83% da oferta potencial de água. No ano de 2047, apesar do IS ser de 0,36, significando que o sistema estaria utilizando 64% da oferta potencial de água, nesse período já apontaria para uma condição de vulnerabilidade, que ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água. Nesse período, pode ter havido a construção de reservatórios que aumentou a oferta de água para a atividade irrigação, mas em quantidade insuficiente para atender a demanda no longo prazo. Observa-se que, no ano de 2060, o IS é igual a zero; ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa que está ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração. Caso se considere a “Precipitação Direta” na bacia, no ano de 2047 o volume precipitado será de 800 mm ano⁻¹, o que implica em IS igual a 0, posto que a demanda é de 850 mm ano⁻¹; portanto, maior que a oferta.

Dessa forma, no CENÁRIO 1 do rio Preto, a insustentabilidade do sistema já estaria confirmada, mesmo se toda a água disponível fosse destinada apenas à atividade irrigação. Na verdade, a situação seria ainda mais grave posto existir as demais demandas, tais como ambiental, consumo humano e dessedentação animal. Esse fato pode ser confirmado quando se analisa o uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFPP (Figura 131).

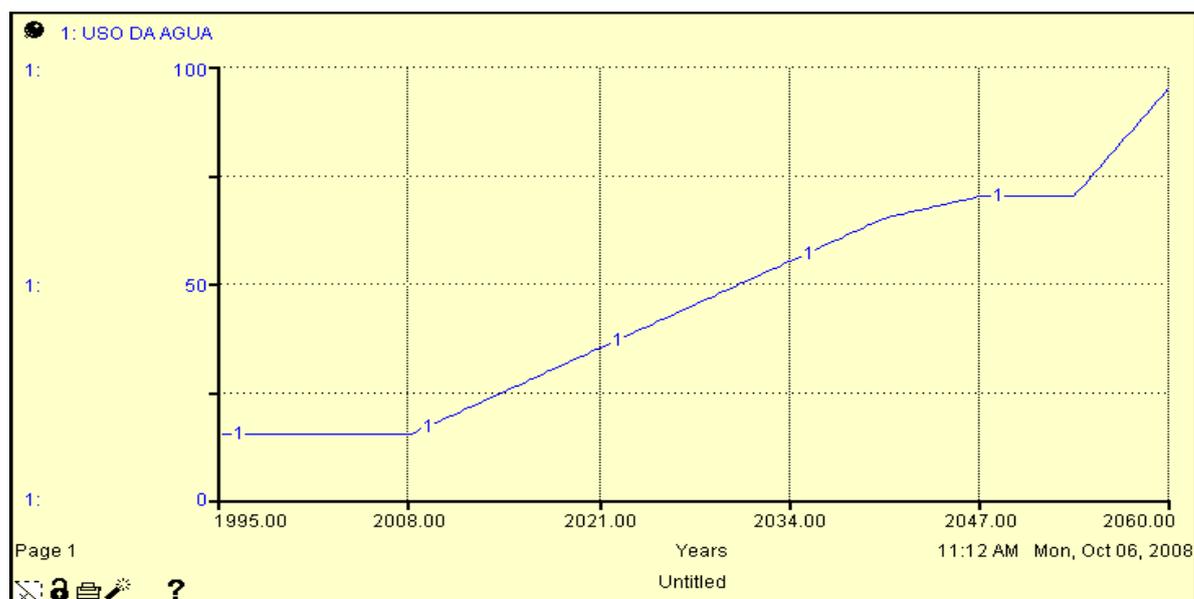


FIGURA 131 - Uso da água no período 1995-2060 com base nos dados da EFPP.

Observa-se na Figura 131 que em 1995 eram consumidos 15% do total de toda a água disponível da bacia, permanecendo constante até 2008. Em 2021, a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 35,00% da disponibilidade hídrica total da

bacia; em 2025, para 41,00%; em 2034, para 55,00%; em 2047, para 70,00%, permanecendo constante até 2053; e em 2056, para 80,00% de toda a água disponível da bacia.

Para justificar essa tendência, podem-se observar os dados relativos às alterações das taxas de evapotranspiração (Figura 132), onde se verifica que a maior contribuição para este parâmetro era “Mata”, no período de 1997-2026. Com o incremento das áreas destinadas à “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte na área da bacia em estudo. As áreas de “Cerrado” apontam uma tendência de elevação até o ano de 2008; sofrendo redução até o ano de 2047, quando volta a apontar crescimento até o final do período analisado (2060, com 850 mm ano⁻¹), apresentando valores superiores ao início do período analisado (1995, com 700 mm ano⁻¹). Isso confirma a tendência de crescimento de outras classes de uso do solo que apresentam taxas transpirométricas mais elevadas sobre o “Cerrado”.

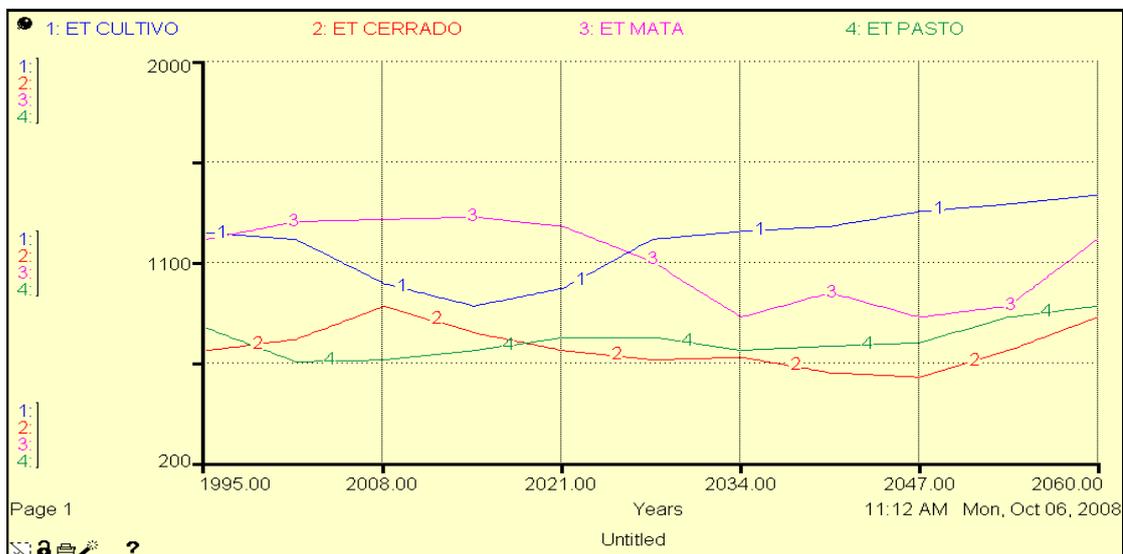


FIGURA 132 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060.

É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Cerrado”, está significando que esta classe de uso do solo poderá estar sendo substituída por “Mata” e, ou, “Cultivo” irrigado, que apresentam maiores taxas de evapotranspiração. Observa-se que a classe “Mata”, a partir do ano de 2047 apresenta tendência de elevação na contribuição da taxa evapotranspirométrica até o final do período analisado (2060).

Cabe lembrar que na área de abrangência da EFPP, apenas a classe de uso do solo “Cerrado” apresentou tendência de redução no período de 1985-2000 analisado por LATUF (2007). Chama atenção o crescimento da importância da categoria “Pasto”, de 700 mm ano⁻¹, para 900 mm ano⁻¹ em 2060, confirmando a

tendência observada por esse mesmo autor, no período mencionado. Há de se considerar que a categoria “Mata” sofre variações ao longo de todo o período analisado, mas termina o período de análise com a mesma contribuição inicial (1.200 mm ano⁻¹), provavelmente, em função do seu crescimento em áreas de “Pasto”. Na avaliação da evapotranspiração do CENÁRIO 1 do rio Preto (Figura 132), observaram-se as seguintes variações das categorias de classes de uso do solo em estudo (Quadro 48).

QUADRO 48 - Variação da evapotranspiração no período 1995-2060 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no CENÁRIO 1

Variação (%) \ Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0

A Figura 133 representa a precipitação na área de drenagem do rio Preto. Observa-se tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia no período analisado desse trabalho, mas com constantes oscilações. Observa-se que o volume precipitado no ano de 1995 correspondia a 1.300 mm ano⁻¹; em 2008, 1.360 mm ano⁻¹; em 2047, 900 mm ano⁻¹; em 2053, apresenta um pico de 1400 mm ano⁻¹; e termina o período analisado, no ano de 2060, com 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 23,08% na “Precipitação Direta” na bacia. Essa redução também foi observada no trabalho de LATUF (2007), onde os comportamentos das variáveis hidrológicas vazões máxima, mínima e média, assim como a precipitação anual e a do mês mais chuvoso tiveram tendências gerais de redução ao longo do período analisado (1985-2000), aumentando os períodos de seca.

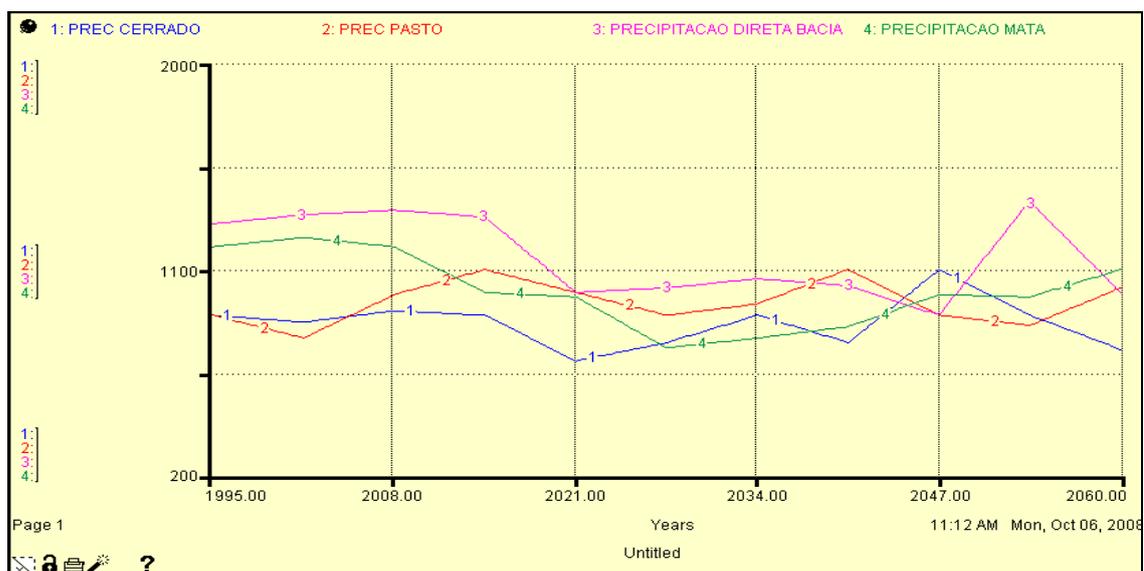


FIGURA 133 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) no período 1995-2060.

Na Figura 133 observa-se que a “Precipitação Direta” na área da bacia, representa uma média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existentes, *ceteribus paribus*. Dessa forma, caso toda a bacia fosse coberta por “Mata”, em função de sua maior capacidade de retenção de água no solo, sua taxa de evapotranspiração seria mais elevada, e provavelmente ter-se-ia um maior volume de chuva na região em estudo, *ceteribus paribus*. O mesmo pode ser dito, em parte, para “Cerrado”, que por ser o Bioma da região, a sua adaptação favoreceria a condição de homeostasia. Dessa forma, a elevação da “Precipitação Direta” no ano de 2053 pode ser reflexo do aumento da classe de uso do solo “Mata”. No Quadro 49 podem-se observar as variações da “Precipitação Direta” na bacia do rio Preto no período de 1995-2060.

QUADRO 49 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia do rio Preto no período 1995-2060 para o CENÁRIO 1

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Variação (%)
1	1.300	1.000	- 23,08

Há de se considerar, também, a possibilidade do crescimento das classes de uso do solo “Reservatório”, estimulando a atividade de “Irrigação”. Dessa forma “Cultivo” continuaria a sofrer aumentos de suas áreas irrigadas, e como se observou na Figura 132, as taxas de evapotranspiração dessa classe seriam elevadas, apresentando contribuições superiores que “Mata”, a partir do ano de 2026. Para tanto, ter-se-ia de haver disponibilidade de água para irrigação - como foi verificado, não há.

Dessa forma, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas. Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, fica imprevisível qual seria o comportamento desse sistema. Por esta questão, serão avaliados cenários considerando os possíveis efeitos de alterações do uso do solo e seus efeitos sobre os recursos hídricos, a partir de mudanças climáticas com alterações na temperatura e na precipitação.

5.2.2. Cenário 2: acréscimos na temperatura (1º C) e na precipitação (6,9%)

Conforme já discutido e observado, a mudança de uso do solo e as mudanças climáticas influenciam as taxas de evapotranspiração e a precipitação, conseqüentemente, sobre os recursos hídricos. Tais alterações ocorrem devido ao nível de evaporação da água contida no solo, da superfície das plantas e dos corpos aquáticos; na água infiltrada no solo; na quantidade de água perdida por transpiração

por diferentes espécies de plantas; o que leva às alterações na quantidade e distribuição de chuva, influenciando no aumento ou redução na vazão dos rios, entre outros.

Para se avaliar os possíveis efeitos das mudanças climáticas na região em estudo, o CENÁRIO 2 considera os efeitos de tais alterações a partir dos acréscimos de 1°C na temperatura e de 6,9% na precipitação, sugeridos por AZEVEDO *et al.* (2005). Tal análise foi de relevante importância posto que serviu de base para o estudo dos demais cenários onde se vislumbrou maiores aumentos nas temperatura e precipitação.

Na Figura 134, observam-se as relações existentes nesse cenário, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFPP. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3) onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

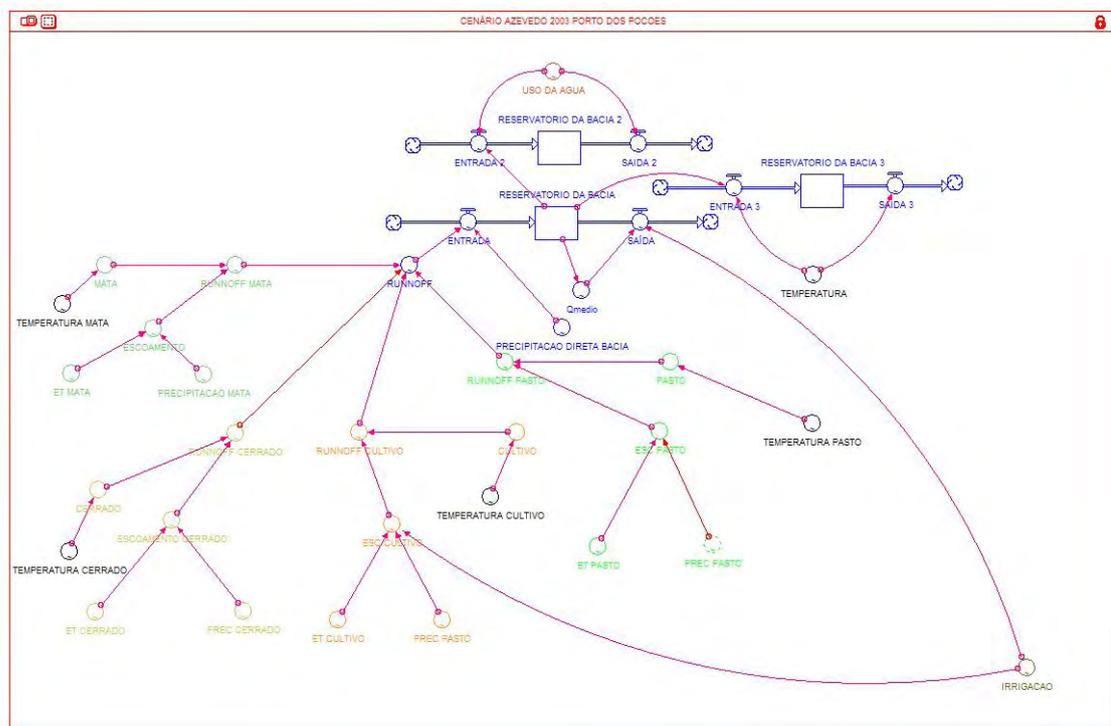


FIGURA 134 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto do CENÁRIO 2.

A região em estudo vem sofrendo intensas modificações em sua paisagem, dadas as constantes alterações no uso do solo. É sabido que as atividades antrópicas sobre o meio ambiente, tais como a pecuária e a agricultura, alteram a dinâmica do clima. Há de se considerar que o clima local, regional e global resulta da interação entre diversas variáveis, tais como temperatura, pressão atmosférica e temperatura das águas superficiais de superfícies tais como lagos, rios e oceanos. Essas e outras variáveis afetam, por conseguinte, a ocorrência de chuvas. A Figura 135 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 2 com acréscimos de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação.

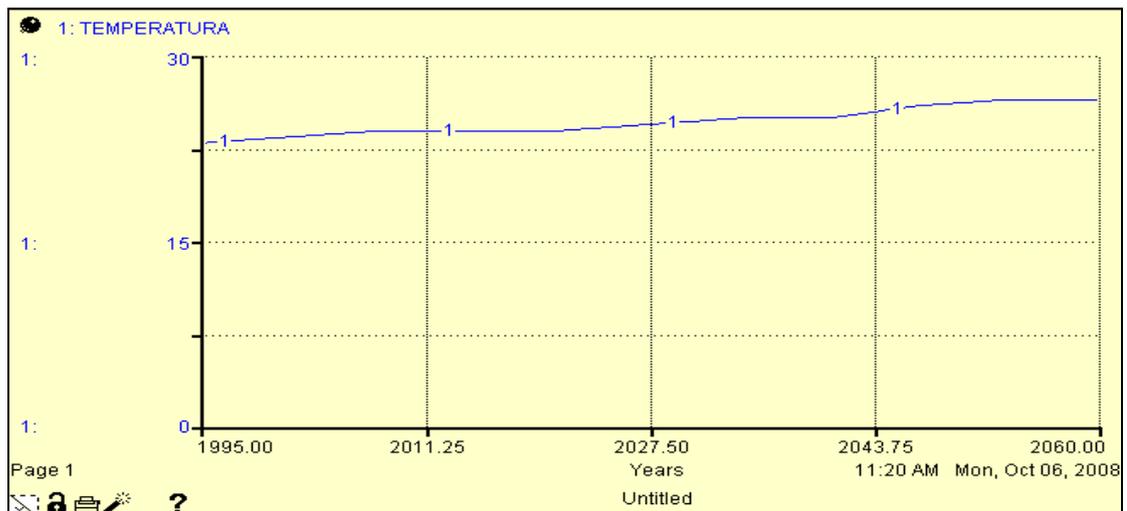


FIGURA 135 - CENÁRIO 2: acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano de 2008, “Mata” contribuía com 1.200 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 990 mm ano⁻¹; “Cerrado”, com 920 mm ano⁻¹, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de 1.360 mm ano⁻¹. Há de se considerar que tal volume é superior que qualquer um de seus contribuintes; ou seja, a “Precipitação Direta” na bacia recebeu influências externas.

No CENÁRIO 2 (Figura 136), em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, no ano de 2008, “Mata” passou a contribuir com 1.500 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com 1.120 mm ano⁻¹; “Cerrado”, com 850 mm ano⁻¹, enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia é de 1.350 mm ano⁻¹. Observa-se que apesar da precipitação na “Mata” ter aumentado em 300 mm ano⁻¹, a “Precipitação Direta” na bacia reduziu em 10 mm ano⁻¹.

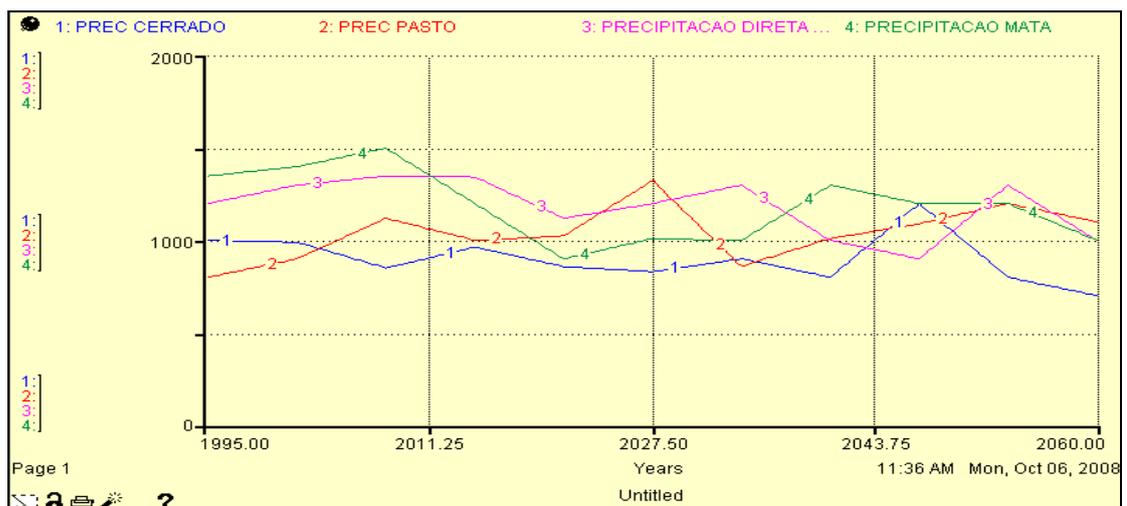


FIGURA 136 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) no período 1995-2060.

Verifica-se assim, que a “Precipitação Direta” reflete a média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existente nessa área, *ceteribus paribus*, que em função da redução percentual relativa das áreas de “Mata”, o acréscimo de precipitação não foi significativo o suficiente para influenciar na média

precipitada na bacia, posto que “Cerrado” foi substituído principalmente por “Cultivo” (64,30%) e, ou, “Pasto” (13,87%), que não conseguem manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”.

Observa-se que a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 é de 1.200 mm ano⁻¹, com tendência de elevação até o ano de 2008, quando atinge um volume precipitado de 1.350 mm ano⁻¹. A partir desse período, sofre várias oscilações até o ano de 2053, quando atinge 1.300 mm ano⁻¹, sofrendo a partir desse ano redução até ao final do período analisado desse estudo (2060), terminando em 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 16,67%.

Outra importante consideração é que apesar da temperatura média do ar ter se elevado em apenas 1°C como proposto nesse cenário, ao final do período analisado, a temperatura na “Mata”, no “Pasto” e no “Cerrado” se elevaram em 3°C; enquanto que no “Cultivo” se elevou em 2°C (Figura 137). Dessa forma, haverá maior perda de água por evapotranspiração, e conseqüentemente, maior probabilidade de aumento nas chuvas – locais e, ou, regionais. O menor aumento da temperatura do “Cultivo”, talvez, possa ser explicado pela influência da irrigação, que reduz a temperatura do solo e da própria vegetação, criando um microclima com condição menos estressante às culturas e ao ambiente.

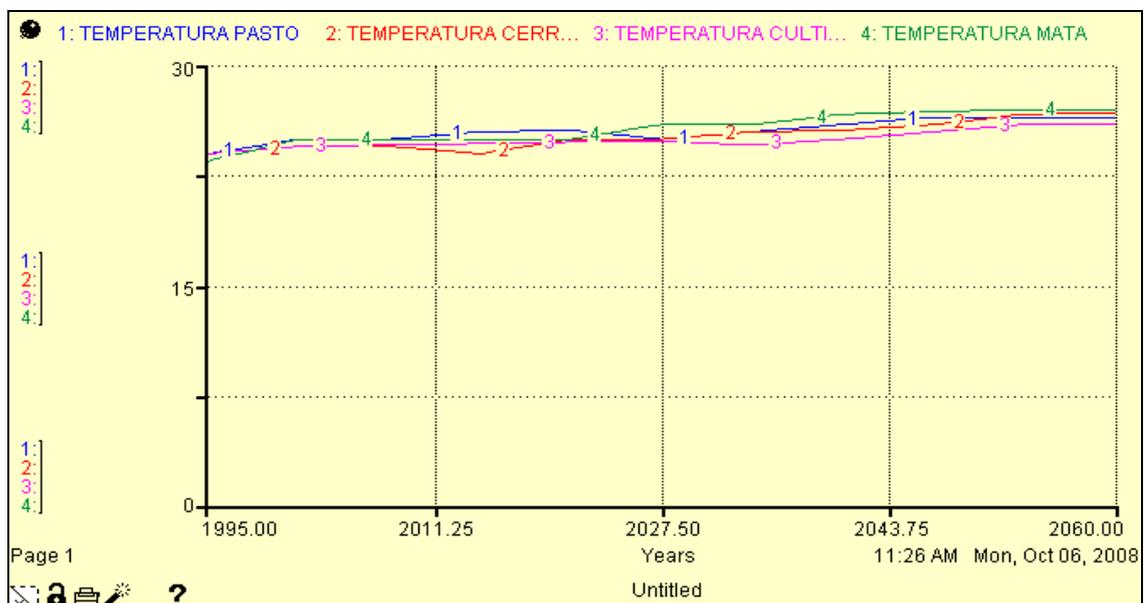


FIGURA 137 - Tendência de elevação da temperatura de classes selecionadas de uso do solo no período 1995-2060 na bacia do rio Preto.

Outra importante observação na Figura 136 refere-se ao “Cerrado”. Observa-se que o acréscimo sugerido na temperatura e na precipitação, a contribuição sobre o volume precipitado ao longo do tempo variou de 1.000 mm ano⁻¹, em 1995; para 800 mm ano⁻¹ em 2040. Desse período até o ano de 2047 ocorre uma elevação na contribuição da precipitação do “Cerrado”, atingindo o valor de 1.200 mm ano⁻¹.

Provavelmente, áreas desse Bioma, nesse período, foram substituídas por “Mata”, fazendo com que a sua contribuição aumentasse até o ano de 2047, quando volta a cair drasticamente. Provavelmente, nesse período, a substituição do “Cerrado” deve ter-se dado principalmente por “Cultivo” e, ou, “Pasto”, atingindo o valor de 700 mm ano⁻¹.

No período analisado (1995-2060) a redução da precipitação no “Cerrado” foi de 42,85%; superior a “Mata” (35,00%) e a “Precipitação Direta” na bacia (20%); a classe de uso do solo “Pasto”, por outro lado, sofreu um acréscimo de 37,50% sobre a contribuição de precipitação na bacia. A Figura 138 apresenta as alterações ocorridas na evapotranspiração na bacia do rio Preto com base nos dados da EFPP.



FIGURA 138 - Comportamento da evapotranspiração para o período 1995-2060.

Verifica-se na Figura 138 que a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, no período 1995-1997. Nesse período, no CENÁRIO 1, era “Cultivo” o principal responsável pela evapotranspiração. No CENÁRIO 2, período 2005-2022, “Mata” é o maior contribuinte para evapotranspiração, quando a partir desse ano de 2002, até ao final do período analisado (2060), passa a ser “Cultivo” o principal contribuinte para a evapotranspiração. Ou seja, a elevação de 1°C na temperatura média do ar e de 6,9% na precipitação, que fizeram com que a temperatura da “Mata” se elevasse em 3°C no período analisado (1995-2060), implicou em que o aumento da precipitação não tenha sido suficiente para que se mantivesse as mesmas taxas evapotranspirométricas, considerando que a maior substituição das áreas de “Cerrado” foi para “Cultivo” (+132,19%). Dessa forma, com a sua substituição por “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo, já no ano de 1997, implicando na redução da “Precipitação Direta” da bacia, com conseqüente redução nas vazões média e mínimas.

As áreas de “Cerrado” apontam uma tendência de elevação durante o período analisado (800 mm ano⁻¹, 1995; para 900 mm ano⁻¹, em 2060); ou seja, exatamente o mesmo comportamento apresentado no CENÁRIO 1 (700 mm ano⁻¹, 1995; para 850 mm ano⁻¹, em 2060). Observa-se que em função do aumento de temperatura, a contribuição do “Cerrado” para a evapotranspiração passa a ser maior, significando que possivelmente tenha sido substituída por “Mata” e, ou, “Cultivo” irrigado. Avaliando os valores apresentados na Figura 138, observaram-se as seguintes variações das classes de uso do solo em estudo (Quadro 50).

QUADRO 50 - Variação das taxas de evapotranspiração nos CENÁRIOS 1-2 no período 1995-2060 para classes selecionadas de uso do solo

Variação (%) \ Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43

No Quadro 50 verifica-se um aumento significativo da contribuição da evapotranspiração das áreas de “Pasto” e moderado para “Cultivo” e “Cerrado”, e redução da contribuição nas áreas de “Mata”. Relacionando-o à Figura 138, sugere-se que sendo as áreas de “Cultivo” e “Pasto” as que tiveram maior tendência de elevação na contribuição para a evapotranspiração nesse novo cenário, essa condição aponta para a redução da precipitação regional, posto que “Cultivo” e “Pasto” não conseguem manter uma taxa evapotranspirométrica aos mesmos níveis que “Mata”. O aumento significativo na contribuição de “Pasto” significa que essa área foi substituída, principalmente, por “Mata”. Esse fato é preocupante, quando se analisa a Figura 139, que apresenta a tendência de uso total de água na bacia.

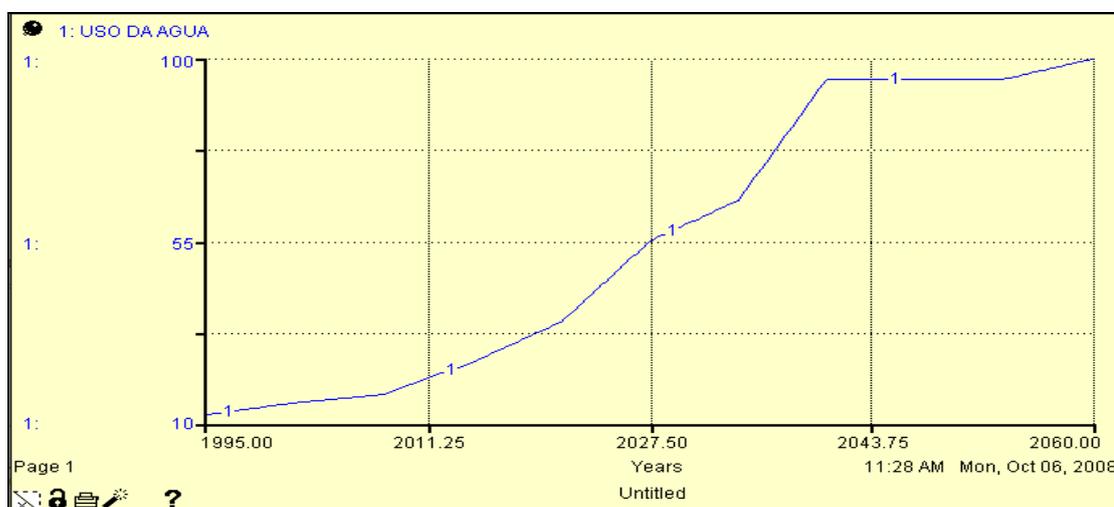


FIGURA 139 - Projeção para o uso da água (%) no período 1995-2060 na bacia do rio Preto.

Comparando o uso total da água com o uso para irrigação (Figura 140), observa-se que praticamente todo o consumo regional é destinado a essa atividade.

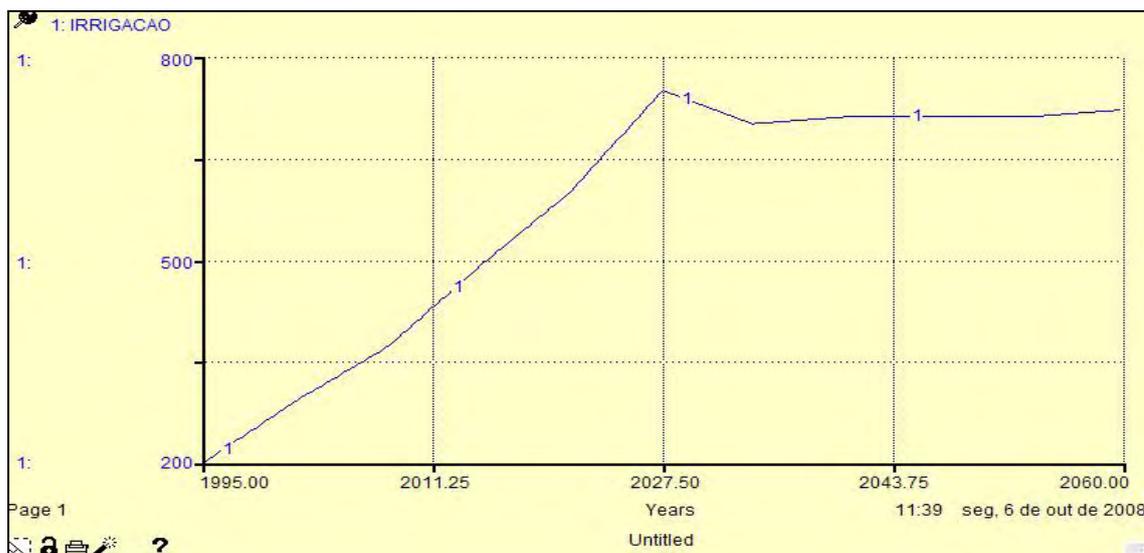


FIGURA 140 - Uso da água para a irrigação (mm ano^{-1}) no período 1995-2060 na bacia do rio Preto.

No CENÁRIO 1 observou-se que em 1995 eram consumidos 15% do total de toda a água disponível da bacia, mantendo-se esse valor constante até o ano de 2008. Em 2021 a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 35,00% da disponibilidade hídrica total da bacia; em 2034, a simulação aponta para um consumo de 55,00%; em 2037, 60%; em 2047, para 70,00%; em 2025, para 58,46%; em 2034, para 70%, mantendo-se constante até o ano de 2053; em 2056 já se utilizava 80% de toda a água disponível da bacia.

Quando se analisa o consumo de água no CENÁRIO 2 (Figura 139), observa-se que em 1995 o consumo representa 12% do total de toda a água disponível da bacia (em função do aumento de 6,9% da oferta de água na bacia), contribuindo para a melhoria do Índice de Sustentabilidade; contudo, em 2021, já são utilizados os mesmos 35,00% do total de toda a água disponível da bacia, tal como no CENÁRIO 1. Tal fato pode ser explicado pelo aumento das áreas de "Cultivo", aumento esse justificado, em parte, pela maior oferta de água. Desse período em diante a demanda de água é sempre crescente: em 2034, 65%; e em 2037, 80% de toda a água disponível da bacia; ou seja, nesse ano o sistema se torna insustentável. Percebe-se, assim, que mesmo tendo havido aumento da precipitação, em função do uso do solo e das mudanças climáticas que influenciaram na taxa de evapotranspiração, o sistema se tornou insustentável em data anterior ao CENÁRIO 1.

Observa-se que quando se comparam os consumos do ano de 2034, a diferença entre os CENÁRIOS 1 e 2 é de 10,00%, e em 2037 essa diferença se eleva para 20%. Tal fato pode ser explicado pela evapotranspiração no CENÁRIO 1: em 2034, para "Cultivo", era $1.236 \text{ mm ano}^{-1}$. No CENÁRIO 2, nesse mesmo ano de 2034,

a evapotranspiração era 1.510 mm ano⁻¹. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 6,9%, sugerindo ter ocorrido elevação na oferta de água, houve o estímulo ao incremento das áreas de “Cultivo”. Contudo, em função do aumento da temperatura, a taxa evapotranspirométrica aumentou, e como essa classe de uso do solo não consegue reter água no solo para que se pudesse manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”, fez com que a oferta de água fosse reduzida, confirmada pela menor “Precipitação Direta” na bacia.

Na verdade, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 16,67% (1.200 mm ano⁻¹ para 1.000 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060). Dessa forma, a partir do momento em que se percebeu tal tendência, novamente o uso da água se estabilizou, mas em uma condição que já era de estresse – consumo de 95% de toda a água disponível na bacia. Quando se compara com o CENÁRIO 1, observa-se que o volume precipitado no ano de 1995 correspondia a 1.300 mm ano⁻¹; e no ano 2060, 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 23,08% na precipitação. No Quadro 51 verifica-se que no CENÁRIO 2, apesar das mudanças climáticas, a redução na “Precipitação Direta” na bacia é inferior ao CENÁRIO 1.

QUADRO 51 - Comportamento da precipitação no período 1995-2060 nos CENÁRIOS 1-2

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.300	1.000	- 23,08
2	1.200	1.000	- 16,67

Justifica-se tal comportamento apresentado no Quadro 51 em função do aumento da temperatura que provocou a elevação das taxas evapotranspirométricas, aumentando o volume precipitado no CENÁRIO 2. Contudo, ao longo do período analisado (1995-2060), observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia foi reduzida. Tal fato se deu, provavelmente, em função da mudança do uso do solo, de “Mata” e “Cerrado” para “Cultivo” e, ou, “Pasto”, que não conseguem manter a mesma taxa evapotranspirométrica.

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, o ano de 2037, no CENÁRIO 2, aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico (IS = 0,20). Há de se considerar que a bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do nível e da distribuição das chuvas. Dessa forma, aí está a importância de natureza climática. Na verdade é difícil a quantificação de todas as possíveis conseqüências, especialmente porque muitas das externalidades e impactos são desconhecidos e incalculáveis. Para isso, será avaliado um novo cenário a partir de mudanças climáticas, mas com redução de 20% na oferta de água.

Figura 142 observa-se a curva da oferta de água no período 1995-2060 na área de abrangência da EFPP.

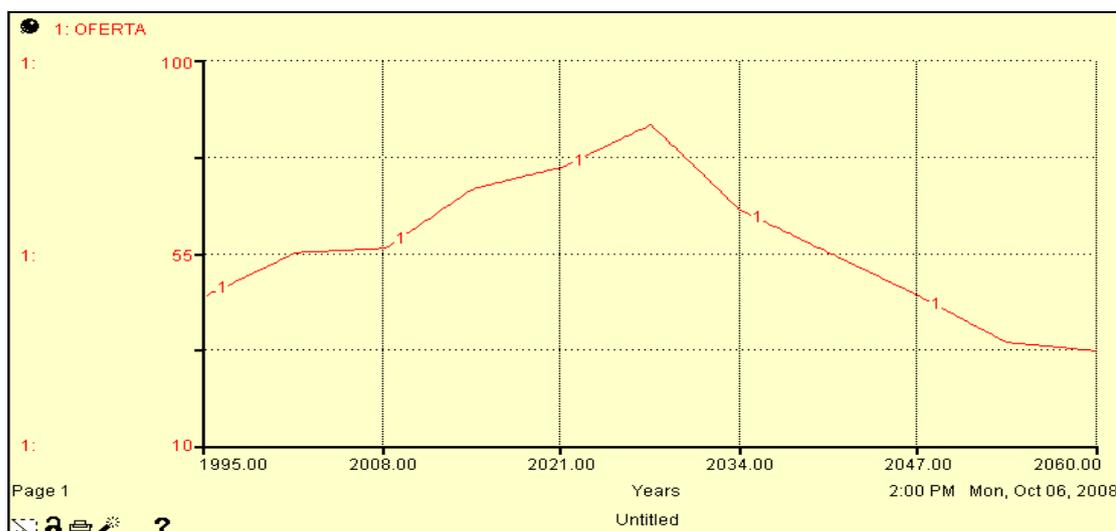


FIGURA 142 - Oferta de água reduzida em 20% no período 1995-2060.

Observa-se que em 1995, 45% do total de água da bacia estavam sendo ofertados. A curva aponta a elevação da oferta até o ano de 2040, atingindo 80% da oferta potencial de água. A partir desse limite, em função da demanda ambiental, dessedentação animal, consumo humano, entre outros, caso a demanda por água permaneça em elevação, o sistema entra em colapso por sobre-exploração, que nesse CENÁRIO 3, foi exatamente o acontecido: em 2027 a oferta atingiu o valor de 85% do valor total disponível na bacia, acima do limite tolerável de 80%.

Dessa forma, a partir do ano de 2027, a oferta começa a ser reduzida: talvez por influência de mudanças climáticas, que com a elevação de temperatura e as mudanças da classe de uso do solo “Cerrado” (-74,16%), por “Cultivo” (crescimento de +132,19%) e, ou, “Pasto” (+33,07%), acabou resultando em redução da “Precipitação Direta” na bacia como consequência da redução da evapotranspiração local; ou talvez pela crescente demanda pela atividade de “Irrigação”.

Como resultado final, no ano 2060 a oferta disponível é de apenas 32% do total. Ou seja, uma redução de 13% na oferta de água em função de alterações de classes de uso do solo e, ou, mudanças climáticas; ou por demandas excessivas para a prática de irrigação, fez com que o sistema entrasse em estresse, fazendo com que a oferta fosse, de fato, reduzida de 45% do total disponível da bacia para apenas 32%. Tal análise ganha sustentação quando se analisa a Figura 143, que ilustra a curva de demanda de água no período analisado (1995-2060) na área de abrangência da EFPP. Verifica-se que demanda por água na bacia apresenta crescimento constante – condição que aponta para a vulnerabilidade do sistema.



FIGURA 143 - Demanda de água na bacia do rio Preto no período 1995-2060.

Quando se analisou o uso da água no CENÁRIO 1, observou-se que as demandas hídricas aumentavam na medida em que a população crescia e que se aumentavam as áreas cultivadas. Verificou-se que a demanda ultrapassaria o limite de 80% da água disponível da bacia e que o sistema era insustentável. Nesse CENÁRIO 3, quando se analisam as curvas de demanda e oferta em um mesmo gráfico (Figura 144), observa-se a insustentabilidade do sistema. Considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2056, no CENÁRIO 1, apontava para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. Nesse CENÁRIO 3, como houve redução na oferta de água em 20%, esse época é antecipada para o ano de 2029.



FIGURA 144 - Demanda e oferta de água na bacia do rio Preto no período 1995-2060.

Determinando-se o Índice de Sustentabilidade (IS) em uma simples relação oferta/demanda, têm-se os seguintes resultados (Quadro 52).

QUADRO 52 - Índice de sustentabilidade (IS): relação oferta/demanda para o CENÁRIO 3

ANO	DEMANDA (%)	OFERTA (%)	IS
1995	5	45	0,89
2011	30	62	0,52
2027	58	85	0,32
2028	59	83	0,29
2029	62	78	0,20
2032	71	66	0

Verifica-se assim que mantidas a condição de alteração do uso do solo e demanda crescente por água para as atividades antrópicas, a tendência apontada pelo modelo sugere que o sistema tornar-se-á insustentável. Observou-se que no CENÁRIO 1, no ano 1995, o IS era 0,56, significando que o sistema estaria utilizando 44% da oferta potencial de água. No ano 2021 o IS era 0,17, indicando que o sistema já apresentava um forte estresse hídrico, posto estar consumindo 83% da oferta potencial de água; e no ano de 2060 o IS era igual a zero; ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais. Nesse CENÁRIO 3 observa-se que em função da redução em 20% da oferta de água total disponível para demanda, os períodos onde ocorre a situação de estresse são antecipados e permanentes. No CENÁRIO 1 o IS era igual a zero no ano de 2060, nesse CENÁRIO 3, em 2032. Para justificar essa tendência de redução, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 145).

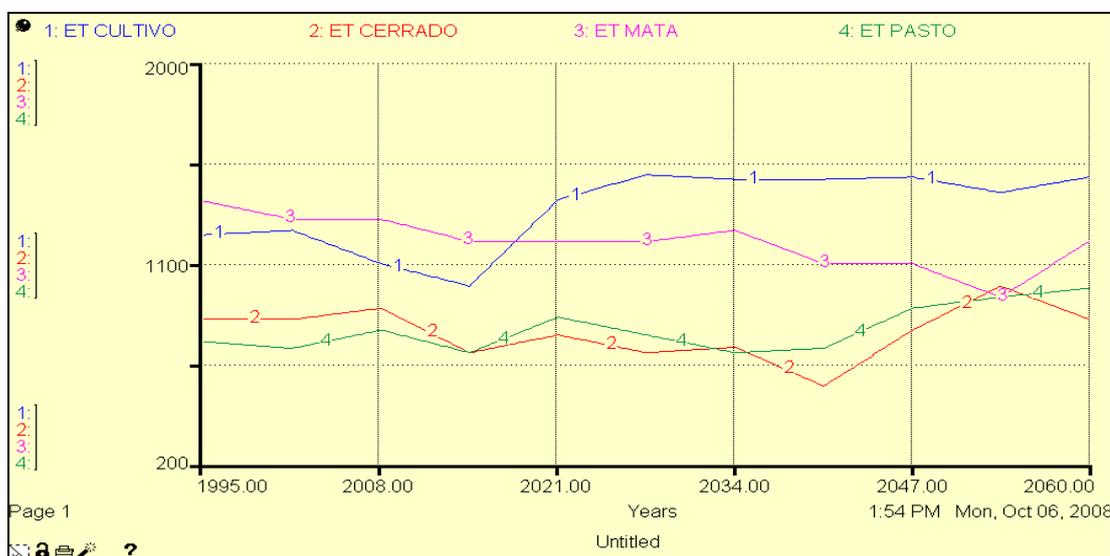


FIGURA 145 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 3.

Verificou-se no CENÁRIO 1 que a contribuição no período 1995-1997 são praticamente idênticas para “Mata” e “Cultivo”. A partir de 1997 a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, até o ano 2025. A partir desse ano, devido ao significativo aumento das áreas de “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo. As áreas de “Cerrado” apontam

uma tendência de aumento até 2008; de redução até o ano de 2047, a partir de quando aponta crescimento até o final do período analisado. Tais condições se repetem nesse CENÁRIO 3 (Figura 145). Como comentado no CENÁRIO 1, que sendo “Cultivo” a principal responsável pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia. Avaliando os valores apresentados na Figura 145, observaram-se os seguintes comportamentos das classes de uso do solo em estudo (Quadro 53).

QUADRO 53 - Comportamento da taxa de evapotranspiração no período 1995-2060 para categorias selecionadas no CENÁRIO 3

Ano Categoria	1995 (mm ano⁻¹)	2060 (mm ano⁻¹)	Variação (%)
Pasto	800	900	+ 12,50
Cultivo	1.230	1.400	+ 13,82
Cerrado	700	850	+ 21,43
Mata	1.200	1.200	0,0

Verifica-se no Quadro 53 um aumento significativo da importância na contribuição das classes de uso do solo “Pasto” e “Cultivo” no volume evapotranspirado. Sabe-se que o crescimento dessas áreas implicou em redução das áreas de “Cerrado”. Por outro lado, o crescimento da contribuição da classe “Cerrado”, significa que essa área foi substituída por “Cultivo” irrigado, e, ou, “Mata”. Relacionando-o à Figura 145, pode-se afirmar que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse novo cenário, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia. Ou seja, a redução de 20% na oferta de água poderá ocorrer em função da substituição da cobertura vegetal anteriormente existente, particularmente “Cerrado” e, ou, “Mata”, por “Cultivo”, principalmente, e “Pasto”.

No Quadro 54 observa-se que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 3 sofreram variações percentuais bastante diferenciadas para as classes de uso do solo “Pasto” e “Cerrado”, quando comparadas ao CENÁRIO 2; por outro lado, idênticas ao CENÁRIO 1.

QUADRO 54 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-3 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria Variação (%)	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43
CENÁRIO 3	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0

Verifica-se no Quadro 54 que “Pasto” no CENÁRIO 3 passou a contribuir com valores bem inferiores que no CENÁRIO 2. Isto significa que em cenários onde ocorre redução na oferta de água essa classe de uso do solo pode ter sido substituída por “Cultivo” que apresenta pequena participação na “Precipitação Direta” na bacia, por não conseguir armazenar água no solo em condições próximas à “Mata”. Quando comparado ao CENÁRIO 1, verifica-se que todas as categorias apresentam valores idênticos; ou seja, sugere que o CENÁRIO 2 já apresentava condição de redução de oferta de água, possivelmente por efeitos das mudanças climáticas e alterações das classes de uso do solo, além do uso excessivo na atividade de irrigação.

Considerando a categoria “Pasto”, o aumento de sua contribuição no CENÁRIO 2 com relação aos CENÁRIOS 1 e 3, significa que essas áreas foram substituídas por “Mata” e, ou, “Cultivo” irrigado, que apresentam maiores taxas evapotranspirométricas. Na verdade, todas essas alterações sugerem que haverá bastante influência as alterações dessas classes de uso do solo sobre a precipitação. De fato, verifica-se que a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 20,00% (1.250 mm ano⁻¹ para 1.000 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060).

Quando se compara com o CENÁRIO 1, observa-se que o volume precipitado no ano de 1995 correspondia a 1.300 mm ano⁻¹ e no ano de 2060 de 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 23,08% na precipitação. No CENÁRIO 2, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 16,67% (1.200 mm ano⁻¹ para 1.000 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060). No Quadro 55 verifica-se que no CENÁRIO 2, apesar das mudanças climáticas (aumento de 1°C na temperatura e 6,90% na precipitação), a redução na “Precipitação Direta” na bacia foi inferior ao CENÁRIO 1 (Agronegócio atual); e que no CENÁRIO 3 (redução na oferta de água em 20%), os valores foram intermediários aos CENÁRIOS 1 e 2.

QUADRO 55 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-3

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano⁻¹)	2060 (mm ano⁻¹)	Varição (%)
1	1.300	1.000	- 23,08
2	1.200	1.000	- 16,67
3	1.250	1.000	- 20,00

De forma inesperada, mas já levantada anteriormente, o CENÁRIO 3 - que analisou o comportamento do sistema onde ocorre uma redução de 20% na oferta de água – apresentou uma variação na “Precipitação Direta” na bacia inferior ao CENÁRIO 1 – “Agronegócio atual”; ou seja, provavelmente, sugere a confirmação da teoria levantada de que a redução da oferta se deu em função do aumento da demanda. A Figura 146 representa a precipitação na área de drenagem do rio Preto,

onde se observa que a tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia persistirá até o final do período analisado desse trabalho (2060).

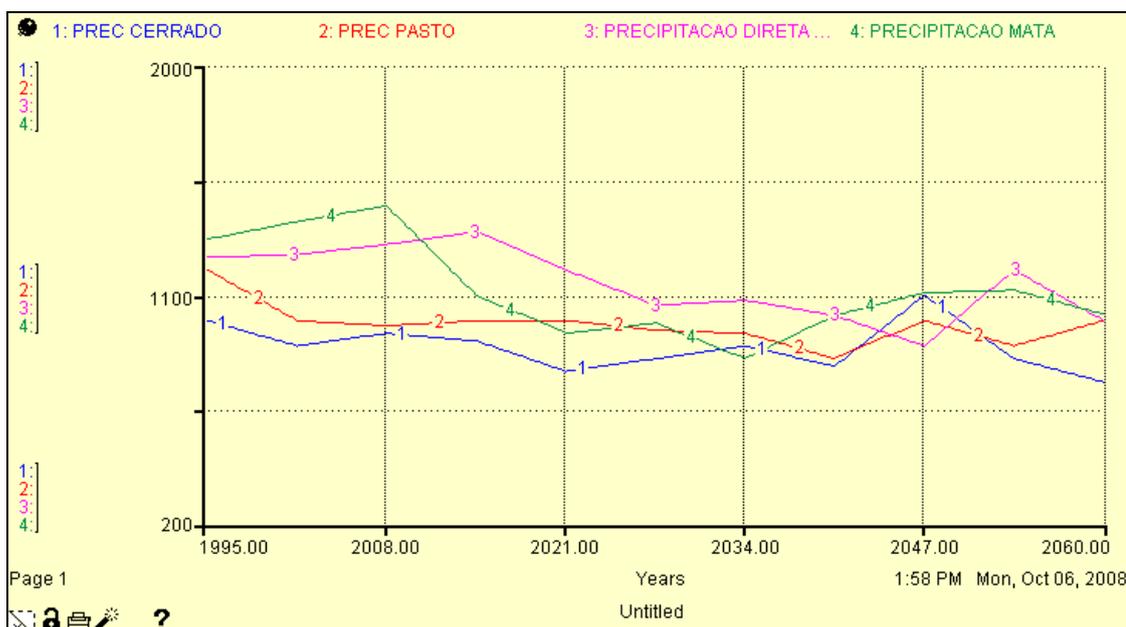


FIGURA 146 - Comportamento da precipitação (mm ano^{-1}) no período 1995-2060.

Quando se comparam os dados de evapotranspiração dos CENÁRIOS 1 e 3, verificam-se que são idênticos. A possível explicação poderá ser avaliada de duas formas: a) a classe de uso do solo “Cerrado”, que foi significativamente reduzida (-74,16%, que corresponde a $3.222,83 \text{ km}^2$), foi substituída por “Cultivo” irrigado ou “Mata”, que apesar da redução da oferta de água, conseguiram manter a mesma taxa evapotranspirométrica em função de suas características; ou b) que a oferta de água foi reduzida em função do aumento da demanda por água, decorrente do crescimento das áreas irrigadas.

Pode-se considerar, ainda, que apesar das áreas de “Reservatórios” terem sido aumentadas em $15,95 \text{ km}^2$ (+70,48%) não tenha sido suficiente para aumentar a oferta de água relacionada à demanda crescente da atividade irrigação, fazendo que de fato, a oferta fosse reduzida. Sobre essas relações e alterações, cabe considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia.

Dessa forma, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas, bem como as alterações das classes de uso do solo. Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, serão avaliados novos cenários considerando seus possíveis efeitos sobre a precipitação e os recursos hídricos – agora considerando um aumento na oferta de água.

5.2.4. Cenário 4: mudança climática com aumento de 25% na oferta de água

Para se avaliar os possíveis efeitos das mudanças climáticas na região em estudo, o CENÁRIO 4 considera os efeitos de tais alterações sugerida pelo Laboratório de Dinâmica dos Fluidos dos Estados Unidos, citada por MASON (2002), onde a oferta de água seria aumentada em 25%. Pode-se considerar, sob a mesma análise, o efeito caso houvesse o aumento da oferta de água em decorrência de alterações de classes de uso do solo, como o de “Reservatórios”, que já apresentavam a tendência de aumento na área em estudo no período analisado por LATUF (2007), no período de 1985-2000 (+70,48%, que corresponde a um aumento na área de 15,95 km²).

Dessa forma, o aumento das áreas de “Reservatórios” contribuirá para aumentar o tempo de concentração da água na bacia, o que favorecerá a recarga dos aquíferos e o aumento das vazões média e mínimas, além de contribuir no controle de enchentes com a redução da vazão máxima. Segundo RODRIGUEZ (2004) a bacia do rio Paracatu não possui nenhum reservatório expressivo, porém possui potencial hídrico para instalação de barragens com a finalidade de regularização das vazões ao longo do ano, podendo assim, permitir o crescimento das suas atividades econômicas, como a agricultura irrigada, sem comprometer a sustentabilidade do seu desenvolvimento. Na Figura 147 observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 4, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFPP. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3) onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

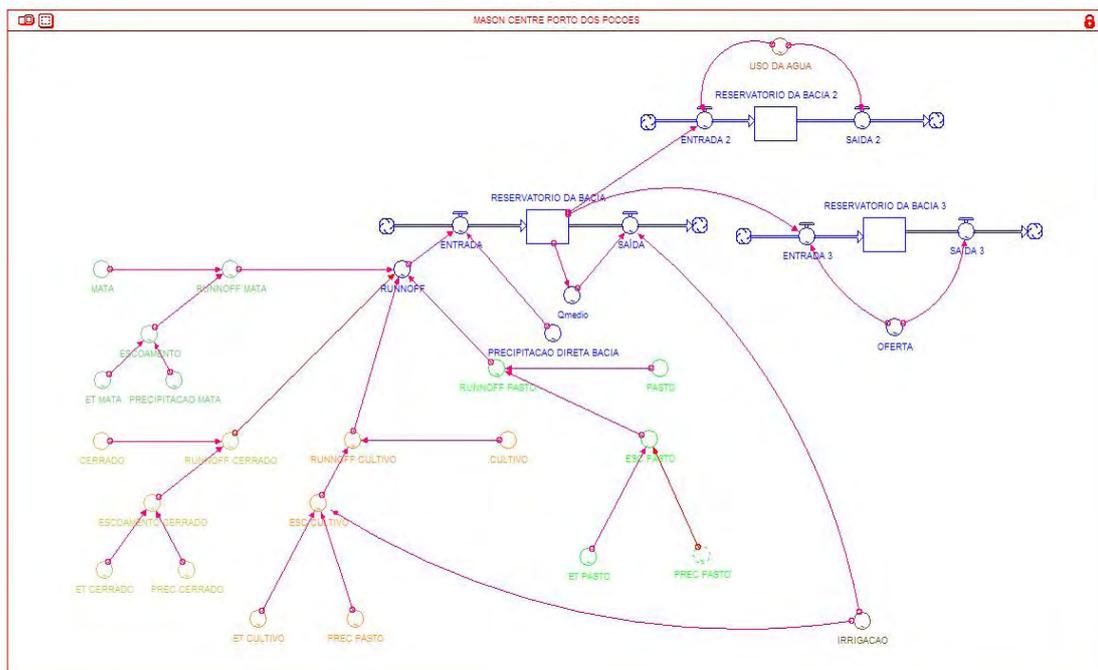


FIGURA 147 - Modelo do estoque e fluxo da água do CENÁRIO 4.

Justifica-se a análise que será feita nesse CENÁRIO 4, particularmente pelos resultados obtidos no CENÁRIO 3, onde se concluiu que a redução da oferta se deu, principalmente, pelo aumento da demanda de água para a atividade de irrigação. Na Figura 148 observa-se a curva de oferta de água no período 1995-2060 na área de abrangência da EFPP.



FIGURA 148 - Oferta de água CENÁRIO 4: aumento em 25% no período 1995-2060.

Analisando o CENÁRIO 3 observou-se que do total de água disponível em 1995, 45% estavam sendo ofertados. Nesse CENÁRIO 4 observa-se que a oferta de água se eleva até o ano de 2034, quando é demandada 94% do total disponível, passando a partir desse período a apresentar decréscimo até o final do período analisado (2060). Por outro lado, observa-se na Figura 149, que ilustra a curva de demanda de água no período 1995-2060 na área de abrangência da EFPP, que a demanda por água apresenta crescimento constante, já atingindo 80% no ano de 2037. Essa condição aponta para uma possível insustentabilidade do sistema.

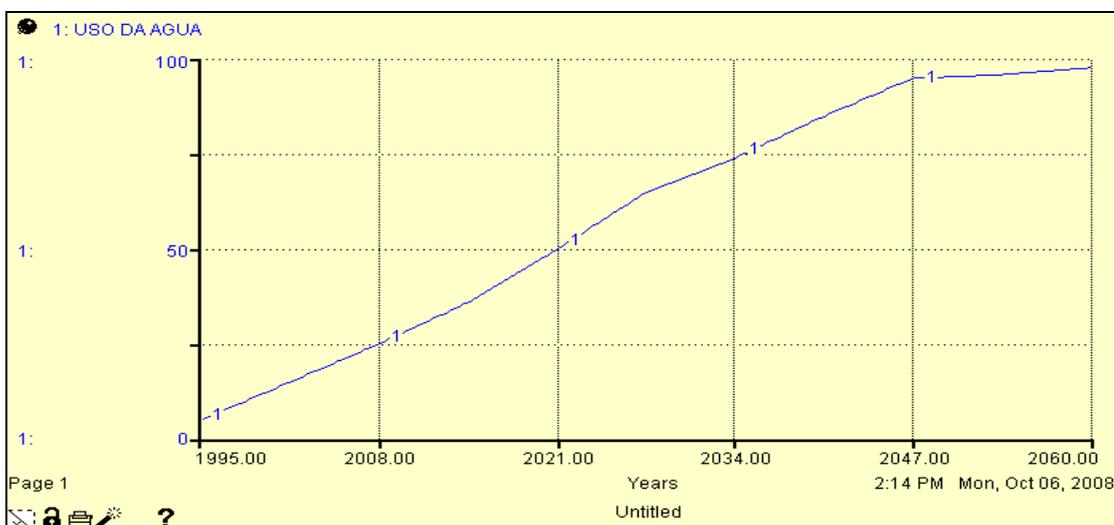


FIGURA 149 - Demanda de água na bacia do rio Preto no período 1995-2060.

No CENÁRIO 1 observou-se que as demandas hídricas estão aumentando na medida em que se aumentam as áreas de “Cultivo” irrigadas e que em 2056 já se consumia 80,00% de toda a água disponível da bacia. No CENÁRIO 3, como apenas a oferta de água foi alterada (redução em 20%), o consumo permaneceu o mesmo que no CENÁRIO 1. Quando se analisou as duas curvas em um mesmo gráfico, no CENÁRIO 3, observou-se que o sistema tendia à insustentabilidade, responsabilidade essa atribuída ao elevado consumo de água, principalmente, pela atividade de irrigação. Nesse CENÁRIO 4 observa-se que a situação é bastante diferente que a do CENÁRIO 3 (Figura 150).



FIGURA 150 - Demanda e oferta de água na bacia do rio Preto no período 1995-2060.

Considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2056, no CENÁRIO 1, apontava para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. No CENÁRIO 3, como houve redução na oferta de água em 20%, esse época foi antecipada para o ano de 2032. Determinou-se o índice de sustentabilidade (IS), quando foi verificado que o sistema seria insustentável.

Observou-se no CENÁRIO 1 no ano 2021, que o IS de 0,17 indica que o sistema já apresenta um forte estresse hídrico, posto estar consumindo 83% da oferta potencial de água. No CENÁRIO 3 observou-se que em função da redução em 20% da oferta de água total disponível para demanda, os períodos onde ocorre a situação de estresse são antecipados e permanentes. No CENÁRIO 1 o IS era igual a zero no ano de 2060, no CENÁRIO 3, em 2032. Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS), considerando a relação oferta/demanda para o CENÁRIO 4, têm-se os seguintes resultados (Quadro 56).

QUADRO 56 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando a relação oferta/demanda

ANO	DEMANDA (%)	OFERTA (%)	IS
1995	5	35	0,85
2011	30	47	0,36
2027	64	83	0,23
2034	74	94	0,21
2035	76	92	0,17
2040	84	85	0,01
2041	86	84	0,0

Fica claro na análise desse CENÁRIO 4 que o aumento da oferta de água permitiu que o sistema permanecesse estável até o ano de 2034, cujo IS de 0,21 indica que a demanda quase atinge 80% da oferta potencial de água; ou seja, o sistema passa a apresentar forte estresse hídrico. Contudo, essa situação no CENÁRIO 3 se deu no ano de 2031, portanto, três (3) anos anteriores. De qualquer forma se percebe que em função da crescente demanda de água para irrigação, o sistema tende à depleção do recurso água. Para justificar essa tendência de redução, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 151).

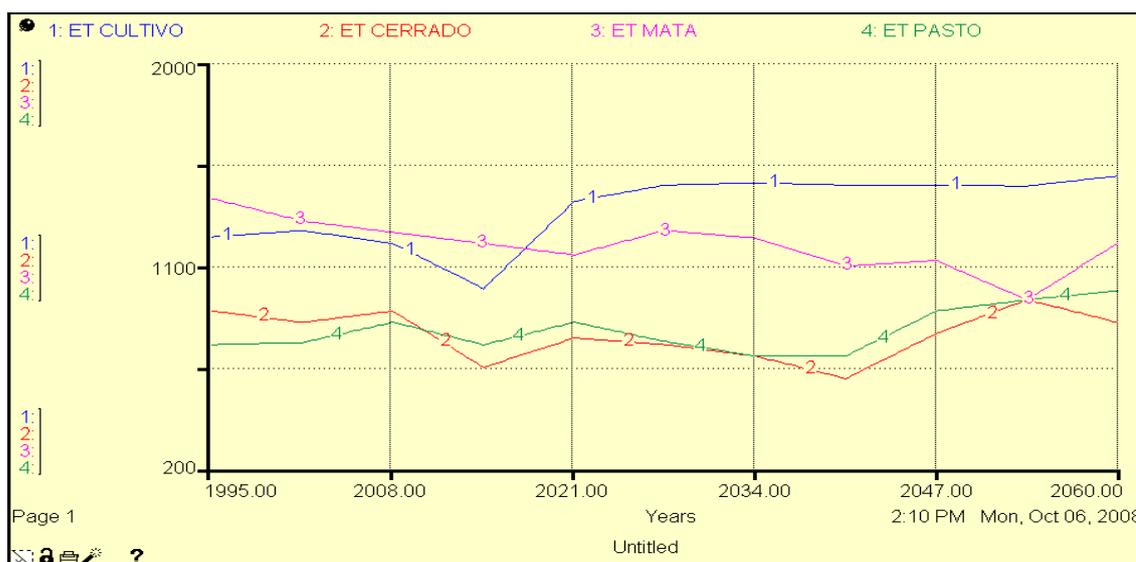


FIGURA 151 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 4.

No CENÁRIO 1, verificou-se que a contribuição de 1995-1997 são praticamente idênticas para “Mata” e “Cultivo”. A partir de 1997, a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata” até o ano 2025. A partir desse ano, devido ao significativo aumento das áreas de “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo. Tais condições se repetiram no CENÁRIO 3, onde se verificou um aumento significativo da importância das áreas de “Pasto” e “Cultivo” para o volume evapotranspirado. Relacionando-o ao CENÁRIO 3, pode-se afirmar que, sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse cenário, a tendência aponta para a redução da precipitação regional.

No CENÁRIO 4 (Figura 151) observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano de 2017, quando é substituída por “Cultivo”. Como foi comentado no CENÁRIO 1, que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia. Observa-se no Quadro 57 que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 4 sofreram variações percentuais significativas com relação ao CENÁRIO 3. Os CENÁRIOS 1 e 3 sofrem a mesma variação – sugere que CENÁRIO 1 já apresentava condição de redução de oferta de água. É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para uma redução na contribuição da evapotranspiração do “Cerrado” (-5,56%), significa que estas áreas estão substituídas por “Cultivo” e, ou, “Pasto”, que apresentam menores taxas de evapotranspiração.

QUADRO 57 - Variações evapotranspirométricas para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060 nos CENÁRIOS 1-4

Categoria Variação (%)	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43
CENÁRIO 3	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 4	+ 32,00	+ 21,95	- 5,56	- 14,29

O Quadro 57 mostra que haverá maior participação das categorias “Pasto” e “Cultivo” na evapotranspiração, que ocorre em função do aumento da oferta de água proposta nesse CENÁRIO 4. Considerando a redução da contribuição das classes de uso do solo “Cerrado” e “Mata”, é de se esperar a redução da “Precipitação Direta” na bacia. Na verdade, nesse CENÁRIO 4, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 3,23% (1.240 mm ano⁻¹ para 1.200 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060). Dessa forma, o aumento da oferta de água em 25%, considerando não ter havido aumento de temperatura, e que não houve aumento da “Precipitação Direta” da bacia (na verdade houve redução), pode ter se dado, por exemplo, pelo aumento das áreas de “Reservatórios”.

Assim, como a oferta foi aumentada, a água pode ter sido utilizada para a irrigação do “Cultivo” e, como a evapotranspiração dessas áreas são menores que “Mata”, “Cultivo” continua a ser o principal responsável pela evapotranspiração da área, o que explica a contínua redução da “Precipitação Direta” na bacia. A Figura 152 representa a precipitação na área de drenagem do rio Preto ao longo do período analisado desse trabalho (1995-2060).

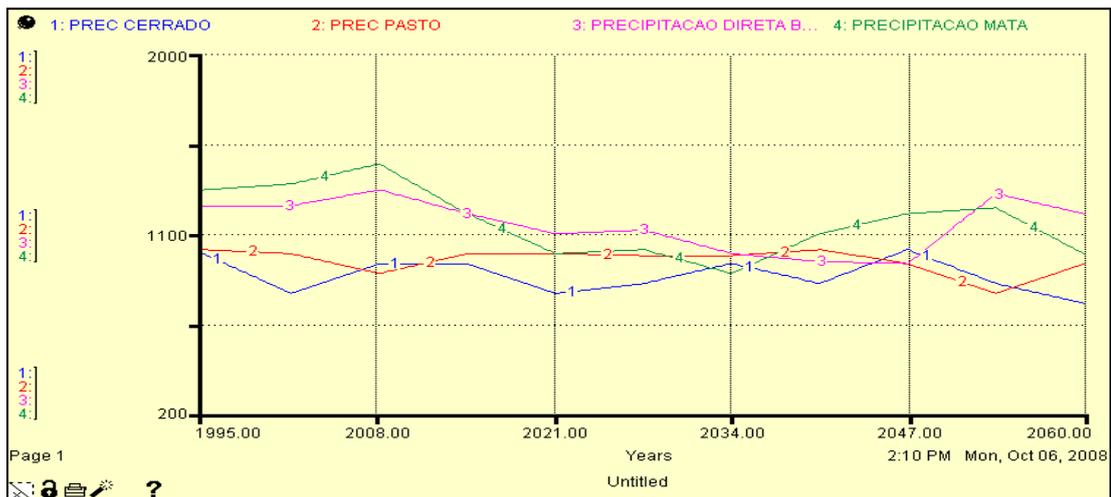


FIGURA 152 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) no período 1995-2060.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano de 2008, “Mata” contribuía com 1.200 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, no ano 2008, “Mata” passou a contribuir com 1.500 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia. No CENÁRIO 4 (Figura 152) observa-se que no ano de 1995, “Mata” contribui com um volume de 1.320 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; no ano de 2008, com 1.450 mm ano⁻¹; no ano de 2014, com 1.219 mm ano⁻¹, passando a contribuir com valores inferiores à “Precipitação Direta” na bacia até o ano de 2037. Nesse ano, “Mata” ultrapassa novamente à “Precipitação Direta” na bacia, até o ano de 2052, quando entra em queda até o final do período analisado (2060), com 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, “Mata” sofreu uma redução de 24,24%.

Como se pode observar no Quadro 58, verifica-se no CENÁRIO 2 que em função do aumento da precipitação em 6,90%, a redução na “Precipitação Direta” da bacia com relação ao CENÁRIO 1 foi inferior. Esse mesmo CENÁRIO 2, em relação ao CENÁRIO 3, verificou-se que, apesar de uma redução de 20% na oferta de água, a redução da “Precipitação Direta” na bacia ainda foi inferior. No CENÁRIO 4, onde a oferta de água é aumentada em 25%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia foi bastante reduzida.

QUADRO 58 - Comportamento da precipitação no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-4

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.300	1.000	- 23,08
2	1.200	1.000	- 16,67
3	1.250	1.000	- 20,00
4	1.240	1.200	- 3,23

De forma inesperada o CENÁRIO 3 - que analisou o comportamento do sistema onde haveria uma redução de 20% na oferta de água – apresentou “Precipitação Direta” na bacia inferior ao CENÁRIO 1 – “Agronegócio atual”; ou seja, provavelmente, confirma a teoria levantada, de que a redução da oferta se deu em função do aumento da demanda. No CENÁRIO 4 pode-se avaliar a menor redução na “Precipitação Direta” na bacia em função do aumento das áreas de “Mata” e “Cultivo” irrigado, que contribuíram para elevação da evapotranspiração em substituição às áreas de “Cerrado”, considerando o aumento na oferta de água. Com o aumento da classe de uso do solo “Pasto” (+33,07%), implicaria em redução da evapotranspiração e, provavelmente, da “Precipitação Direta” na bacia; contudo, foi compensada pelo aumento das áreas de “Mata” (+21,00%) e, ou, “Cultivo” irrigado. Há de se considerar que as atividades silviculturais nessa bacia tiveram grande incremento, particularmente a cultura do eucalipto. É sabido que essa espécie em condição de maior disponibilidade de água tem crescimento acelerado, tem excelente controle estomático e pode ter auxiliado a manutenção da “Precipitação Direta” sobre a bacia.

Sugere ainda, que com o aumento da oferta de água pelo crescimento das áreas da classe de uso do solo “Reservatórios”, que contribuem para o aumento da evaporação, podem também ter contribuído para a menor redução na “Precipitação Direta” da bacia. No entanto, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas; seria necessário, portanto, um aumento superior dessa classe de uso do solo para atender às demandas da classe “Cultivo”.

Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, fica imprevisível qual seria o comportamento desse sistema. Por esta questão, serão avaliados cenários considerando os possíveis efeitos de alterações do uso do solo e seus efeitos sobre os recursos hídricos, a partir de cenários de mudanças climáticas, onde ocorram aumentos na temperatura e na precipitação.

5.2.5. Cenário 5: aumento de temperatura (1° C) e de precipitação (5%)

O CENÁRIO 5 contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria aumento da temperatura em 1°C e acréscimo da precipitação em 5% (EMBRAPA, 2001). Na Figura 153 observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 5, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFPP. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3), onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

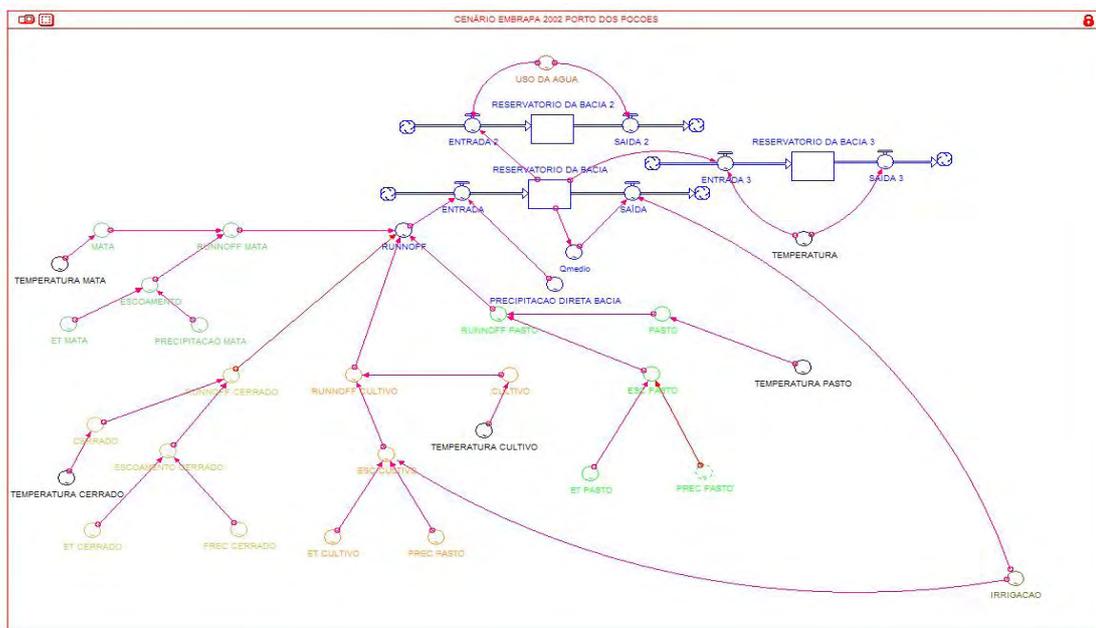


FIGURA 153 - Modelo de estoque e fluxo da água na bacia do rio Preto CENÁRIO 5.

A Figura 154 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 5.

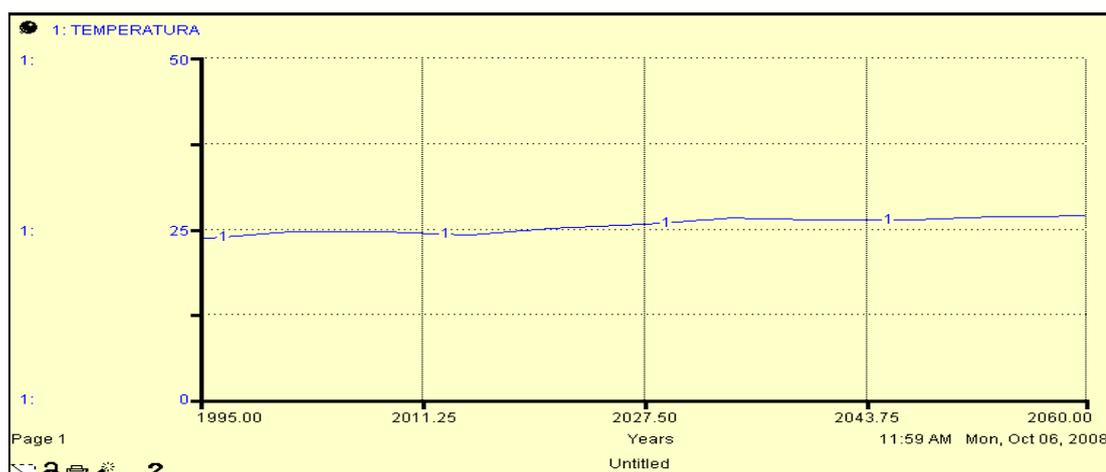


FIGURA 154 - Acréscimo de 1°C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 5.

No CENÁRIO 1 observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia no ano 1995 correspondia a 1.300 mm ano⁻¹ e termina o período analisado com uma redução de -23,08% no volume precipitado. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 era 1.200 mm ano⁻¹, sofrendo redução até o final do período analisado desse estudo (2060), terminando em 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 16,67%.

No CENÁRIO 5, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 5% na precipitação, observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 era 1.300 mm ano⁻¹, sofrendo a partir do ano de 2053 redução até ao final do período analisado (2060), terminando em 1.200 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 7,69%. A Figura 155 representa a precipitação na área de drenagem do rio Preto. Observa-se a tendência

de redução na “Precipitação Direta” na bacia, com pequenas oscilações, até ao final do período analisado nesse estudo (2060).

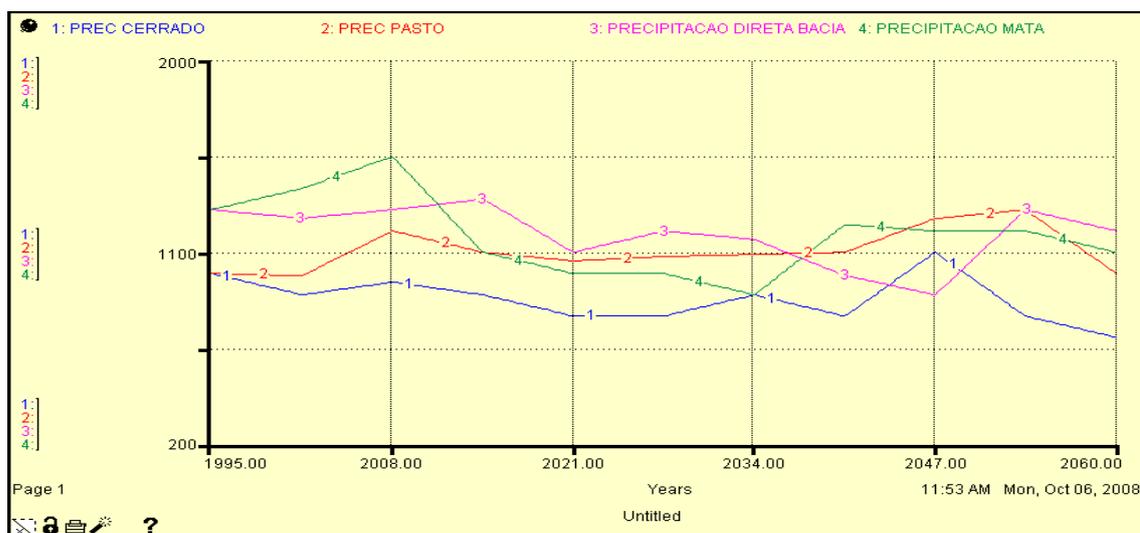


FIGURA 155 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 no CENÁRIO 5.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano de 2008, a “Precipitação Direta” na bacia era $1.360 \text{ mm ano}^{-1}$. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, no ano de 2008 a “Precipitação Direta” na bacia era $1.350 \text{ mm ano}^{-1}$. No CENÁRIO 3, que analisou o comportamento do sistema onde haveria uma redução de 20% na oferta de água – apresentou “Precipitação Direta” na bacia inferior ao CENÁRIO 1 – “Agronegócio atual”; ou seja, provavelmente, confirma a teoria levantada, de que a redução da oferta se deu em função do aumento da demanda.

No CENÁRIO 4 observou-se que no ano 1995, “Mata” contribuía com $1.320 \text{ mm ano}^{-1}$ do volume precipitado na bacia; no ano 2008, com um volume de $1.450 \text{ mm ano}^{-1}$; no ano de 2014, com $1.219 \text{ mm ano}^{-1}$, passando a contribuir com valores inferiores à “Precipitação Direta” na bacia até o ano de 2037. Nesse ano ultrapassa novamente à “Precipitação Direta” na bacia, até o ano de 2052, quando entra em queda até ao final do período analisado (2060), com $1.000 \text{ mm ano}^{-1}$; ou seja, sofreu uma redução de 24,24%.

Nesse CENÁRIO 5 (Figura 155), observa-se que no ano de 1995, “Mata” contribui com um volume de $1.300 \text{ mm ano}^{-1}$ do volume precipitado na bacia; no ano de 2008, essa contribuição se eleva para $1.550 \text{ mm ano}^{-1}$; no ano de 2014, com $1.350 \text{ mm ano}^{-1}$, passando a contribuir com valores inferiores à “Precipitação Direta” na bacia até o ano de 2037. Nesse ano, ultrapassa novamente à “Precipitação Direta” na bacia, até o ano de 2052, quando entra em queda até o final do período analisado (2060), apresentando um volume precipitado de $1.100 \text{ mm ano}^{-1}$; ou seja, sofre uma redução de 15,38%, portanto, inferior ao CENÁRIO 4.

No Quadro 65 verifica-se no CENÁRIO 2, que em função do aumento da precipitação em 6,90%, a redução na “Precipitação Direta” da bacia com relação ao CENÁRIO 1 foi inferior. Esse mesmo CENÁRIO 2, em relação ao CENÁRIO 3, verificou-se que, apesar de uma redução de 20% na oferta de água, a redução da “Precipitação Direta” na bacia ainda foi inferior. No CENÁRIO 4, onde a oferta de água é aumentada em 25%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia foi bastante reduzida. No CENÁRIO 5, como a precipitação é elevada em 5%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia é superior que o CENÁRIO 4, mas inferior aos demais cenários.

QUADRO 59 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-5

CENÁRIO	Ano	1995 (mm ano⁻¹)	2060 (mm ano⁻¹)	Varição (%)
1		1.300	1.000	- 23,08
2		1.200	1.000	- 16,67
3		1.250	1.000	- 20,00
4		1.240	1.200	- 3,23
5		1.300	1.200	- 7,69

A avaliação para o CENÁRIO 5 pode ser semelhante ao CENÁRIO 4; ou seja, a maior redução na “Precipitação Direta” na bacia ocorre em função do aumento das áreas de “Cultivo” (+132,19%) e “Pasto” (+33,07%), mesmo “Mata” tendo sofrido relativo aumento (+31,54%), mas as áreas de “Cerrado” sofreram drástica redução (-74,16%). O crescimento significativo das classes “Cultivo” e “Pasto” implicaram em redução da evapotranspiração e, provavelmente, da “Precipitação Direta” na bacia, não conseguindo compensar o aumento promovido pela evapotranspiração correspondente às áreas de “Mata”. Há de se considerar que as atividades silviculturais nessa bacia tiveram grande incremento, particularmente a cultura do eucalipto. É sabido que essa espécie em condição de maior disponibilidade de água tem crescimento acelerado, mas que em condição de temperaturas elevadas apresenta excelente controle estomático, que com o aumento de temperatura sugerido, pode ter auxiliado para a redução da evapotranspiração e provocado a maior redução na “Precipitação Direta” sobre a bacia.

Sugere ainda, que com o aumento da oferta de água pelo crescimento de áreas de “Reservatórios”, que contribuem para o aumento da evaporação em cenários onde ocorre elevação de temperatura, podem também ter contribuído para a menor redução na “Precipitação Direta” da bacia. Para justificar essa tendência de redução, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 156).



FIGURA 156 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 5.

No CENÁRIO 1 verificou-se que a contribuição da evapotranspiração no período 1995-1997 são praticamente idênticas para “Mata” e “Cultivo”. A partir de 1997 a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, até o ano de 2025. A partir desse ano, devido ao significativo aumento das áreas de “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo. Tais condições se repetiram no CENÁRIO 3, onde se verificou que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse cenário, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia. No CENÁRIO 4 observou-se que “Mata” foi a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano de 2017, quando “Cultivo” passou a ser o maior contribuinte.

Nesse CENÁRIO 5 (Figura 156) observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano 2017, quando “Cultivo” passa a ser o maior contribuinte. Portanto, a tendência aponta também para a redução da “Precipitação Direta” na bacia. No Quadro 60, observam-se as variações evapotranspirométricas entre os CENÁRIOS 1-5 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período de 1995-2060.

QUADRO 60 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-5 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Variação (%) \ Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43
CENÁRIO 3	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 4	+ 32,00	+ 21,95	- 5,56	- 14,29
CENÁRIO 5	+ 25,00	+ 19,20	+ 4,70	- 11,79

Observa-se no Quadro 60 que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 4 sofreram variações percentuais significativas com relação ao CENÁRIO 3 – justificado pela redução de 20% na oferta de água; e no CENÁRIO 4 a oferta é aumentada em 25%. Os CENÁRIOS 1 e 3 sofrem a mesma variação – sugere que CENÁRIO 1 já apresentava condição de redução de oferta de água pelo aumento das áreas irrigadas e pelo efeito das mudanças climáticas já existentes.

A variação sofrida no CENÁRIO 5 pode ser explicada pela diferença de aumento de temperatura e precipitação – com elevação da temperatura, “Pasto” e “Cultivo”, por protegerem menos o solo, implica em maior perda de água por evaporação, mas insustentável no longo prazo, posto que não conseguem manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”. Chama atenção a categoria “Pasto”, comparando-se sua variação entre os CENÁRIOS 2 e 5, onde a única diferença está no aumento de temperatura. Observa-se que havendo maior disponibilidade hídrica, a sua contribuição para a evapotranspiração foi bastante superior no CENÁRIO 2 – pode ser explicado, por exemplo, ter sido fortemente substituída por “Cultivo” irrigado e, ou, “Mata”.

Dessa forma, considerando que haverá maior participação das categorias “Pasto” e “Cultivo” na evapotranspiração, e considerando a redução relativa da classe de uso do solo “Mata”, é de se esperar a redução da precipitação. Na verdade, no CENÁRIO 4 a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 3,23% (1.240 mm ano⁻¹ para 1.200 mm ano⁻¹); e no CENÁRIO 5, uma redução de 7,69% (1.300 mm ano⁻¹ para 1.200 mm ano⁻¹) no período analisado (1995-2060). Quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Cerrado”, significa que esta classe de uso do solo está sendo substituída por “Mata” e, ou, “Cultivo” irrigado, que apresentam maiores taxas de evapotranspiração. A Figura 157 apresenta a tendência de uso total de água na bacia do rio Preto, tendo por base os dados da EFPP.

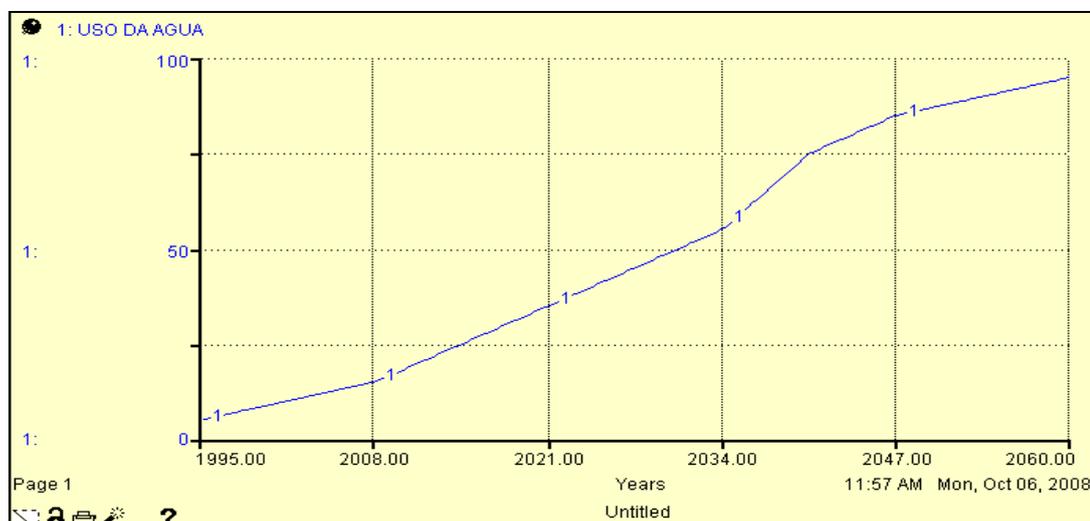


FIGURA 157 - Projeção do uso da água no período 1995-2060 na bacia do rio Preto.

No CENÁRIO 1 observou-se que em 1995 eram consumidos 15% do total de toda a água disponível da bacia, mantendo-se esse valor constante até o ano de 2008. Em 2021, a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 35,00% da disponibilidade hídrica total da bacia; e em 2056, 80% de toda a água disponível. No CENÁRIO 2 observou-se que em 1995 o consumo representa 12% do total de toda a água disponível da bacia (em função do aumento de 6,9% da oferta de água na bacia); contudo, em 2037, já se consumia 80% de toda a água disponível da bacia; ou seja, mesmo tendo havido aumento da precipitação, em função do uso do solo e das mudanças climáticas, que influenciaram na taxa de evapotranspiração, o sistema se tornou insustentável em data anterior que no CENÁRIO 1.

Nesse CENÁRIO 5 (Figura 157) observa-se que em 1995 eram consumidos apenas 5% do total de toda a água disponível da bacia; em 2021, 35%; em 2034, 55%; em 2043, 80% da disponibilidade hídrica total da bacia. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 5%, sugerindo o aumento da oferta de água, houve estímulo ao incremento das áreas de “Cultivo”; contudo, em função do aumento da temperatura em 1°C, que implicou na elevação da taxa evapotranspirométrica, fez com que a oferta de água não aumentasse na mesma proporção demandada.

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2037, no CENÁRIO 2, aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico ($IS = 0,20$). No CENÁRIO 5 essa condição acontece no ano de 2043. Há de se considerar que a bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do nível e da distribuição das chuvas. Dessa forma, aí está a importância de natureza climática. Para isso, será avaliado um novo cenário a partir de mudanças climáticas, onde ocorreria um aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10%.

5.2.6. Cenário 6: aumento de temperatura (3° C) e de precipitação (10%)

O CENÁRIO 6 contempla a ocorrência de mudanças climáticas onde haveria um aumento da temperatura em 3°C e o acréscimo da precipitação em 10%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001). Sobre as possíveis relações e alterações, perceberam-se até o presente momento os efeitos dos conceitos de cumulatividade e sinergia, partindo-se do princípio de que as mudanças ao meio ambiente causadas por ações antrópicas em combinação com ações remotas, atuais ou futuras, podem de alguma forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região. Na Figura 158 observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 6, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFPP. Observa-se a criação de um novo

reservatório (Reservatório da Bacia 3) onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

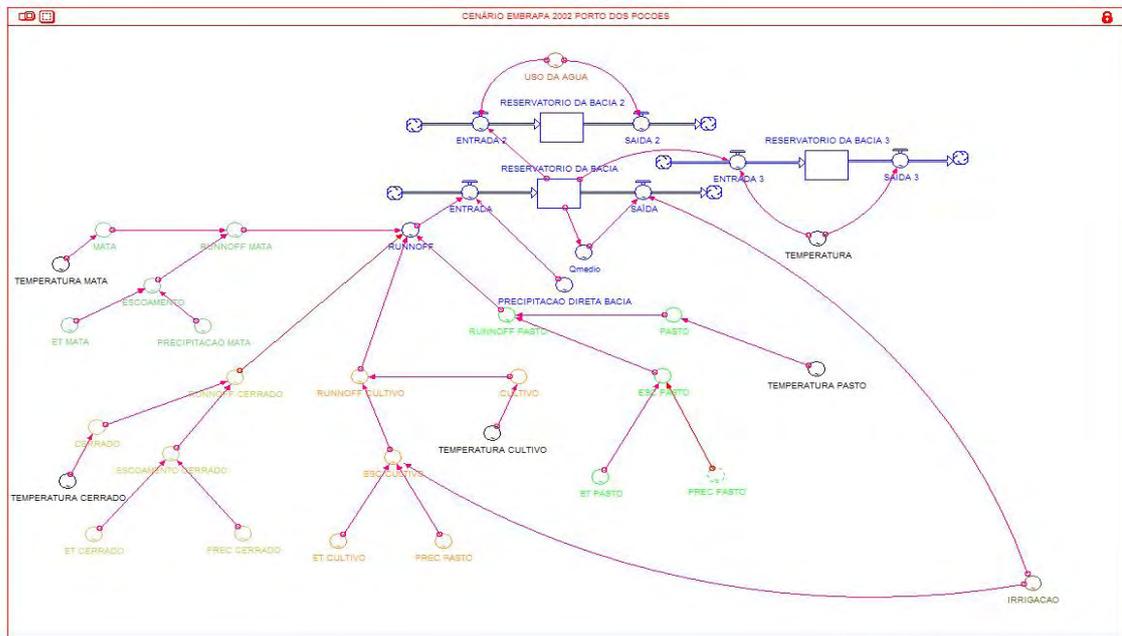


FIGURA 158 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto CENÁRIO 6.

A Figura 159 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 6, com acréscimos de 3°C na temperatura e 10% na precipitação.

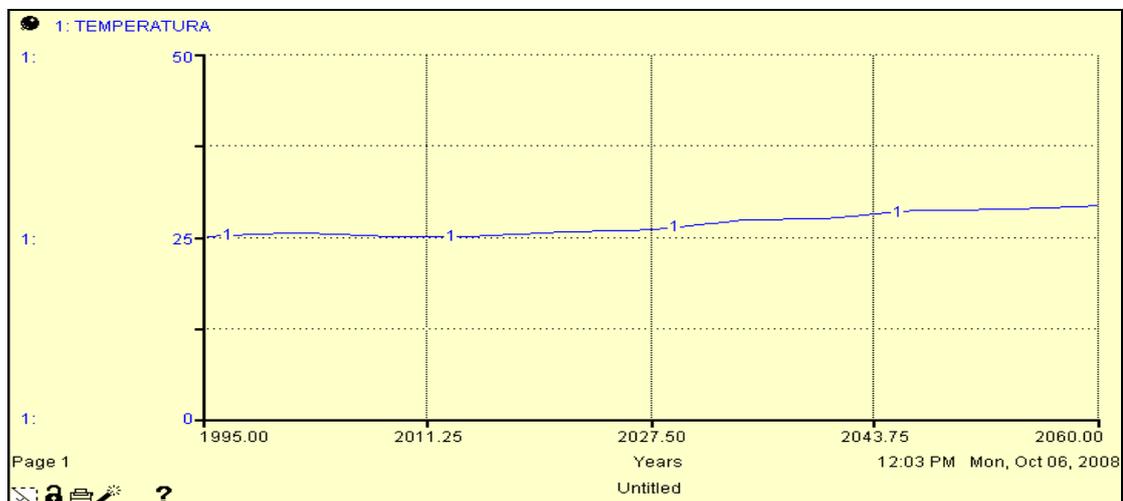


FIGURA 159 - Acréscimo de 3°C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 6.

No CENÁRIO 1 observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia no ano 1995 correspondia a 1.300 mm ano⁻¹; e termina o período analisado (2060), com 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 23,08%. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 é de 1.200 mm ano⁻¹, sofrendo a partir desse ano redução até ao final do período analisado (2060), terminando em 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 16,67%.

No CENÁRIO 5, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 5% na precipitação, a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 era 1.300 mm ano⁻¹, com várias oscilações até o ano 2053, quando atinge 1.350 mm ano⁻¹, sofrendo redução até o final do período analisado desse estudo (2060), terminando em 1.200 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 7,69%. Nesse CENÁRIO 6, em função do acréscimo de 3°C na temperatura e 10% na precipitação (Figura 159), a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 era 1.320 mm ano⁻¹, sofre pequena queda até 2001 e depois apresenta tendência de elevação até o ano 2014, quando atinge um volume precipitado de 1.380 mm ano⁻¹. A partir desse período sofre várias oscilações até o ano 2047, quando atinge 1.000 mm ano⁻¹; em 2053 se eleva até atingir 1.350 mm ano⁻¹, sofrendo redução até ao final do período analisado desse estudo (2060), terminando com 1.200 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 9,09%.

A Figura 160 representa a simulação da precipitação na área de drenagem do rio Preto. Observa-se que a tendência de redução na “Precipitação Direta” persistirá, com pequenas oscilações, até o final do período analisado nesse estudo (2060).



FIGURA 160 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) para o CENÁRIO 6.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano de 2008, a “Precipitação Direta” na bacia era 1.360 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, no ano de 2008 a “Precipitação Direta” na bacia era 1.350 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 3, que analisou o comportamento do sistema onde haveria uma redução de 20% na oferta de água – apresentou “Precipitação Direta” na bacia inferior ao CENÁRIO 1 – “Agronegócio atual”; ou seja, provavelmente, confirma a teoria levantada, de que a redução da oferta se deu em função do aumento da demanda.

No CENÁRIO 4 observou-se que no ano 1995, “Mata” contribuía com 1.320 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; no ano 2008, com um volume de 1.450 mm

ano⁻¹; no ano de 2014, com 1.219 mm ano⁻¹, passando a contribuir com valores inferiores à “Precipitação Direta” na bacia até o ano de 2037. Nesse ano ultrapassa novamente à “Precipitação Direta” na bacia, até o ano de 2052, quando entra em queda até ao final do período analisado (2060), com 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, sofreu uma redução de 24,24%.

No CENÁRIO 5 (Figura 155), observou-se que no ano de 1995, “Mata” contribuiu com um volume de 1.300 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia; no ano de 2008, essa contribuição se eleva para 1.550 mm ano⁻¹; no ano de 2014, com 1.350 mm ano⁻¹, passando a contribuir com valores inferiores à “Precipitação Direta” na bacia até o ano de 2037. Nesse ano, ultrapassa novamente à “Precipitação Direta” na bacia, até o ano de 2052, quando entra em queda até o final do período analisado (2060), apresentando um volume precipitado de 1.100 mm ano⁻¹; ou seja, sofre uma redução de 15,38%, portanto, inferior ao CENÁRIO 4.

Nesse CENÁRIO 6 (Figura 160) observa-se que no ano de 1995, “Mata” contribui com 1.400 mm ano⁻¹; no ano 2008, com um volume de 1.500 mm ano⁻¹; no ano de 2014, com 1.378 mm ano⁻¹, passando a contribuir com valores inferiores à “Precipitação Direta” na bacia até o ano 2040. Nesse ano ultrapassa novamente à “Precipitação Direta” na bacia, até o ano 2050, com 1.180 mm ano⁻¹, quando entra em queda até ao final do período analisado (2060), com 1.200 mm ano⁻¹; ou seja, sofreu uma redução de 14,28%. Ao mesmo tempo, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 9,09%. O Quadro 61 apresenta as variações na “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060.

QUADRO 61 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-6

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.300	1.000	- 23,08
2	1.200	1.000	- 16,67
3	1.250	1.000	- 20,00
4	1.240	1.200	- 3,23
5	1.300	1.200	- 7,69
6	1.320	1.200	- 9,09

No CENÁRIO 2 observou-se que em função do aumento da precipitação em 6,90%, a redução na “Precipitação Direta” da bacia com relação ao CENÁRIO 1 foi inferior. Esse mesmo CENÁRIO 2, em relação ao CENÁRIO 3 onde ocorre uma redução de 20% na oferta de água, a redução da “Precipitação Direta” na bacia também foi inferior. No CENÁRIO 4, onde a oferta de água é aumentada em 25%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia foi bastante reduzida.

No CENÁRIO 5, como a precipitação foi elevada em 5%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia é superior ao CENÁRIO 4, mas inferior aos demais cenários. No CENÁRIO 6 observa-se, principalmente, a influência da temperatura sobre a “Precipitação Direta” na bacia – mesmo tendo havido um aumento de 10% na precipitação, superior, portanto, aos 5% do CENÁRIO 5, o aumento sugerido de 3°C na temperatura fez com que a “Precipitação Direta” na bacia sofresse uma maior variação/redução; ou seja, -9,09%, equivalente a 120 mm ano⁻¹.

A avaliação para o CENÁRIO 6 pode ser semelhante aos CENÁRIO 4 e 5; ou seja, a maior redução na “Precipitação Direta” na bacia ocorre em função do aumento das áreas de “Cultivo” e “Pasto”, mesmo “Mata” tendo sofrido relativo aumento (+31,54%), as áreas de “Cerrado” sofreram drástica redução (-74,16%). O crescimento significativo das classes “Cultivo” e “Pasto” implicaram em redução da evapotranspiração e, provavelmente, da “Precipitação Direta” na bacia, não conseguindo compensar o aumento das áreas de “Mata”, que em termos relativos, foram reduzidas. Há de se considerar que a cultura do eucalipto neste estudo está incluída na classe de uso do solo “Cultivo”, teve grande incremento nessa bacia. É sabido que essa espécie em condição de maior disponibilidade de água tem crescimento acelerado, mas que em condição de elevação de temperatura apresenta excelente controle estomático, o que pode ter auxiliado para a redução da evapotranspiração e provocado a maior redução na “Precipitação Direta”.

Sugere ainda, que com o aumento da oferta de água pelo crescimento de áreas de “Reservatórios” (70,48% entre 1985-2000), que contribuem para o aumento da evaporação, podem também ter contribuído para a menor redução na “Precipitação Direta” da bacia, com relação, por exemplo, ao CENÁRIO 1. Para justificar essa tendência de redução na “Precipitação Direta” na bacia, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 161).

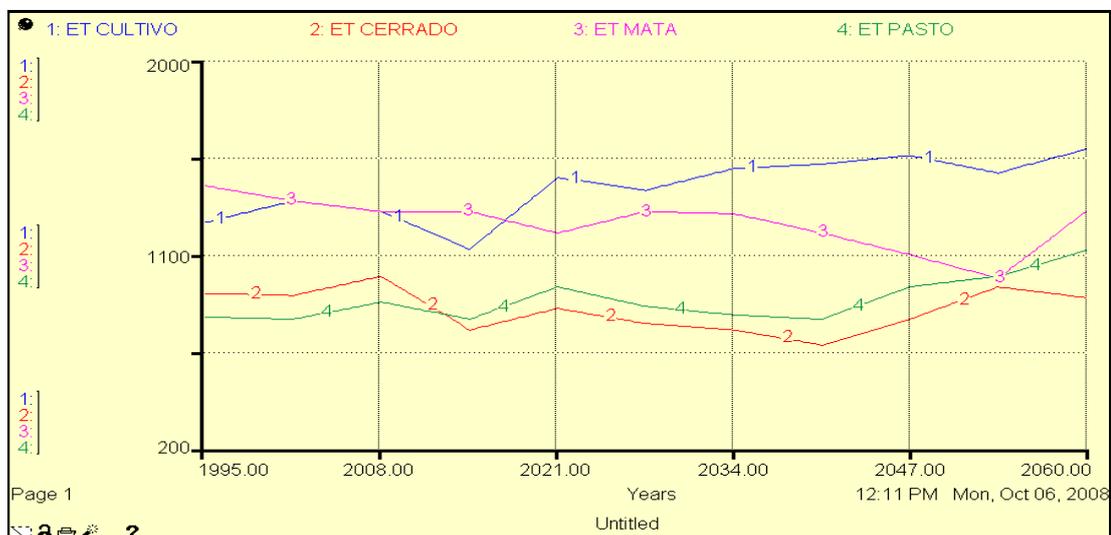


FIGURA 161 - Comportamento da evapotranspiração no CENÁRIO 6.

No CENÁRIO 1 observou-se que a contribuição de 1995-1997 são praticamente idênticas para “Mata” e “Cultivo”. A partir de 1997 a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, até o ano 2025. A partir desse ano, devido ao significativo aumento das áreas de “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração. Tais condições se repetiram no CENÁRIO 3, onde se verificou um aumento significativo da importância das áreas de “Pasto” e “Cultivo” para o volume evapotranspirado. Relacionando-o ao CENÁRIO 3, sugere-se que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da precipitação local, posto que “Cultivo” e “Pasto” não conseguem manter uma taxa de evapotranspiração aos mesmos níveis que “Mata”.

No CENÁRIO 4 observou-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano de 2017, quando é substituída por “Cultivo”. No CENÁRIO 5 observou-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano de 2017, quando “Cultivo” passa a ser o maior contribuinte. Nesse CENÁRIO 6 (Figura 161) observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até meados de 2001, mantendo-se em nível igual a “Cultivo” desse período até o ano 2008, quando “Mata” volta a ser o principal contribuinte até o ano 2017. A partir desse ano, “Cultivo” passa a ser o maior contribuinte até o final do período analisado. Como foi comentada, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia. O Quadro 62 apresenta as variações evapotranspirométricas dos CENÁRIOS 1-6 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060.

QUADRO 62 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-6 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060

Categoria Variação (%)	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43
CENÁRIO 3	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 4	+ 32,00	+ 21,95	- 5,56	- 14,29
CENÁRIO 5	+ 25,00	+ 19,20	+ 4,70	- 11,79
CENÁRIO 6	+ 38,27	+ 27,12	- 2,12	- 8,45

Observa-se no Quadro 62 que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 4, onde a oferta de água é aumentada em 25%, sofreram variações percentuais significativas com relação ao CENÁRIO 3 – justificado pela redução de 20% na oferta de água. Sugere que tais alterações ocorreram porque as classes de uso do solo “Cerrado” e “Mata” foram substituídas principalmente por “Cultivo” e “Pasto”, que em condição de estresse hídrico, não conseguem manter os mesmos níveis de taxas

evapotranspirométricas que: “Cerrado”, pela sua adaptação às condições extremas; e a “Mata”, que consegue reter maior volume de água no solo.

Os CENÁRIOS 1 e 3 sofrem a mesma variação – sugere que o CENÁRIO 1 já apresentava condição de redução de oferta de água pelo aumento das áreas irrigadas e pelo efeito das mudanças climáticas já existentes. As variações entre os CENÁRIOS 5 e 6 podem ser explicadas pela diferença de aumento de temperatura: com a sua elevação, “Pasto” e “Cultivo”, por protegerem menos o solo, o que implica em maior perda de água por evaporação, foi insustentável no longo prazo, posto não conseguirem manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”; e também “Cerrado”, que por ser o bioma da região, apresenta adaptabilidade aos extremos climáticos. Dessa forma, o aumento da precipitação de 5% no CENÁRIO 5 para 10% no CENÁRIO 6, não foi suficiente para cobrir as perdas maiores por evaporação em função das alterações de uso das classes de solo.

Dessa forma, considerando que haverá maior participação das categorias “Pasto” e “Cultivo” na evapotranspiração, e considerando a redução da classe de uso do solo “Mata”, é de se esperar a redução da precipitação. Na verdade, no CENÁRIO 4, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 3,23%; no CENÁRIO 5, uma redução de 7,69%; no CENÁRIO 6, uma redução de 9,09%; no período analisado (1995-2060).

Quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Pasto” (+38,57%) e “Cultivo” (+27,12%), significa que estas áreas estão substituindo as classes de uso do solo que sofreram redução absoluta, como o “Cerrado” (-2,12%) e, ou, redução relativa, como “Mata” (-8,45%), que apresenta maior taxa de evapotranspiração. Essa situação é bastante complexa, posto que a demanda da água na bacia vem apresentado crescimento constante. A Figura 162 apresenta a tendência de uso total de água na bacia do rio Preto, tendo por base os dados da EFPP.

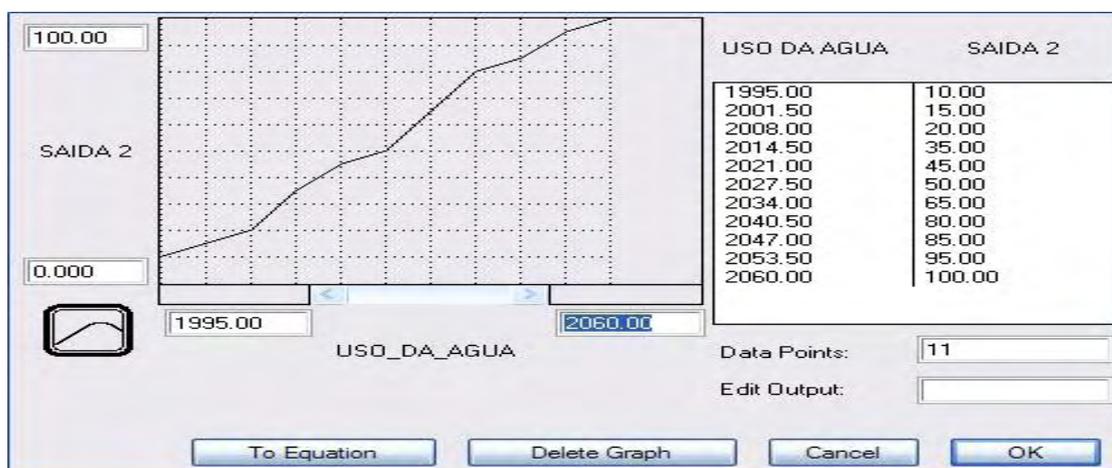


FIGURA 162 - Simulação do uso da água no período 1995-2060 na bacia do rio Preto.

No CENÁRIO 1 observou-se que em 1995 eram consumidos 15% do total de toda a água disponível da bacia, mantendo-se esse valor constante até o ano de 2008. Em 2021 a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 35% da disponibilidade hídrica total da bacia; e no ano de 2056 já se utilizava 80% de toda a água disponível da bacia. No CENÁRIO 2 observou-se que em 1995 o consumo representa 12% do total de toda a água disponível da bacia (em função do aumento de 6,9% da oferta de água na bacia); contudo, em 2021, já são utilizados também 35,00% do total de toda a água disponível da bacia.

Tal fato pode ser explicado pelo aumento das áreas da classe de uso do solo “Cultivo”, aumento esse justificado pela maior oferta de água em face da maior “Precipitação Direta” na bacia. Desse período em diante a demanda de água é sempre crescente: em 2034, 65%; e em 2037, 80% de toda a água disponível da bacia; ou seja, nesse ano o sistema se torna insustentável. Percebe-se, assim, que mesmo tendo havido aumento da precipitação, em função do uso do solo e das mudanças climáticas, que influenciaram na taxa de evapotranspiração, o sistema se tornou insustentável em data anterior que no CENÁRIO 1.

No CENÁRIO 5 observou-se que em 1995 eram consumidos apenas 5% do total de toda a água disponível da bacia; em 2021, já era de 35%; em 2034, 55%; em 2043, 80% da disponibilidade hídrica total da bacia. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 5%, sugerindo que ocorresse o aumento da oferta de água, o que estimulou o incremento das áreas de “Cultivo”; porém, em função do aumento da temperatura em 1°C, implicou na elevação da taxa evapotranspirométrica, fazendo com que a oferta de água não aumentasse na mesma proporção demandada, como consequência, também, das mudanças das classes de uso do solo que alterou as taxas evapotranspirométricas locais.

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2037, no CENÁRIO 2, aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico ($IS = 0,20$). No CENÁRIO 5 essa condição acontece no ano de 2043. Nesse CENÁRIO 6 a condição é semelhante ao CENÁRIO 5, porém, em data anterior - já no ano de 2034 o $IS = 0,19$, ou seja, o sistema já está sofrendo a depleção por estresse hídrico, podendo ser explicado pelo maior aumento de temperatura estabelecido nesse cenário.

Há de se considerar que a bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do nível e da distribuição das chuvas. Dessa forma, aí está a importância de natureza climática. Para isso, será avaliado um novo cenário a partir de mudanças climáticas, onde ocorreria um aumento da temperatura em 5,8° C e acréscimo da precipitação em 15%.

5.2.7. Cenário 7: aumento de temperatura (5,8° C) e de precipitação (15%)

O CENÁRIO 7 contempla a ocorrência de mudanças climáticas onde haveria um aumento da temperatura em 5,8°C e o acréscimo da precipitação em 15%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001). Na Figura 163 observam-se as relações existentes nesse CENÁRIO 7, tendo como parâmetros os dados levantados pela EFPP. Observa-se a criação de um novo reservatório (Reservatório da Bacia 3), onde será incorporado o aumento sugerido na oferta de água.

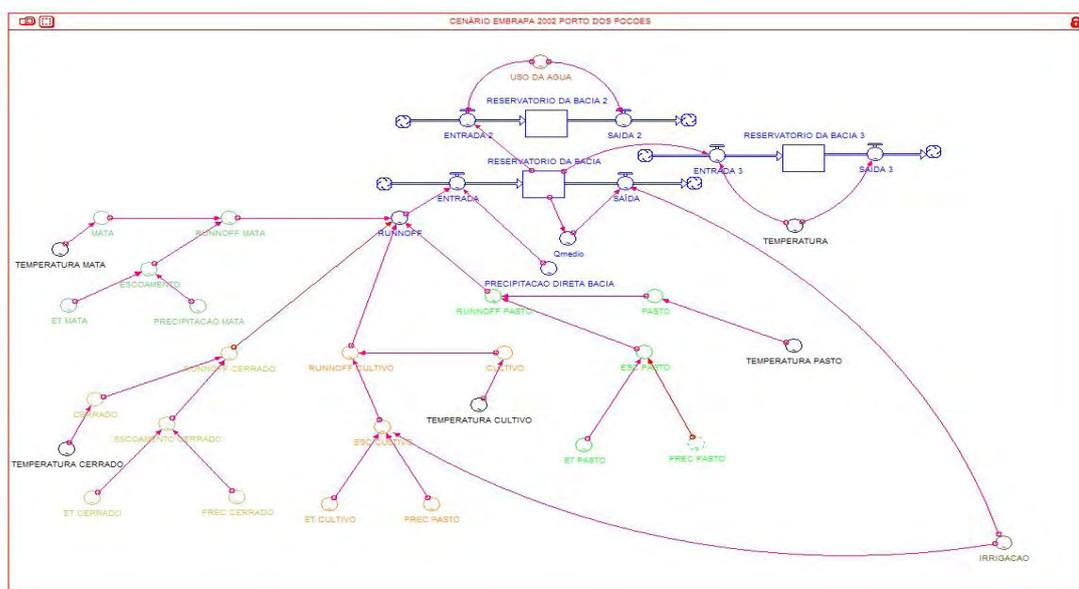


FIGURA 163 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto no CENÁRIO 7.

Puderam-se verificar, nas descrições e cenários anteriores, que a região em estudo vem sofrendo rápidas e constantes alterações em suas classes de uso do solo, decorrentes, principalmente, da intensificação de “Cultivo” e suas implicações: diretas, por substituir um ecossistema e sua composição vegetal; e indireta, devido ao crescimento populacional, ao aumento da demanda pelo recurso água, pelo uso de agroquímicos, entre outros. A Figura 164 representa a condição sugerida para o CENÁRIO 7, com acréscimos de 5,8°C na temperatura e 15% na precipitação.

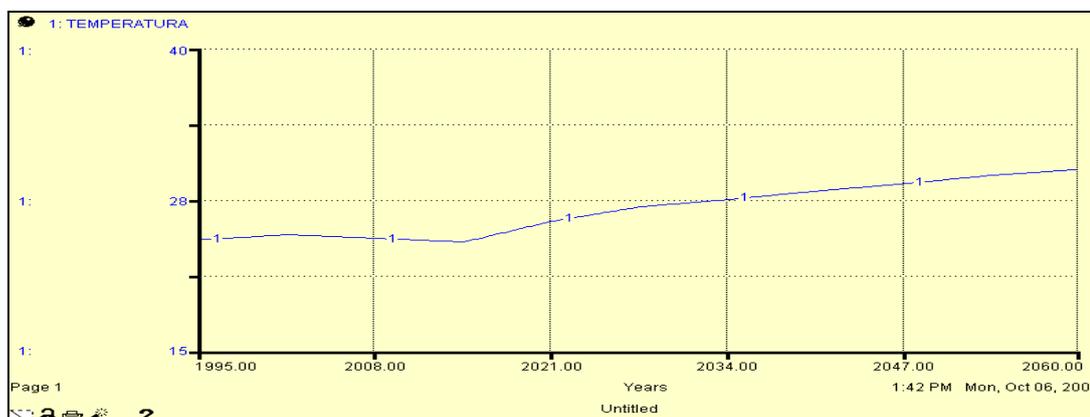


FIGURA 164 - Acréscimo de 5,8° C na temperatura sugerido pelo CENÁRIO 7.

No CENÁRIO 1 observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 23,08% no período analisado (1995-2060). No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 16,67%. No CENÁRIO 5, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 5% na precipitação, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 7,69%. No CENÁRIO 6, em função do acréscimo de 3°C na temperatura e 10% na precipitação, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 9,09%.

Nesse CENÁRIO 7, em função do acréscimo de 5,8°C na temperatura e de 15% na precipitação (Figura 164), a “Precipitação Direta” na bacia em 1995 era 1.300 mm ano⁻¹, sofre pequena queda até o ano de 2002, e depois apresenta tendência de elevação até o ano 2008, quando atinge um volume de aproximadamente 1.400 mm ano⁻¹, permanecendo relativamente constante até o ano 2014. A partir desse período, sofre várias oscilações até o ano 2047, quando atinge seu valor mínimo: 980 mm ano⁻¹; a partir desse ano se eleva até atingir 1.350 mm ano⁻¹, em 2053; sofrendo a partir desse ano redução até o final do período analisado desse estudo (2060), com 1.150 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 11,54%. A Figura 165 representa a simulação da precipitação na área de drenagem do rio Preto. Observa-se que a tendência de redução na “Precipitação Direta” na área da bacia persistirá, com pequenas oscilações, até o final do período analisado nesse estudo (2060).

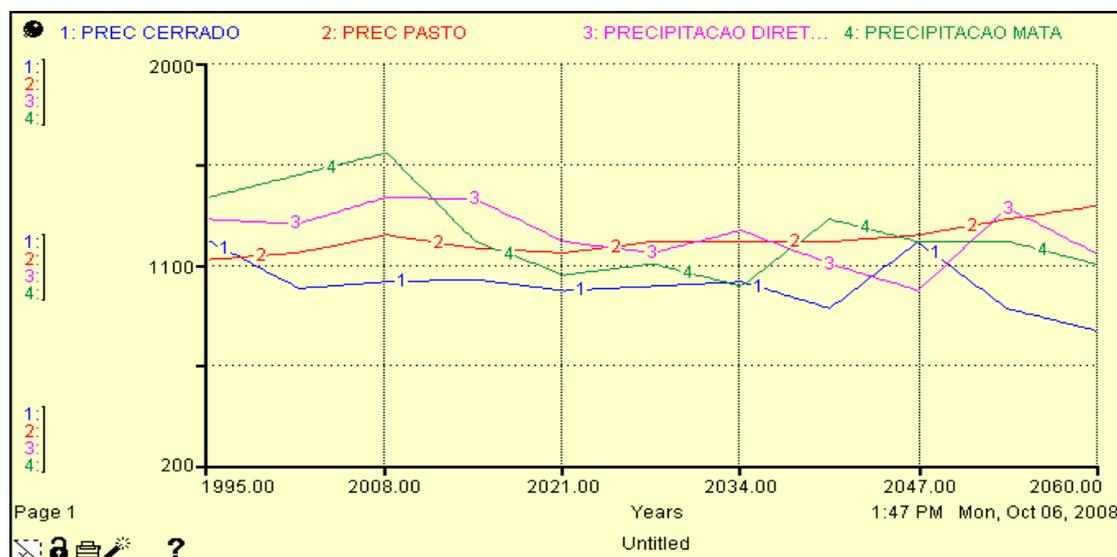


FIGURA 165 - Comportamento da precipitação (mm ano⁻¹) no CENÁRIO 7.

No CENÁRIO 1 observou-se que no ano de 2008, a “Precipitação Direta” na bacia era 1.360 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 2, em função do acréscimo de 1°C na temperatura e 6,9% na precipitação, no ano de 2008 a “Precipitação Direta” na bacia era 1.350 mm ano⁻¹. No CENÁRIO 3, que analisou o comportamento do sistema onde haveria uma redução de 20% na oferta de água – apresentou “Precipitação Direta” na bacia inferior ao CENÁRIO 1 – “Agronegócio atual”; ou seja, provavelmente, confirma

a teoria levantada, de que a redução da oferta se deu em função do aumento da demanda. No CENÁRIO 4 observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 24,24%.

No CENÁRIO 5 observou-se a “Precipitação Direta” sofreu uma redução de 15,38%, portanto, inferior ao CENÁRIO 4. No CENÁRIO 6 observou-se que a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 9,09%. Nesse CENÁRIO 7 (Figura 165) observa-se que no ano de 2008, “Mata” contribuía com 1.600 mm ano⁻¹ do volume precipitado na bacia (em 1995 era 1.400 mm ano⁻¹); no ano de 2011, com 1.400 mm ano⁻¹, passando a contribuir com valores inferiores até o ano 2038. Nesse ano ultrapassa a “Precipitação Direta” na bacia, até o ano 2051, com 1.201 mm ano⁻¹, quando sofre queda até o final do período analisado (2060), com 1.100 mm ano⁻¹. Ou seja, uma redução de 21,43% na precipitação “Mata”. O Quadro 63 apresenta as variações na “Precipitação Direta” na bacia no período de 1995-2060.

QUADRO 63 - Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia do rio Preto no período de 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-7

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Variação (%)
1	1.300	1.000	- 23,08
2	1.200	1.000	- 16,67
3	1.250	1.000	- 20,00
4	1.240	1.200	- 3,23
5	1.300	1.200	- 7,69
6	1.320	1.200	- 9,09
7	1.300	1.150	- 11,54

No Quadro 63 verifica-se no CENÁRIO 2, que em função do aumento da precipitação em 6,90%, a redução na “Precipitação Direta” da bacia com relação ao CENÁRIO 1 foi inferior. Esse mesmo CENÁRIO 2, em relação ao CENÁRIO 3, verificou-se que, apesar de uma redução de 20% na oferta de água, a redução da “Precipitação Direta” na bacia ainda foi inferior quando comparada ao CENÁRIO 1. No CENÁRIO 4, onde a oferta de água é aumentada em 25%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia foi reduzida.

No CENÁRIO 5, como a precipitação foi elevada em 5%, a redução da “Precipitação Direta” na bacia é superior que o CENÁRIO 4, mas inferior aos CENÁRIOS 1, 2 e 3. No CENÁRIO 6 observa-se, principalmente, a influência da temperatura sobre a “Precipitação Direta” na bacia – mesmo tendo havido um aumento de 10% na precipitação, superior, portanto, aos 5% do CENÁRIO 5, o aumento da temperatura em 3°C, superior, portanto, em 2°C ao proposto no CENÁRIO 5, fez com que a “Precipitação Direta” na bacia sofresse uma maior redução; ou seja, (-) 10,00% contra (-) 8,33%.

A avaliação para o CENÁRIO 7 pode ser semelhante aos CENÁRIO 4, 5 e 6; ou seja, a maior redução na “Precipitação Direta” na bacia ocorre em função do aumento das áreas de “Cultivo” e “Pasto”, mesmo a classe de uso do solo “Mata” tendo sofrido aumento (+31,54%), as áreas de “Cerrado” sofreram drástica redução (-74,16%). O crescimento significativo das classes “Cultivo” e “Pasto” implicaram em redução da evapotranspiração e, provavelmente, o aumento das áreas de “Mata”, não foi suficiente para compensar tal redução, o que influenciou de forma negativa a “Precipitação Direta” na bacia.

Há de se considerar que as atividades silviculturais nessa bacia tiveram grande incremento, particularmente a cultura do eucalipto. É sabido que essa espécie em condição de maior disponibilidade de água tem crescimento acelerado, mas que em condição de elevação de temperatura apresenta excelente controle estomático, o que pode ter auxiliado para a redução da evapotranspiração e provocado a maior redução na “Precipitação Direta” sobre a bacia, relacionado ao CENÁRIO 6.

A análise desse CENÁRIO 7 também sugere que o aumento da oferta de água pelo crescimento de áreas de “Reservatórios” (+70,48% entre 1985-2000), contribuíram para o aumento da evaporação, influenciando em uma menor redução na “Precipitação Direta” da bacia, quando comparado, por exemplo, com o CENÁRIO 1 (“Agronegócio atual”), que sofreu drástica redução (-30%). No entanto, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas. Para justificar essa tendência de redução, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 166).

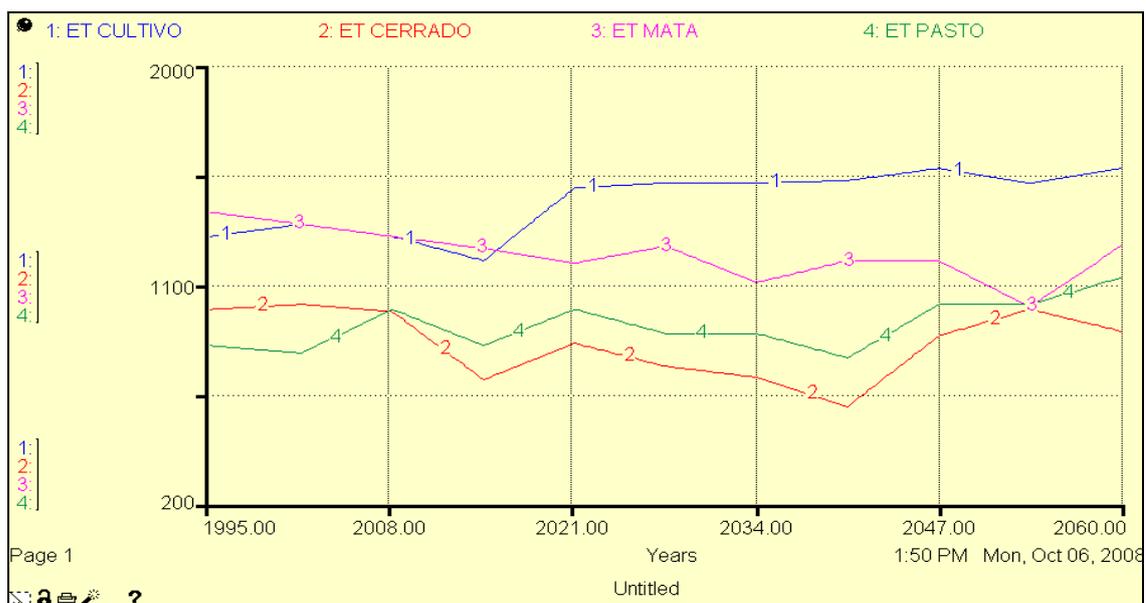


FIGURA 166 - Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060 no CENÁRIO 7.

No CENÁRIO 1 a contribuição para evapotranspiração no período 1995-1997 são praticamente idênticas para “Mata” e “Cultivo”. A partir de 1997, a maior contribuição para a evapotranspiração era “Mata”, até o ano 2025. A partir desse ano, devido ao significativo aumento das áreas de “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia. Tais condições se repetiram no CENÁRIO 3, onde se verificou um aumento significativo da importância das áreas de “Pasto” e “Cultivo” para o volume evapotranspirado. Relacionando-o ao CENÁRIO 3, sugere-se que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração nesse novo cenário, a tendência aponta para a redução da precipitação regional, posto que “Cultivo” e “Pasto” não conseguem manter uma taxa de evapotranspiração aos mesmos níveis que “Mata”.

No CENÁRIO 4 observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano 2017 e no CENÁRIO 5 observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até o ano 2017, quando “Cultivo” passa a ser o maior contribuinte. No CENÁRIO 6 observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até meado de 2001, mantendo-se nível igual a “Cultivo” desse período até o ano 2008, quando volta a ser o principal contribuinte até 2017. A partir desse ano, “Cultivo” passa a ser o maior contribuinte até o final do período analisado. Como foi comentado no CENÁRIO 1, que sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela evapotranspiração, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia.

Nesse CENÁRIO 7 (Figura 166) observa-se que “Mata” é a principal contribuinte para a evapotranspiração até meado de 2001, mantendo-se nível igual a “Cultivo” desse período até o ano 2009, quando “Mata” volta a ser o principal contribuinte até 2015. A partir desse ano, “Cultivo” passa a ser o maior contribuinte até o final do período analisado (2060). O Quadro 64 apresenta as variações evapotranspirométricas dos CENÁRIOS 1-7 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período de 1995-2060

QUADRO 64 - Variações evapotranspirométricas nos CENÁRIOS 1-7 para categorias selecionadas de classe de uso do solo no período 1995-2060

Categoria	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
Variação (%)				
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43
CENÁRIO 3	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 4	+ 32,00	+ 21,95	- 5,56	- 14,29
CENÁRIO 5	+ 25,00	+ 19,20	+ 4,70	- 11,79
CENÁRIO 6	+ 38,27	+ 27,12	- 2,12	- 8,45
CENÁRIO 7	+ 32,94	+ 21,54	- 9,00	- 10,00

Observa-se no Quadro 64 que as taxas de evapotranspiração no CENÁRIO 4, para todas as classes de uso do solo, sofreram variações percentuais significativas com relação ao CENÁRIO 3 – justificado pela redução de 20% na oferta de água; e no CENÁRIO 4 a oferta é aumentada em 25%. Os CENÁRIOS 1 e 3 sofrem a mesma variação – sugere que CENÁRIO 1 já apresentava condição de redução de oferta de água pelo aumento das áreas irrigadas e pelo efeito das mudanças climáticas já existentes.

As variações entre os CENÁRIOS 5 e 6 podem ser explicadas pela diferença de aumento de temperatura e precipitação – com elevação da temperatura, “Pasto” e “Cultivo”, por protegerem menos o solo implica em maior perda de água por evaporação, mas insustentável no longo prazo, posto não conseguirem armazenar o mesmo volume de água no solo para manter taxas evapotranspirométricas semelhantes à “Mata”. No CENÁRIO 7, as mesmas observações discutidas nos CENÁRIOS 5 e 6, podem também explicar tais variações. Observa-se, no CENÁRIO 7, que “Pasto” e “Cultivo” têm significativa participação da evapotranspiração, enquanto que “Mata” apresentou maior redução que no CENÁRIO 6.

Dessa forma, considerando que haverá maior participação das categorias “Pasto” e “Cultivo” na evapotranspiração, e considerando a redução relativa da classe de uso do solo “Mata”, é de se esperar a redução da precipitação. Na verdade, no CENÁRIO 4, a “Precipitação Direta” na bacia sofreu uma redução de 3,23% (1.240 mm ano⁻¹ para 1.200 mm ano⁻¹); no CENÁRIO 5, uma redução de 7,69% (1.300 mm ano⁻¹ para 1.200 mm ano⁻¹); no CENÁRIO 6, uma redução de 9,09%; no CENÁRIO 7, uma redução de 11,54% (1.300 mm ano⁻¹ para 1.150 mm ano⁻¹), no período analisado (1995-2060).

Considerando as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados desta área, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Pasto” (+32,94%) e “Cultivo” (+21,54%), significa que estas áreas estão substituindo as classes de uso do solo que sofreram redução absoluta, como o “Cerrado” (-9,89%), que é o Bioma regional e garante a condição de homeostasia; e, ou, redução relativa, como “Mata” (-11,11%), que apresenta maior taxa de evapotranspiração – essas alterações implicarão em redução futura na “Precipitação Direta” na bacia, *ceteribus paribus*. Essa situação é bastante complexa, posto que a demanda da água na bacia vem apresentado crescimento constante, principalmente pela atividade de irrigação. A Figura 167 apresenta a tendência de uso total de água na bacia do rio Preto, tendo por base os dados da EFPP.

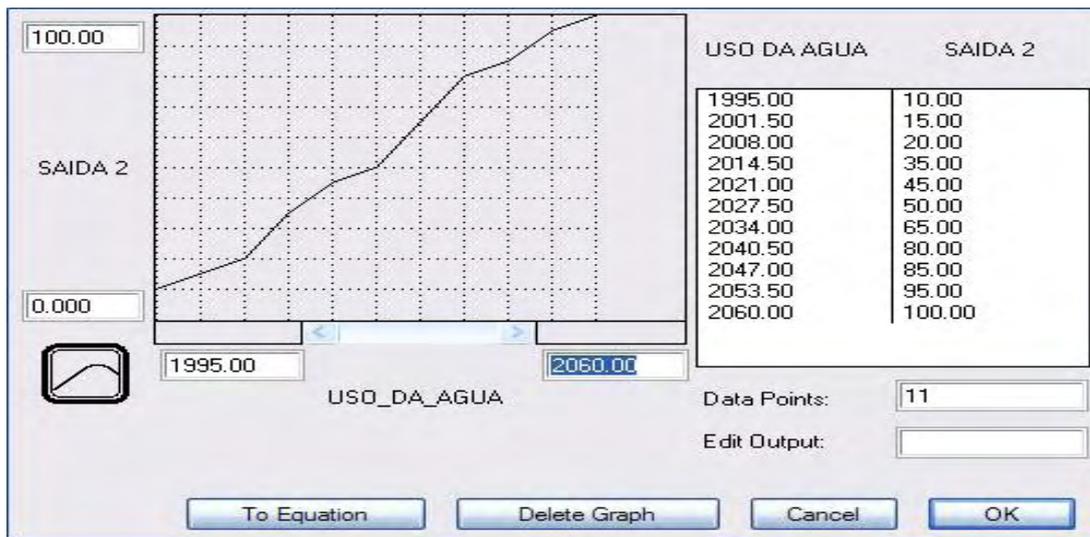


FIGURA 167 - Simulação para o uso da água no período 1995-2060 no CENÁRIO 7.

No CENÁRIO 1 observou-se que em 1995 eram consumidos 15% do total de toda a água disponível da bacia, mantendo-se esse valor constante até o ano de 2008. Em 2021, a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 35,00% da disponibilidade hídrica total da bacia; e em 2056 já se utilizavam 80% de toda a água disponível. No CENÁRIO 2 observou-se que em 1995 o consumo representava 12% do total da água disponível da bacia (em função do aumento de 6,9% da oferta de água na bacia); contudo, em função do uso do solo e das mudanças climáticas que influenciaram na taxa de evapotranspiração, o sistema se tornou insustentável em data anterior ao CENÁRIO 1.

No CENÁRIO 5 observou-se que em 1995 eram consumidos apenas 5% do total de toda a água disponível da bacia; em 2021, já era de 35%; em 2034, 55%; em 2043, 80% da disponibilidade hídrica total da bacia. Ou seja, apesar de ter havido uma elevação da precipitação em 5%, sugerindo que ocorresse o aumento da oferta de água, o que estimulou o incremento das áreas de “Cultivo”; porém, em função do aumento da temperatura em 1°C, implicou na elevação da taxa evapotranspirométrica, fazendo com que a oferta de água não aumentasse na mesma proporção demandada, como consequência, também, das mudanças das classes de uso do solo que alterou as taxas evapotranspirométricas locais.

Da mesma forma que no CENÁRIO 1, considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2037, no CENÁRIO 2, aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico ($IS = 0,20$). No CENÁRIO 5, essa condição acontece no ano de 2043. No CENÁRIO 6, a condição é semelhante ao CENÁRIO 5, porém, em data anterior - já no ano de 2034 o $IS = 0,19$, ou seja, o sistema já está sofrendo a depleção por estresse hídrico, podendo ser explicado pelo maior aumento de temperatura estabelecido no CENÁRIO 6.

Nesse CENÁRIO 7 o comportamento se dá da mesma forma que no CENÁRIO 6. No ano de 2034 o $IS = 0,18$; ou seja, o sistema está usando 82% de toda a água disponível, acima dos 80% admissíveis, o que representa a insustentabilidade do sistema por depleção em função do estresse hídrico. Ou seja, o aumento na precipitação, que ocorreu em função do aumento de temperatura, considerando todas as suas implicações, fez com que em todos os cenários propostos, houvesse a redução da “Precipitação Direta” na bacia e a conseqüente redução das vazões, sugerindo a condição de insustentabilidade.

Há de se considerar que a bacia hidrográfica do rio São Francisco é totalmente dependente do nível e da distribuição das chuvas. Dessa forma, aí está a importância de natureza climática. Para isso, será avaliado um último cenário, onde será considerado o incremento da área irrigada em 10% a.a., que poderá tornar a situação ainda mais crítica, quando combinada com os efeitos de redução da oferta como conseqüência de mudanças climáticas.

5.2.8. Cenário 8: Incremento da área irrigada

Na Figura 168 observam-se as relações existentes atualmente no CENÁRIO 8, tendo como parâmetros os dados levantados na EFPP.

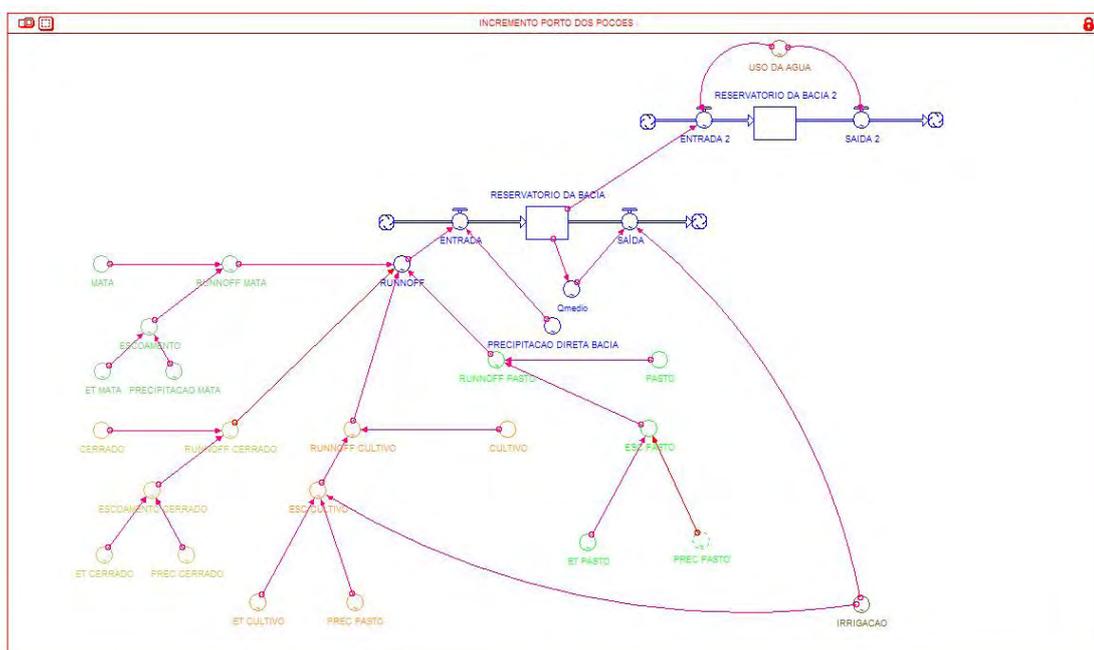


FIGURA 168 - Modelo de estoque e fluxo da água do rio Preto do CENÁRIO 8.

Nesse CENÁRIO 8 observar-se-á que o sistema tenderia a exaustão, tal como foi verificado no CENÁRIO 1. Quando se observa a simulação do CENÁRIO 1, que compreende o “Agronegócio atual”, não se considerou nenhuma variação nos demais parâmetros no modelo. Manteve-se, portanto, as tendências de crescimento

econômico de longo prazo na bacia hidrográfica do rio Preto, cuja tendência de crescimento das áreas irrigadas já era, aproximadamente, 10% a.a. Esse fato pode ser confirmado quando se analisam o uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFPP, apresentados na Figura 169.

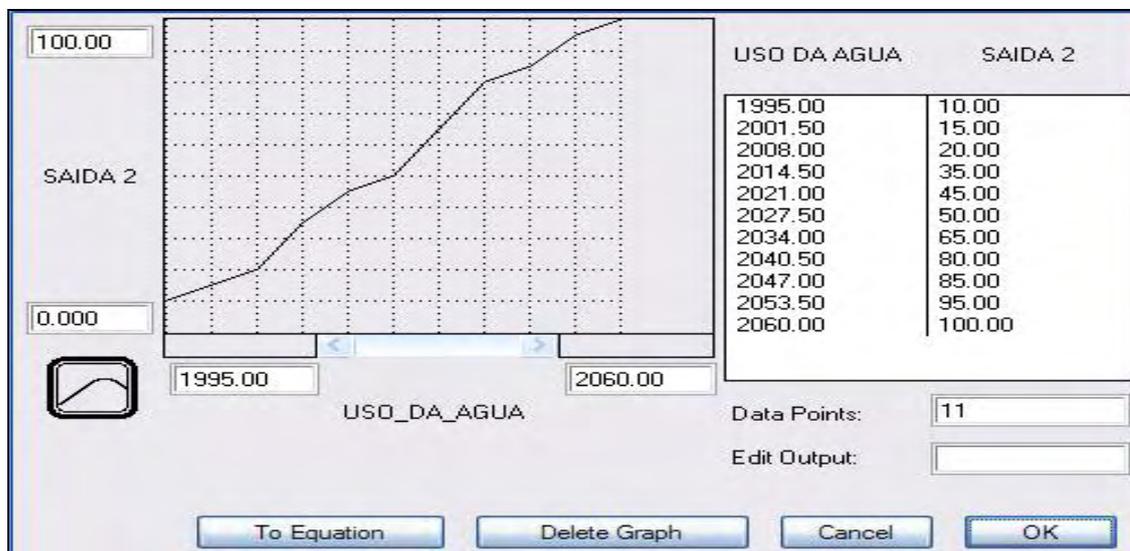


FIGURA 169 - Projeção para o uso da água no período 1995-2060 na bacia do rio Preto.

Quando se observa a Figura 126, que indica o comportamento das demandas de água pela irrigação do período 1995-2060 no CENÁRIO 1, verifica-se a mesma tendência apresentada nesse CENÁRIO 8 (Figura 170).



FIGURA 170 - Demanda setorial de água para a atividade irrigação (mm ano^{-1}) para a bacia hidrográfica do rio Preto no CENÁRIO 8.

A pequena diferença se dá no período entre 1995-2001, que pode ser explicado, por exemplo, pela construção de “Reservatórios” no CENÁRIO 8, que manteve a disponibilidade de água para a irrigação (Figura 170). A partir desse período, nos CENÁRIOS 1 e 8 a demanda decresce, quando a partir de 2008 a

tendência é de crescimento até ao final do período analisado. Contudo, não se expandindo a construção de reservatórios na mesma proporção que a demanda de água para a irrigação, a tendência do CENÁRIO 8 é a de se consumir $1.020 \text{ mm ano}^{-1}$: valor semelhante ao CENÁRIO 1 que era de $1.100 \text{ mm ano}^{-1}$. Ou seja, percebe-se que no CENÁRIO 1 a demanda de água para irrigação foi superior a 10% a.a.

No CENÁRIO 1 considerou-se como exemplo o parâmetro “Precipitação do Cerrado”: por ser o Bioma da região de estudo; e pelo fato da precipitação ser a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica. Nesse período, ter-se-iam os seguintes valores precipitados, respectivamente: 900 mm ano^{-1} , 700 mm ano^{-1} , $1.100 \text{ mm ano}^{-1}$ e 750 mm ano^{-1} . Determinou-se o índice de sustentabilidade (IS), considerando apenas a demanda do setor “Irrigação”, tiveram-se os seguintes resultados (Quadro 65).

QUADRO 65 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros “Irrigação” e Precipitação no “Cerrado” para o CENÁRIO 1

ANO	DEMANDA (mm ano^{-1})	OFERTA (mm ano^{-1})	IS
1995	395	900	0,56
2021	580	700	0,17
2047	700	1.100	0,36
2060	1.100	750	0

Verifica-se assim, que nesta condição, o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, o IS de 0,17, significa que o sistema estaria utilizando 83% da oferta potencial de água, já indicando a sobre-exploração que ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água. No ano de 2047 o IS de 0,36 indica que o sistema sofreu alguma alteração, por exemplo, a construção de “Reservatórios” que aumentou a oferta de água. Contudo, no ano de 2060 o IS é igual a zero; ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa que está ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração.

Fazendo-se essa mesma análise para o CENÁRIO 8, considerando-se a demanda de água apenas para o setor “irrigação” (Figura 170), no ano 1995, de toda a oferta de água da bacia, essa atividade demandaria 450 mm ano^{-1} . O consumo se eleva até 2001 (500 mm ano^{-1}), decresce até 2008 (420 mm ano^{-1}); voltando a partir desse ano a apresentar tendência de crescimento até ao final do período analisado (2060). No ano 2021 a demanda seria 600 mm ano^{-1} ; em 2047, 860 mm ano^{-1} ; e em 2060, $1.020 \text{ mm ano}^{-1}$.

Considerando-se como exemplo o parâmetro “Precipitação do Cerrado”, nesse mesmo período ter-se-iam os seguintes valores precipitados, respectivamente: 900 mm ano^{-1} , 700 mm ano^{-1} , $1.100 \text{ mm ano}^{-1}$ e 750 mm ano^{-1} . Determinou-se o índice de sustentabilidade (IS), considerando apenas o setor “Irrigação” (Quadro 66).

QUADRO 66 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros Irrigação e Precipitação no “Cerrado” para o CENÁRIO 8

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	450	900	0,50
2021	600	700	0,14
2047	860	1.100	0,22
2060	1.020	750	0

Verifica-se assim, que nesta condição, o sistema seria insustentável e em condições mais drásticas que no CENÁRIO 1. Ou seja, o crescimento de 10% a.a. seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, o IS de 0,14, significa que o sistema estaria utilizando 86% da oferta potencial de água, já indicando a depleção do recurso água. No ano de 2047 o IS de 0,22 indica que o sistema sofreu alguma alteração, por exemplo, a construção de “Reservatórios” que aumentou a oferta de água (considere-se que nesse período a “Precipitação Direta” na bacia foi reduzido). Contudo, está muito próximo ao limite de IS igual a 0,20, que seria o máximo permissível de demanda por água. No ano de 2060 o IS é igual a zero; ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa que já ocorreu a sua depleção por sobre-exploração.

Considerando o parâmetro “Precipitação Direta” na bacia, que nessa bacia apresenta valores superiores à precipitação do “Cerrado”, nesse mesmo período, ter-se-iam os seguintes valores precipitados (Figura 171), respectivamente: no ano de 1995, 1.230 mm ano⁻¹; em 2021, 1.110 mm ano⁻¹; em 2047, 800 mm ano⁻¹; e no ano de 2060, 1.000 mm ano⁻¹.



FIGURA 171 - Simulação para a “Precipitação Direta” no CENÁRIO 8 no período 1995-2060.

Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS) e, considerando apenas a demanda para o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados (Quadro 67).

QUADRO 67 - Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros “Irrigação” e “Precipitação Direta” na bacia

ANO	DEMANDA (mm ano ⁻¹)	OFERTA (mm ano ⁻¹)	IS
1995	450	1.230	0,63
2021	600	1.110	0,46
2047	860	800	0
2060	1.020	1.000	0

Verifica-se assim, que considerando também esta condição, o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, apesar do IS ser de 0,46, significando que o sistema estaria utilizando 54% da oferta potencial de água, nesse período já aponta para uma condição de vulnerabilidade, que ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água. Isso porque não estão sendo consideradas as demais demandas, como ambiental, consumo humano e dessedentação animal. A partir do ano de 2047, o IS igual a 0 indica que a demanda excede toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa que já ocorreu a sua depleção por sobre-exploração.

Essa situação pode ser justificada quando se analisa o uso total de água na bacia e na “Precipitação Direta” na área de drenagem. Observa-se a tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia, cujo volume precipitado no ano de 1995 correspondia a 1.230 mm ano⁻¹ e no ano de 2060 de 1.000 mm ano⁻¹; ou seja, uma redução de 18,70%.

Ou seja, a “Precipitação Direta” na área da bacia representa uma média da evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existentes, *ceteribus paribus*. Dessa forma, caso toda a bacia fosse coberta por “Mata”, em função de sua maior capacidade de retenção de água no solo, sua taxa de evapotranspiração seria mais elevada, e provavelmente ter-se-ia um maior volume de chuva na região em estudo, *ceteribus paribus*. Contudo, como a categoria “Cultivo” continuou a sofrer aumento de suas áreas irrigadas, passou a não haver disponibilidade de água para irrigação, e nem para atender as demais demandas.

Dessa forma, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas, com as constantes mudanças nas classes de uso do solo. Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, fica imprevisível qual seria o comportamento desse sistema. Por esta questão, será feita uma breve associação entre as duas bacias hidrográficas analisadas, para ver o comportamento de cada uma delas frente aos cenários propostos.

5.2.3. ASSOCIAÇÕES DO COMPORTAMENTO ENTRE AS BACIAS ANALISADAS

Inicialmente, cabe considerar, que o Programa STELLA simula as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Observaram-se, em todos os cenários avaliados das duas bacias em estudo, que as respostas são diferenciadas em função de uma série de fatores, tais como: o tamanho da área de drenagem, as mudanças das classes de uso do solo, o relevo, a cobertura vegetal e o manejo do solo. Esses fatores e suas inter-relações podem influenciar a evapotranspiração e a precipitação, conseqüentemente, com reflexos sobre os recursos hídricos, provocando, nos cenários propostos deste estudo, a redução na “Precipitação Direta” na bacia, que sugere a redução nas vazões média e mínimas.

Sabe-se que o clima do nosso planeta é um complexo sistema resultante da interação de cinco fatores: a atmosfera; os oceanos; as regiões com gelo e neve (criosfera); os organismos vivos (biosfera) e os solos; e os sedimentos e as rochas (geosfera); todos eles, por sua vez, em estreita ligação com a temperatura (sol). Somente nesses termos é possível compreender os fluxos e ciclos de energia e matéria da atmosfera, imprescindível para investigar as causas e os efeitos de possíveis mudanças climáticas - um dos maiores problemas vivenciados na atualidade. Contudo, a esses fatores, outro deve ser juntado: o fator antropogênico, resultante da atividade humana. Isso porque, desde períodos imemoriais, dos primeiros primatas ao moderno *homo sapiens*, o homem se viu na necessidade de interagir com o meio em que vive de forma a retirar da natureza toda espécie de recursos necessários à sua sobrevivência - dos alimentos à energia (SOUZA, 2008).

Dessa forma, sobre essas relações e alterações que ocorrem na dinâmica de um determinado sistema, cabe considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente causadas pelas atividades antrópicas, como a substituição do “Cerrado” por “Cultivo”, em combinação, por exemplo, com cenários onde se vislumbram mudanças climáticas com elevação da temperatura e da precipitação, podem potencializar os efeitos ambientais em uma determinada região, como sugere o presente estudo para as bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

Diversos autores e resultados de simulações têm evidenciado que as mudanças climáticas influenciam na quantidade e distribuição de chuva. Tais efeitos foram comprovados nas simulações do presente trabalho, destacadamente nos CENÁRIOS 2, 5, 6 e 7. Foi observado que as respostas são diferenciadas, em função de fatores já discutidos, posto que o comportamento das duas bacias em estudo foi diferenciado. Esses fatores e suas inter-relações podem influenciar os parâmetros

evapotranspiração e precipitação, conseqüentemente, com reflexos sobre os recursos hídricos.

Há de se considerar, possivelmente, que os impactos sinérgicos e cumulativos causados pelas mudanças de classes de uso do solo certamente acarretaram alterações na superfície da bacia, tendo impactos expressivos sobre o ciclo hidrológico. Dessa forma, podem-se descrever alterações na interceptação da chuva pela cobertura vegetal, por intermédio da retirada da cobertura natural, nesse estudo predominantemente o “Cerrado”, causando uma maior exposição do solo a estes eventos, trazendo maior probabilidade de encrostamento superficial e conseqüente diminuição da taxa de infiltração, provocando o aumento do escoamento superficial.

À medida que “Mata” e “Cerrado” vão sendo substituídos por “Cultivo”, “Pasto” e “Urbanização”, provoca vulnerabilidade ao equilíbrio da natureza, interfere na resistência e na resiliência do sistema, rompendo a condição existente de homeostasia do ambiente em estudo. “Urbanização”, particularmente, diminui consideravelmente a evapotranspiração e a evaporação dos solos umedecidos, que são cobertos pelas construções civis. Decorrente deste fato diminui a umidade relativa do ar destes ecossistemas e, no decorrer do tempo, cria-se um clima semelhante ao desértico, quente e seco. De acordo com HARRISON e PEARCE (2000), apenas 5% (cinco por cento) de toda superfície terrestre são desérticas, mas as regiões áridas e semi-áridas associadas afetam 1/3 (um terço) da superfície da terra.

Sabe-se que os processos evaporativos têm grande importância no ciclo hidrológico. De toda a precipitação que ocorre sobre os continentes, 57% evapora, enquanto que nos oceanos a evaporação corresponde a 112% do total precipitado. Em uma região semi-árida cerca de 96% da precipitação total anual pode evaporar. A evapotranspiração diária pode variar em uma faixa de 0-12 mm dia⁻¹. Durante uma chuva intensa a evaporação é reduzida ao mínimo em função das condições de saturação do ar. Entretanto, a evapotranspiração entre as tormentas é normalmente suficiente para deplecionar completamente a umidade do solo em regiões áridas e tem influência significativa em sua umidade e nas respostas hidrológicas futuras em todos os lugares (PORTO *et al.*, 1993).

Há de se considerar também as questões relacionadas à retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo. A interceptação pode ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento. O volume retido é perdido por evaporação, retornando à atmosfera. Este processo interfere no balanço hídrico da bacia hidrográfica, funcionando como um reservatório que armazena uma parcela da precipitação para consumo. A tendência é de que a interceptação reduza a variação da vazão ao longo do ano, retarde e reduza o pico das cheias (BLAKE, 1975). Linsley

et al. (1949), *apud* BLAKE (1975), mencionam que sob condições similares, as perdas por interceptação vegetal podem chegar até a 25% da precipitação anual. Helvey e Patric (1968), *apud* WIGHAM (1970) indicam que em regiões úmidas e com florestas, a interceptação anual pode chegar a 250 mm ano⁻¹.

A quantificação do impacto da modificação da interceptação, ou seja, da cobertura vegetal sobre o escoamento, é uma questão importante para regiões em desenvolvimento com grande ocupação do espaço rural e urbano como no Brasil. Existe dificuldade de quantificar efetivamente este processo devido à magnitude deste componente no ciclo hidrológico, se comparado com os demais. A determinação experimental deste processo é difícil devido à interação com os outros processos como a infiltração e a evaporação. Alguns modelos têm utilizado diferentes tipos de cobertura e área projetada para simular a interceptação de pequenas bacias (LI, 1974).

De acordo com esse mesmo autor, com dados de uma bacia no país de Gales foi desenvolvido e ajustado um modelo (Institute of hidrology, 1973), sendo utilizado para análise de sensibilidade da interceptação e obteve redução na vazão média de 6-20%, de acordo com a cobertura vegetal implantada (2-8 mm de capacidade de interceptação). Quanto maior for a capacidade de interceptação, maior é a redução na vazão média.

Relacionado à infiltração, sabe-se que é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior. Normalmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas à superfície, conformando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade. Quando o aporte de água à superfície cessa, a umidade no interior do solo se redistribui, evoluindo para um perfil de umidade inverso, com menores teores de umidade próxima à superfície e maiores nas camadas mais profundas. Nem toda umidade é drenada para as camadas mais profundas do solo, já que parte é transferida para a atmosfera por evapotranspiração. Há de se considerar que a matéria orgânica, a textura e a estrutura do solo são fatores que afetam a taxa de infiltração de água no solo (SOUZA, 2008).

Com relação ao ciclo hidrológico, pode-se começar a descrevê-lo a partir do vapor de água presente na atmosfera que, sob determinadas condições meteorológicas, condensa-se formando gotículas de água que formarão as nuvens. Por intermédio da dinâmica das massas de ar, acontece a principal transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre que é a precipitação. Há de se considerar que o intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da

atmosfera, que é o fechamento desse ciclo, ocorre em dois sentidos: a) no sentido superfície-atmosfera, onde o fluxo de água ocorre fundamentalmente na forma de vapor, como decorrência dos fenômenos de evaporação e de transpiração; e b) no sentido atmosfera-superfície, onde a transferência de água ocorre em qualquer estado físico, sendo mais significativas, em termos mundiais, as precipitações de chuva e neve (VIANELLO e ALVES, 2001).

O ciclo hidrológico só é fechado em nível global. Os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, porque há movimentos contínuos, com dinâmicas diferentes, na atmosfera, e também na superfície terrestre. Da precipitação que ocorre nos continentes, por exemplo, somente parte é aí evaporada, com o restante escoando para os oceanos. À medida que consideramos áreas menores de drenagem, o ciclo hidrológico fica mais caracterizado como um ciclo aberto ao nível local (*ibidem*).

Segundo esse mesmo autor, entre os fatores que contribuem para que haja uma grande variabilidade nas manifestações do ciclo hidrológico, nos diferentes pontos do globo terrestre, pode-se enumerar: a heterogeneidade com que a energia solar atinge os diversos locais; o diferente comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos; a quantidade de vapor de água; dióxido de carbono (CO₂) e ozônio na atmosfera; a variabilidade espacial de solos e coberturas vegetais; e a influência da rotação e inclinação do eixo terrestre.

Havendo precipitação, a água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, há infiltração de toda precipitação que chega ao solo, enquanto a superfície do solo não se satura. A partir do momento da saturação superficial, à medida que o solo vai sendo saturado a maiores profundidades, a infiltração decresce até uma taxa residual, com o excesso não infiltrado da precipitação gerando escoamento superficial. A infiltração e a percolação no interior do solo são comandadas pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade (carga hidráulica). A umidade do solo realimentada pela infiltração é aproveitada em parte pelos vegetais, que a absorvem pelas raízes e a devolvem quase completamente para a atmosfera por transpiração. A parte não utilizada pelos vegetais, percola para o lençol freático que normalmente contribui para o escoamento de base dos rios (PEREIRA *et al.*, 2002).

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. Manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao micro relevo do solo. A erosão de partículas de solo pelos filetes em seus trajetos, aliada à topografia, molda, por sua vez, uma micro-rede de drenagem que converge para a rede de cursos d'água mais estáveis, formada por ribeirões e rios. A presença de vegetação na

superfície do solo funciona como um obstáculo ao escoamento superficial, favorecendo a infiltração no percurso. A vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão (*ibidem*).

Em qualquer tempo e local por onde circula a água na superfície terrestre, seja nos continentes ou nos oceanos, há evaporação para a atmosfera, fenômeno que fecha o ciclo hidrológico ora descrito. Naturalmente, por cobrir a maior parte da superfície terrestre, cerca de 70%, a contribuição maior é a dos oceanos. Entretanto, o interesse maior, por estar intimamente ligada a maioria das atividades antrópicas, reside na água doce dos continentes, onde é importante o conhecimento da evaporação dos mananciais superficiais líquidos e dos solos, assim como da transpiração vegetal. A evapotranspiração depende da radiação solar, das tensões de vapor do ar e dos ventos (TUCCI, 1997).

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica - área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (Q). Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (Figura 172) (PEREIRA *et al.*, 2002).

A precipitação que cai sobre as vertentes se infiltra totalmente nos solos até haver saturação superficial destes, momento em que começam a decrescer as taxas de infiltração e a surgir crescentes escoamentos superficiais, se a precipitação persistir. O escoamento superficial gerado nas vertentes, no contexto de bacia hidrográfica, pode ser interpretado como uma “produção” de água para escoamento rápido e, portanto, as vertentes seriam vistas como as fontes produtoras. Seguindo com este enfoque, a água produzida pelas vertentes tem como destino imediato a rede de drenagem, que se encarrega de transportá-la à seção de saída da bacia (*ibidem*).

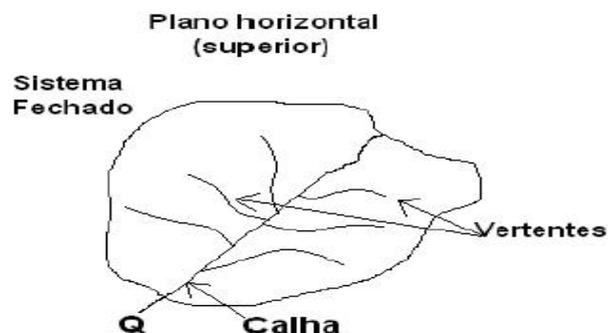


FIGURA 172 - Bacia Hidrográfica. Fonte: PEREIRA *et al.*, 2002.

A mesma caracterização da vertente como fonte produtora, e a rede de drenagem como transportadora, pode ser usada com respeito aos sedimentos. As vertentes “produzem” os sedimentos por fenômenos de erosão (lixiviação) e estes são

transportados com a água pela rede de drenagem, junto com a carga significativa de sedimentos produzida nos próprios leitos dos rios. Na realidade, não é possível considerar as vertentes e os rios como entidades totalmente separadas, uma vez que estão continuamente em interação para adaptação da bacia hidrográfica às solicitações da natureza.

Nesse estudo, a importância dos fatos aqui descritos se refere ao balanço hídrico, por ser um método que permite quantificar as entradas e saídas de água de um “volume de controle”. A Figura 173 ilustra os termos envolvidos com o balanço hídrico de tal volume de controle.

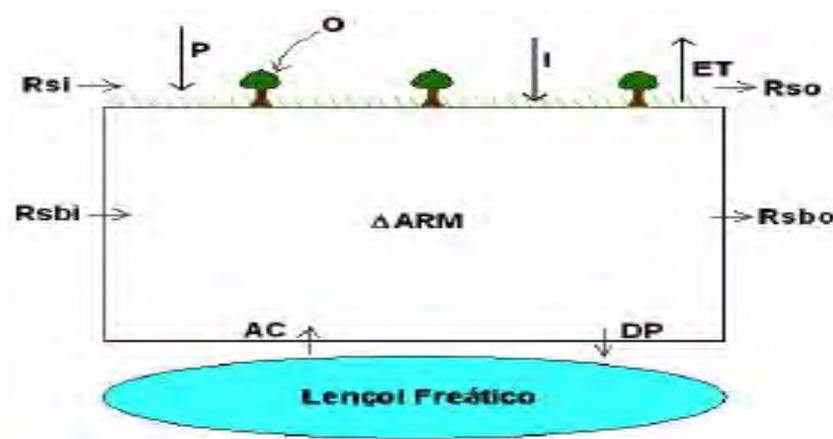


FIGURA 173 - Termos envolvidos no Balanço Hídrico em um volume de controle. Fonte: PEREIRA *et al.*, 2002.

Da Figura 173 pode-se observar que as entradas no volume de controle são (*ibidem*): Precipitação (P), Irrigação (I), Deposição de Orvalho (O), Escoamento Superficial (Rsi), Escoamento sub-base (Rsbi) e a Ascensão Capilar (AC). As saídas no mesmo volume de controle são: Evapotranspiração (ET), Escoamento Superficial (Rso), Escoamento sub-base (Rsbo) e Drenagem Profunda (DP). Assim, o balanço hídrico, dado pela variação no armazenamento de água no solo (ΔARM), pode ser obtido por intermédio da diferença entre todas as entradas e saídas do volume de controle.

Assim, independentemente do tipo de solo, pode-se adotar valores de capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) geralmente observados para a cultura de interesse (PEREIRA *et al.*, 2002): hortaliças (25-50 mm); culturas anuais (75-100 mm); culturas perenes (100-125 mm); e florestas (150-300 mm). Desta forma, podem-se avaliar as possíveis causas da redução da “Precipitação Direta” nas bacias em estudo e na conseqüente redução das vazões média e mínimas.

Em face dessas considerações, os programas de “Gestão dos Recursos Hídricos” têm dispensado especial importância ao planejamento do uso do solo, ou seja, têm dado ênfase às medidas de caráter preventivo, mais eficientes e menos

onerosas (MOTA, 2003). Bruijnzeel (1996), *apud* LATUF (2007), comenta que praticamente todos os resultados existentes do estudo sobre a influência das modificações do uso do solo associadas às alterações em vazões referem-se às pequenas bacias, onde se têm um maior controle dos eventos e ações, bem como maiores homogeneidades pedogeomorfológicas e climáticas.

A mesma idéia é compartilhada por COSTA *et al.* (2003), onde o efeito das mudanças do uso do solo em associações com a alteração no comportamento da vazão é de difícil obtenção, devido, sobretudo, à alta diversidade espaço-temporal dos tipos de usos do solo, características vegetacionais, pedológicas e climatológicas para áreas com grandes extensões territoriais.

Considerando a condição atual destas bacias em estudo, essa situação é bastante complexa, posto que as vazões média e mínimas vêm decrescendo. Por outro lado, de acordo com RODRIGUEZ *et al.* (2007), a vazão média anual retirada pela irrigação na bacia do rio Paracatu apresenta acentuada tendência de crescimento, sendo o comportamento dessa variável determinado, principalmente, pelo crescimento da área irrigada no período de análise de seu estudo (1970-1996), onde a vazão média anual retirada pela irrigação na bacia teve crescimento de 62 vezes, enquanto a área irrigada teve aumento de 73 vezes.

Segundo esses mesmos autores, a maior vazão de retirada pela irrigação foi observada em agosto, mês em que, embora a evapotranspiração real da cultura não tenha sido máxima nem a precipitação efetiva tenha sido mínima, ocorreu a maior diferença entre essas duas variáveis, ocasionando vazão de retirada de $5,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (vazão unitária de $0,34 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$). Já em meses como novembro (mesmo a evapotranspiração real da cultura sendo máxima), março, abril e dezembro, a precipitação efetiva superou a evapotranspiração real da cultura, fazendo com que a vazão retirada para a irrigação fosse nula e que a vazão unitária média em Unaí, em 1996, fosse de $0,14 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

A vazão máxima de retirada pela irrigação na bacia do rio Paracatu foi $12,49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, correspondente ao mês de agosto, e uma vazão unitária máxima de retirada pela irrigação de $0,34 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (vazão média retirada no mês de maior demanda); enquanto a vazão unitária média anual de retirada pela irrigação foi de $0,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, valores bem abaixo daqueles normalmente utilizados como base de referência para o projeto de sistemas de irrigação ou, mesmo, para calcular a quantidade de água demandada pela agricultura irrigada. Os valores da quantidade de água necessária para atender à demanda das culturas irrigadas variaram de $0,29 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (julho) a $0,50 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (novembro), e o valor médio de $0,35 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ foi 2,5 vezes maior ao correspondente à vazão unitária de retirada média anual (*ibidem*).

Enfim, para se fazer a análise do comportamento das duas bacias deste estudo, a do ribeirão Entre Ribeiros e a do rio Preto, cabe lembrar que os seus comportamentos foram diferenciados, como também os resultados obtidos foram coerentes com a lógica. Na medida em que as áreas cultivadas irrigadas se intensificam pelo crescimento da classe de uso do solo “Cultivo”, principalmente sobre as áreas de “Cerrado”, maior volume de água é requerido para satisfazer às suas respectivas demandas, reduzindo as vazões média e mínimas.

No período de 1985-2000, na área de drenagem da Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua (1.590,86 km²), o crescimento das áreas de “Cultivo” vem provocando a redução das áreas de “Cerrado” (91,93% dessas áreas foram convertidas em “Cultivo”); e áreas de “Pasto” vêm sendo abandonadas e sendo transformadas em áreas de “Mata” (73,88% dessas áreas foram convertidas em “Mata”), como pode ser observado no Quadro 68.

QUADRO 68 - Área e variação percentual das coberturas das classes de uso do solo na área de drenagem da Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua no período 1985-2000

Uso do solo	Área (km ²)			Variação (%)	Cobertura das classes (%)	
	1985	2000	Diferença	85 a 00	1985	2000
Cerrado	635,23	332,55	- 302,68	- 47,65	39,93	20,90
Cultivo	154,68	461,09	+306,41	+198,09	9,72	28,98
Mata	620,55	694,13	+ 73,58	+ 11,86	39,01	43,64
Pasto	34,62	17,77	- 16,85	- 48,67	2,18	1,18

Fonte: Compilados de LATUF, 2007.

Na área de drenagem da EFPP (10.282,64 km²), a única classe de uso do solo que sofreu redução foi “Cerrado”. Dessas áreas, cuja redução foi de 3.222,83 km², 64,30% foram convertidas em “Cultivo” (+2.072,19 km²); 21% foram convertidas em áreas de “Mata” (+676,80 km²); e 13,87% foram convertidas em áreas de “Pasto” (+447,02 km²), como pode ser observado no Quadro 69, tendo como referência os dados das classes de uso do solo da EFPP, no período de 1985-2000.

QUADRO 69 - Área e variação percentual das coberturas das classes de uso do solo na área de drenagem da Estação Fluviométrica Porto dos Poções no período 1985-2000

Uso do solo	Área (km ²)			Variação (%)	Cobertura das classes (%)	
	1985	2000	Diferença	85 a 00	1985	2000
Cerrado	4.345,67	1.122,84	-3.222,83	- 74,16	42,26	10,92
Cultivo	1.567,56	3.679,75	+2.072,19	+132,19	15,24	35,78
Mata	2.145,75	2.822,55	+ 676,80	+ 31,54	20,87	27,45
Pasto	1.351,88	1.798,90	+ 447,02	+ 33,07	13,15	17,50

Fonte: Modificado de LATUF, 2007.

Analisando os Quadros 68 e 69, verifica-se que as grandes alterações nas duas bacias em estudo se referem às substituições de “Cerrado” por “Cultivo”, de forma mais intensa na área da drenagem da Estação Fluviométrica Porto dos Poções. Ao mesmo tempo, na Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua, a substituição da classe de uso do solo “Cerrado” basicamente se deu para “Cultivo”.

Observando-se o Quadro 70, que representa as variações evapotranspirométricas na área de drenagem da Estação Fluviométrica Barra da Égua, percebe-se que as taxas de evapotranspiração para a classe de uso do solo “Cerrado” não sofreram variações percentuais com relação aos CENÁRIOS analisados, com exceção nos CENÁRIOS 2 e 5.

QUADRO 70 - Variações percentuais na evapotranspiração nos CENÁRIOS 1-7 para categorias selecionadas no período 1995-2060 na área de drenagem da Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua

Categoria Variação (%)	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 2	+ 33,34	+ 23,77	+ 8,53	- 10,48
CENÁRIO 3	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 4	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11
CENÁRIO 5	+ 33,78	+ 23,97	+ 8,64	- 9,56
CENÁRIO 6	+ 40,00	+ 25,60	0,0	- 10,71
CENÁRIO 7	+ 39,50	+ 25,40	0,0	- 10,64

É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração de “Cerrado”, está significando, nesta bacia, que esta classe de uso do solo está sendo substituída por “Mata”; e quando permanece constante, significa que está sendo substituído por “Cultivo”, principalmente (91,93%), que apresentam taxas de evapotranspiração semelhantes – daí a explicação para a sua não alteração. Com relação ao aumento da contribuição da taxa de evapotranspiração nos CENÁRIOS 2 e 5 para a categoria de classe de uso do solo “Cerrado”, o aumento de 1°C na temperatura; e de 6,90% e 5%, respectivamente, na precipitação, fez com que essa classe de uso do solo sofresse maior alteração em sua taxa evapotranspirométrica.

Considerando, ainda, a classe de uso do solo “Cerrado”, por ser o Bioma da região, e pelo fato da bacia do ribeirão Entre Ribeiros ter tido a sua área apresentado menor redução percentual, por exemplo, que a bacia do rio Preto, pode ter contribuído para que a sua participação na evapotranspiração não se alterasse significativamente. Há de se considerar que as áreas de “Mata” aumentaram nessa bacia, o que favorece

o equilíbrio do ambiente. Contudo, pode-se observar que a grande contribuição na evapotranspiração, em todos os cenários, são “Cultivo” e “Pasto”. Considerando que essas categorias de uso do solo não conseguem manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”, além do desequilíbrio regional proporcionado pela redução do “Cerrado”, espera-se que haja redução na “Precipitação Direta” na bacia e, conseqüentemente, nas vazões média e mínimas, *ceteribus paribus*.

Observou-se, também, que em função da substituição da categoria da classe de uso do solo “Cerrado” por “Cultivo”, houve redução nos Índices de Sustentabilidade nos cenários onde ocorrem maiores alterações climáticas ou redução na oferta de água, o que se agravará, considerando ter ocorrido a redução da “Precipitação Direta” na bacia (Quadro 71). Conseqüentemente, sugere-se que persistirá a redução das vazões média e mínimas. Isto se deve, principalmente: a) a redução da contribuição da classe de uso do solo “Mata” na evapotranspiração; b) a quebra da condição de homeostasia promovida pela redução das áreas da classe de uso do solo “Cerrado”; e c) pelo fato de “Cultivo”, e todas as interferências já descritas promovidas por essa classe de uso do solo, não conseguir manter as mesmas taxas evapotranspirométricas que “Mata” e, nem as condições de equilíbrio proporcionadas pelo “Cerrado”.

QUADRO 71 - Comportamento da “Precipitação Direta” na área de drenagem da EFFBE no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-7

CENÁRIO \ Ano	1995 (mm ano ⁻¹)	2060 (mm ano ⁻¹)	Varição (%)
1	1.230	1.000	- 18,70
2	1.260	1.069	- 15,16
3	1.230	1.000	- 18,70
4	1.230	1.000	- 18,70
5	1.250	1.059	- 15,28
6	1.300	1.100	- 15,38
7	1.315	1.120	- 14,83

Quando se comparam as duas bacias, a do ribeirão Entre Ribeiros e a do rio Preto, percebe-se significativas diferenças. As mudanças sofridas na bacia do rio Preto com relação à classe de uso do solo “Cerrado” foram drásticas (-74,16% no período 1985-2000). Portanto, esse bioma que cobria 42,26% de toda a bacia em 1985, em 2000, passou a cobrir apenas 10,92% da referida área; ou seja, não tem mais quase nenhuma influência sobre o clima e demais características locais.

Observando-se o Quadro 72, que representa as variações evapotranspirométricas na área de drenagem da Estação Fluviométrica Porto dos Poções, percebe-se que as taxas de evapotranspiração para a classe de uso do solo “Cerrado” sofreram variações percentuais significativas com relação aos CENÁRIOS analisados no período 1995-2060.

QUADRO 72 - Variações percentuais na evapotranspiração nos CENÁRIOS 1-7 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no período 1995-2060 na área da EFPP

Categoria Variação (%)	Pasto	Cultivo	Cerrado	Mata
CENÁRIO 1	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 2	+ 66,67	+ 15,38	+ 12,50	- 11,43
CENÁRIO 3	+ 12,50	+ 13,82	+ 21,43	0,0
CENÁRIO 4	+ 32,00	+ 21,95	- 5,56	- 14,29
CENÁRIO 5	+ 25,00	+ 19,20	+ 4,70	- 11,79
CENÁRIO 6	+ 38,27	+ 27,12	- 2,12	- 8,45
CENÁRIO 7	+ 32,94	+ 21,54	- 9,00	- 10,00

As alterações significativas com relação à classe de uso do solo “Cerrado” se devem principalmente em face à sua grande redução (-74,16%, que equivale a uma área de 3.222,83 km²) e a sua substituição por “Cultivo” (64,30%); “Mata” (21%); e “Pasto” (13,87%). Dessa forma, rompeu-se a condição de homeostasia ali existente. Mesmo tendo havido substituição em parte por “Mata”, o seu estágio de sucessão ainda não está em equilíbrio a ponto de interferir positivamente no sistema.

Merece destaque a contribuição da evapotranspiração da classe de uso do solo “Pasto”, que nessa bacia apresentou significativo crescimento (+33,07%, que representa uma área adicional de 447,02 km²). Sabe-se que esta classe de uso do solo não consegue manter taxas evapotranspirométricas elevadas e sustentáveis no longo prazo, a não ser quando bem manejadas. Contudo, agravam-se ainda mais a situação quando se considera que nessa região o manejo realizado nessa classe de uso do solo é problemático. Dessa forma, a tendência futura seria de redução da “Precipitação Direta” na bacia, repercutindo em menores vazões média e mínimas. A mesma avaliação pode ser feita para a classe “Cultivo”. O Quadro 73 apresenta as variações na “Precipitação Direta” na área de drenagem da bacia da Estação Fluviométrica Porto dos Poções, no período de 1995-2060.

QUADRO 73 - Comportamento da “Precipitação Direta” na área de drenagem da EFPP no período 1995-2060 para os CENÁRIOS 1-7

CENÁRIO Ano	1995 (mm ano⁻¹)	2060 (mm ano⁻¹)	Variação (%)
1	1.300	1.000	- 23,08
2	1.200	1.000	- 16,67
3	1.250	1.000	- 20,00
4	1.240	1.200	- 3,23
5	1.300	1.200	- 7,69
6	1.320	1.200	- 9,09
7	1.300	1.150	- 11,54

Comparando os Quadros 71 e 73, observa-se que o comportamento entre as duas bacias sempre aponta redução na “Precipitação Direta” na bacia, porém de formas diferenciadas. Caso a bacia fosse um sistema fechado, poderia simplesmente ser explicado pela redução da evapotranspiração em consequência das alterações das classes de uso do solo, principalmente de “Cerrado” para “Cultivo” e, ou, “Pasto”. Observa-se nos CENÁRIOS 1-3, que a redução da “Precipitação Direta” na bacia é superior na área da Estação Fluviométrica Porto dos Poções; porém nos demais CENÁRIOS, a redução é superior na área de influência da Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua. Esse fato pode ser justificado porque nessa última estação a maior substituição se deu para “Cultivo” (+198,09%), o que torna o sistema mais vulnerável em condições extremas.

6. CONCLUSÕES

- O modelo apresentou confiabilidade em sua simulação para o período 1995-2060, ao apresentar tendências semelhantes aos dados consolidados do período 1970-2000.
- O modelo matemático de estoque e fluxo da água com o uso do programa STELLA, versão 9.0, permitiu simular possíveis alterações na precipitação e na evapotranspiração a partir das modificações de uso do solo nas bacias hidrográficas estudadas.
- A simulação apontou para uma tendência de redução da variável “Precipitação Direta” nas áreas de drenagens das estações fluviométricas avaliadas, Fazenda Barra da Égua e Porto dos Poções, respectivamente, referentes às bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, em todos os oito cenários avaliados.
- O comportamento entre as bacias avaliadas foi diferenciado: em cenários de mudanças climáticas a bacia do ribeirão Entre Ribeiros apresenta maiores reduções na “Precipitação Direta” na bacia, provavelmente pelo maior crescimento percentual das áreas de “Cultivo”.
- As variações percentuais da variável “Evapotranspiração” consideraram as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados, podendo ser considerada estratégica como indicadora de mudanças de classe de uso do solo e de seus reflexos sobre a precipitação e o comportamento hidrológico.
- A tendência apontada pelo modelo, quando calculado o “Índice de Sustentabilidade” nos cenários estudados, para ambas as bacias hidrográficas,

sugere que os sistemas avaliados tendem à exaustão ou à depleção de seus recursos hídricos.

- A substituição de “Cerrado” por outras classes de uso do solo tem sido a principal responsável pela redução das vazões média e mínimas, principalmente quando substituído por “Cultivo” e, ou, “Pasto”.
- A vazão média anual retirada pela irrigação nas bacias do ribeirão Entre ribeiros e do rio Preto apresentaram acentuada tendência de crescimento quando avaliadas na simulação do modelo, sendo o comportamento dessa variável determinado, principalmente, pelo crescimento da área irrigada no período de análise do presente estudo (1995-2060).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A caracterização das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto para a elaboração do círculo de causalidade e posteriormente do modelo matemático, foi construída especialmente a partir da seleção de componentes que melhor representassem as condições naturais da bacia, suas potencialidades, seus recursos naturais e as condições sócio-econômicas de aproveitamento de tais recursos.
- Considerando a importância da irrigação para o aumento de produtividade e geração de emprego e renda estáveis, a ampliação das áreas de reservatórios deve ser estimulada; cabe considerar que não devem ser construídos em rios ou ribeirões. Parece ser a solução definitiva para o problema relacionado à disponibilidade de água, considerando o fator “quantidade”.
- A concessão de outorgas de direito do uso da água deve, obrigatoriamente, estar associada a um plano de manejo da irrigação e ao uso de sistemas de irrigação poupadores de água.
- O critério generalizado de concessão de outorgas baseado na $Q_{7,10}$ deve ser reavaliado, considerando as diferenças de comportamentos entre as diversas bacias hidrográficas. Em face do estágio de degradação dos ecossistemas aquáticos, a $Q_{7,10}$ seria o suficiente, nos dias atuais, na maioria das bacias hidrográficas, para atender simplesmente à demanda ambiental – daí a impossibilidade de usá-la para outros fins. Sugere-se o uso da Q_{med} .
- A introdução das atividades silviculturais deverão se dar exclusivamente em áreas de “Pasto”. Contribuirá para o aumento da evapotranspiração e regularização do ciclo hidrológico.
- Relacionado ao tipo de cobertura vegetal, não se deve permitir a substituição de “Cerrado” por qualquer outra classe de uso do solo. O Bioma é atualmente o

mais ameaçado de extinção de suas espécies, colocando em risco toda a cadeia trófica. Além disso, as características climáticas da região são fortemente alteradas, como se pôde verificar na simulação do modelo, mesmo quando substituídas por “Mata”.

- O modelo desenvolvido neste trabalho é um valioso instrumento computacional de auxílio aos formuladores de políticas públicas para o planejamento, gestão e monitoramento dos recursos hídricos: para as bacias agora estudadas, como também para outras bacias hidrográficas.

- As diretrizes que deverão ser tomadas no “Gerenciamento dos Recursos Hídricos” nas bacias agora estudadas, também aplicáveis para qualquer outra bacia hidrográfica, correspondem às linhas de ações programáticas que estabelecem formas de atuação e de intervenção sobre processos de agravamento das condições de deterioração da qualidade ambiental. Devem indicar políticas públicas e atividades direcionadas a controlar, monitorar, mitigar ou compensar impactos provocados pelos aproveitamentos dos recursos hídricos das bacias, dentro de propostas que reflitam os princípios e anseios do “Desenvolvimento Sustentável”.

8. DIRETRIZES E SUGESTÕES

Com base nos dados analisados, na simulação do modelo de oferta e demanda de água, na análise das sensibilidades e fragilidades determinadas pelo Índice de Sustentabilidade, expressas em cada um dos oito (8) CENÁRIOS avaliados, foram identificadas algumas diretrizes e sugestões para uma correta conexão entre a fase de planejamento das atividades agropecuárias e da implantação dos empreendimentos de irrigação. Tem-se como objetivo maior mitigar os efeitos das pressões antrópicas associadas aos efeitos sinérgicos e cumulativos resultantes dos impactos sobre as bacias hidrográficas em estudo. Compete observar que os impactos relativos a cada empreendimento isoladamente deverão ser tratados, de forma adequada e oportuna, nos Estudos de Impacto Ambiental – EIA/RIMA; na concessão das outorgas; na elaboração e na implantação dos sistemas de gestão ambiental; entre outros.

As proposições são apresentadas em duas vertentes: a) diretrizes para o planejamento, licenciamento e gerenciamento ambiental do setor agropecuário - relacionadas às ações que visem mitigar os efeitos cumulativos e sinérgicos gerados pelos empreendimentos existentes, particularmente aqueles que se utilizam da prática de irrigação; e b) sugestões para o planejamento de gestão das bacias - relacionada mais diretamente às áreas de fragilidade identificadas, as quais têm ou poderão ter desdobramentos desfavoráveis ao meio ambiente.

As diretrizes seriam então dirigidas às diversas instituições que interagem na análise e aprovação técnica e ambiental dos empreendimentos, tais como: ANA, IGAM, IEF, FEAM, IBAMA, secretarias de recursos hídricos, comitês de bacia e demais órgãos ambientais. As sugestões seriam dirigidas a todas as instituições que elaboram estudos e planejamento de bacias hidrográficas, tais como as secretarias de desenvolvimento, as agências e os comitês de bacia.

Nas diretrizes e sugestões foram incorporadas aquelas consideradas específicas para as áreas de agropecuária, particularmente ao que se refere às mudanças nas classes de uso do solo e empreendimentos que se utilizam da atividade de irrigação. Cabe considerar que diversas atividades sócio-econômicas têm apresentado significativo incremento em ambas as bacias avaliadas; contudo, não

foram pesquisadas no presente estudo por não apresentarem impactos expressivos, como também pela insuficiência de dados.

A bacia hidrográfica do rio Paracatu está situada no Médio São Francisco, inserida na mesorregião Noroeste de Minas, onde o clima é considerado semi-úmido, com período seco que varia entre quatro a cinco meses por ano. A agropecuária é a atividade econômica principal da região; contudo, ainda permeada por manejos do solo que não contemplam a sua conservação. São utilizadas de forma intensa as técnicas de aração, gradagem, queimadas, pecuária extensiva e ainda a supressão da cobertura vegetal nativa. A disponibilidade hídrica se situa entre 2 e 10 L s⁻¹ km² para a bacia do ribeirão Entre ribeiros, e entre 10 e 20 L s⁻¹ km² para a bacia do rio Preto. Considerando essa condição e as mudanças das classes de uso do solo que essas bacias vêm suportando, verifica-se que os seus tratamentos têm de ser reavaliados, cabendo considerar, que diferenciados.

O primeiro aspecto que se deve considerar nas fases de planejamento da implantação de qualquer atividade, refere-se ao fato de que um projeto ou programa quando implementado, implica em uma cadeia de eventos que modificam o meio ambiente e a sua qualidade. Isto porque todos os fatores existentes nesse ecossistema estão interligados, sendo difícil se prever seus resultados e externalidades com exatidão. Verificou-se, neste estudo, que a substituição da cobertura vegetal decorrente da mudança das classes de uso do solo pode alterar o balanço hídrico e, conseqüentemente, o regime hidrológico de uma determinada bacia.

Dessa forma, dentre as ações humanas que podem comprometer o balanço hídrico, destacaram-se em escala local, o desmatamento, a mudança das classes de uso do solo e os projetos de irrigação. Vale ressaltar, ainda, que formas desordenadas de uso do solo acabam por agravar os efeitos das secas ou enchentes que atingem a sociedade e suas atividades econômicas, bem como provocar a redução das vazões de um determinado ecossistema lótico, como está sendo o caso do ribeirão Entre ribeiros e do rio Preto.

Assim, quando se buscam as principais questões relacionadas ao gerenciamento adequado dos recursos hídricos, é fundamental que se conheçam o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas e seus regimes de variação de vazões. Contudo, há de se considerar obrigatoriamente, suas relações com os agentes econômicos e sócio-ambientais presentes ao longo de toda a área de contribuição da bacia. Desta forma, dentro de um contexto geral de planejamento e gestão de recursos hídricos, apresentam-se situações em que se torna necessário compatibilizarem os volumes de água disponível com as necessidades específicas em um determinado momento, cabendo considerar, que a demanda ambiental deverá sempre ser preservada.

Assim, o padrão quantitativo dos recursos hídricos, não podendo desconsiderar o aspecto qualitativo, deve ser objeto de consideração e de adequação das disponibilidades com as necessidades. No entanto, no atual momento em que se vivem, uma das grandes dificuldades existentes é identificar os vários componentes das mudanças ambientais provenientes da interação homem-natureza. Nesse trabalho, foi utilizado um modelo de Dinâmica de Sistemas para analisar a sustentabilidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

Para a sua elaboração e simulação, considerou-se que no período 1970-2000 o principal agente consumidor de água nessas bacias foi a agricultura irrigada, gerando um complexo quadro de conflitos pelo uso da água. Ao mesmo tempo, o crescimento na demanda desse recurso, resultado do crescimento das atividades econômicas dessa região, vem acelerando o crescimento populacional, que por sua vez, estimula a implantação de outras atividades. Dessa forma, as diretrizes que deverão ser tomadas no gerenciamento dos recursos hídricos nessas bacias correspondem às linhas de ações programáticas que estabelecem formas de atuação e de intervenção sobre processos de agravamento das condições de deterioração da qualidade ambiental, indicando políticas públicas e atividades direcionadas a controlar, monitorar, mitigar ou compensar impactos provocados pelos aproveitamentos dos recursos hídricos das referidas bacias.

Tais diretrizes deverão ser especialmente direcionadas para as instâncias do Setor de Recursos Hídricos em suas diversas representações - sejam os órgãos governamentais, agências reguladoras e empresas, urbanas e rurais, de pequeno, médio e grande porte. Deverão ser bem definidas e orientadas de tal forma a apoiar a gestão ambiental das bacias, por meio de proposições e sugestões direcionadas aos diversos agentes atuantes na bacia, a partir da percepção produzida sobre a qualidade ambiental da bacia e os diversos processos instaurados que afetem diretamente suas condições, apontados nos diversos estudos já realizados nessas localidades.

A caracterização das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto foi construída especialmente a partir da seleção de componentes que melhor representassem as condições naturais da bacia, suas potencialidades, seus recursos naturais e as condições sócio-econômicas de aproveitamento de tais recursos. Deste modo, com base nos dados disponíveis já consolidados, foram identificados e relacionados os elementos de caracterização mais importantes, que podem ser extrapolados para toda a bacia do rio Paracatu.

Percebe-se que na utilização de cada uma das bacias para quaisquer tipos de atividades antrópicas, as equipes técnicas envolvidas devem optar pela divisão da bacia hidrográfica em subáreas, que são entendidas como grandes regiões no interior

da bacia, que guardam uma razoável homogeneidade interna, considerando o conjunto dos aspectos sócio-ambientais relevantes. Desse processo de avaliação e hierarquização dos aspectos relevantes apontados pelos estudos, verifica-se que é fundamental o conhecimento particularizado de cada uma das áreas que a compõe, como foi o estudo das bacias do ribeirão Entre ribeiros e a do rio Preto.

No Cenário 1 – “Agronegócio Atual”, as sensibilidades identificadas são basicamente as mesmas para ambas as bacias em estudo, que referente aos Ecossistemas Aquáticos, já apresentam problemas de degradação da qualidade de suas águas pelo lançamento de efluentes urbanos não tratados e resíduos de agroquímicos provenientes das atividades agropecuárias carreados pela erosão. Nessas regiões, as principais sensibilidades identificadas para o “Recurso Solo” e “Ecossistemas Aquáticos”, referem-se às drásticas substituições das classes de uso do solo de “Cerrado” para “Cultivo” e, ou, “Pasto”, acentuando-se a ocorrência de erosão, poluição e assoreamento. Os impactos mais significativos possuem abrangência localizada, restrita às áreas de “Pasto” e “Cultivo” que aí se encontram, denotando a presença de cumulatividade e sinergia.

Para os Cenários que envolveram “Mudanças Climáticas”, as características da sensibilidade projetada nas simulações, no que diz respeito aos Ecossistemas Aquáticos são similares à situação encontrada no Cenário “Agronegócio Atual”, com pequenas reduções na “Precipitação Direta” na bacia, com destaque para o CENÁRIO 3 (Oferta de água reduzida em 20%) para a bacia do rio Preto (redução de 20% na precipitação). Com relação à sensibilidade identificada para os Ecossistemas Terrestres, tendo em vista a elevada variação do componente físico no espaço de tempo estudado e o fato das principais áreas de cobertura florestal e fauna associada (“Cerrado”) não estarem protegidas em unidades de conservação, a situação encontrada se mostra dramática com relação ao Cenário Atual.

Do ponto de vista do Índice de Sustentabilidade, as variações sugerem, tanto com relação ao Cenário Atual, como também nos demais CENÁRIOS (com leve elevação da intensidade no CENÁRIO 4 – Oferta de água aumentada em 25%), que serão significativas as externalidades negativas. As duas bacias em estudo apresentaram um decréscimo dos Índices de Sustentabilidade, embora ainda se mantendo, em geral, elevados, tendo em vista as perspectivas de aumento das atividades de irrigação. Contudo, há de se considerar a maior manifestação dos efeitos cumulativos e sinérgicos futuros que poderão ocasionar um maior grau de impactos.

Do ponto de vista das mudanças das classes de uso do solo, particularmente sobre os Ecossistemas Terrestres, os impactos dos novos empreendimentos possuem abrangência em toda a área das duas bacias estudadas, denotando elevada cumulatividade e sinergia, sugerindo significativas alterações futuras. Do ponto de

vista dos impactos sócio-econômicos, observa-se uma maior intensidade e abrangência na bacia do rio Preto, indicando cumulatividade entre os empreendimentos nela localizados.

Para ambas as bacias se identificaram uma elevação das áreas de “Mata”, que vêm substituindo áreas de “Pasto” degradados, cujas características predominantes são de elevados índices de fragilidade. Dessa forma, caso não persistissem a substituição de “Cerrado” por “Cultivo”, e as áreas de “Mata” continuassem a aumentar, as características da fragilidade identificadas em todos os CENÁRIOS estudados, os Índices de Sustentabilidade poderiam sofrer melhoria aos índices identificados no presente estudo. Na verdade, persistindo o ritmo atual do Agronegócio, com a constante substituição de “Cerrado” por “Cultivo” e, ou, “Pasto”, haverá um significativo acréscimo dos índices de fragilidade dos Ecossistemas Terrestres e, conseqüentemente, dos Aquáticos. Em relação aos aspectos sócio-econômicos, ampliar-se-ão também os índices de fragilidade para ambas as bacias, na medida em que receberem novos empreendimentos, em especial na bacia do rio Preto, que atinge índices de alta fragilidade em função do elevado processo de “Urbanização” associado à drástica redução das áreas de “Cerrado” (-74,16%, no período 1985-2000).

Na análise da evolução dos oito cenários estudados para ambas as bacias, mediante as alterações pelas quais vêm passando tais ambientes, haverá agravamento de forma significativa nas situações de fragilidade ambiental atualmente identificada. No longo prazo, a situação adquire características completamente distintas, que intensificam de forma marcante as fragilidades presentes no cenário atual e de médio prazo, como incorpora diversas novas áreas a uma situação de alta fragilidade ambiental.

As principais fragilidades identificadas na bacia dizem respeito aos Ecossistemas Aquáticos. Elas refletem o fato de que os impactos sobre estes, em particular pela atividade de irrigação e pelas mudanças de classes de uso do solo, provocaram a alteração da condição de homeostasia que implicará em sérios riscos à riqueza da biodiversidade do “Cerrado”, um dos “Hotspots” mais ameaçados de todo o mundo. Desta forma, são estes que apresentam maiores efeitos cumulativos e sinérgicos, nas áreas onde ainda se encontram ambientes razoavelmente conservados.

Com relação aos aspectos relacionados aos Ecossistemas Terrestres, a fragilidade ambiental das bacias está principalmente associada à perda de cobertura florestal e de habitats para a fauna decorrente de impactos que apresentam aspectos cumulativos e sinérgicos importantes, mas que se manifestam em espaços mais restritos, tendo em vista a forte fragmentação da cobertura florestal da bacia. É

também de grande importância a ampliação de processos erosivos, que já se constitui, nos dias atuais, em considerável problema enfrentado pelos empreendimentos existentes.

Identificou-se um elevado potencial de impactos sócio-econômicos associado à interferência e desestruturação de redes comunitárias da agricultura familiar, tendo em vista a grande presença de pequenos agricultores dispersos por toda a bacia do rio Paracatu, expulsos pelo novo modelo de agricultura empresarial. Tal fato refletirá de forma significativa na conformação das fragilidades sócio-econômicas de ambas as bacias, com o risco de desestruturação da organização territorial, particularmente pela possibilidade de interferência com áreas urbanas ou de periferia urbana, fato que já ocorre nos municípios de Paracatu e Unaí, cidades localizadas às margens dos rios.

Embora sejam impactos que apresentam aspectos cumulativos e sinérgicos, dentre os quais se destaca o potencial de geração de conflitos, a atividade de irrigação e as práticas agropecuárias como vêm sendo praticadas, têm como principal característica apresentar não apenas impacto local, apesar da sua relativa pequena abrangência, contudo, gera uma dispersão de fragilidades, encontradas em todos os locais previstos para a implantação de novas áreas irrigadas, em toda a bacia do rio Paracatu. Há de se considerar que são significativas as potencialidades sócio-econômicas presentes nessa bacia, majoritariamente constituída por municípios que apresentam quadros de baixa arrecadação municipal, onde a atividade de irrigação poderia contribuir significativamente. Há de se considerar que as potencialidades poderão ser fortalecidas pela presença de comitês de bacia, que deverão considerar ser fundamental a gestão dos recursos hídricos.

Cabe ainda ressaltar que a análise mostrou a importância de cuidados especiais com relação ao número significativo de áreas de “Cultivo”, particularmente os irrigados, que desempenham um papel considerável na fragilização do ambiente, embora se identifique nos grandes empreendimentos empresariais os principais responsáveis pelo quadro de fragilidade no cenário de longo prazo. A construção interna nessas propriedades de “Reservatórios” poderia mitigar tais impactos.

Com relação à atividade de irrigação e ao seu elevado consumo, deve-se estimular o manejo racional da irrigação e a otimização dos equipamentos utilizados com a finalidade de tornar a utilização da água e da energia elétrica mais eficientes. Conforme comentado anteriormente, os métodos de irrigação e as culturas diferem quanto à utilização da água. Os valores de demanda hídrica por cultura são médias de valores que variam com o decorrer da estação do ano e do ciclo da cultura, representando assim, apenas uma estimativa expedita do volume de água a ser alocado.

Todos os métodos possuem algumas condições que limitam o seu uso; contudo, geralmente o método que usa a água de forma mais eficiente é a irrigação localizada. Apesar de possuir custo inicial superior ao dos outros métodos, a irrigação localizada aumentou a sua participação na área irrigada brasileira na última década. Nos dias atuais, diante dos conflitos entre os diferentes usuários, da preocupação ambiental e da cobrança pelo uso da água prevista na Lei das Águas (Lei 9.433/97), existe a tendência de que este método de irrigação continue ampliando sua participação no cenário nacional.

Considerando o acelerado crescimento populacional, há necessidade do incremento da produção de alimentos. A expansão da área plantada, como consequência da conquista de novos mercados consumidores, implica diretamente em aumento da demanda por água, reforçando a importância de constante estimativa, bem como da sua evolução ao longo do tempo. Sendo a irrigação responsável pelo aumento de produtividade (em média, de 1,5 a 3 vezes), a demanda por esta prática tende a crescer continuamente. Cabe lembrar que o Brasil utiliza menos de 20% de sua área estimada com possibilidades para a irrigação em terras altas.

Os perímetros irrigados, e áreas como as bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto, por fazerem uso de uma tecnologia avançada, são indutores de várias outras atividades industriais e comerciais, promovendo a dinamização da economia local e regional, gerando renda e emprego estáveis. Contudo, embora os grandes benefícios advindos do uso da irrigação sejam incontestáveis, é preciso ter em mente que os projetos de irrigação podem causar impactos adversos ao meio ambiente, à qualidade do solo e da água, à saúde pública e aos aspectos sócio-econômicos regionais.

A solução para os conflitos pela água será a gestão integrada e compartilhada de seu uso, controle e conservação. Essa gestão deve ser realizada holisticamente, de forma multidisciplinar e interdisciplinar. Não mais pode existir o conceito de gestão de recursos hídricos baseada exclusivamente na análise da irrigação, geração hidrelétrica ou saneamento básico. Esses conflitos estão se acentuando, tanto em termos nacionais como internacionais, de forma que a administração racional dos recursos hídricos se torna uma necessidade emergencial.

Por todos os motivos discutidos no presente estudo, os projetos que envolvem os ecossistemas aquáticos deverão considerar obrigatoriamente o uso múltiplo da água, fundamentado em análises sócio-econômicas e ambientais, devendo se estabelecer as potencialidades de cada um desses usos com os devidos planejamentos e regulamentações necessárias para o uso racional dos recursos hídricos, incorporando o uso obrigatório de modelos baseados em “Dinâmica de Sistemas” como ferramenta de monitoramento e de gestão, visando o “Desenvolvimento Sustentável”.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos avançados**: Dossiê Nordeste seco, v.13, n.36, p.7-59, 1999.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2006. ABRAF: Brasília, 2007. 80p.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, n.74, p.19-31, 1999.

ALVES, A. R. Efeito estufa e mudanças climáticas. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, ano 4, n.13, p.7-15, 2001.

ALVES, E. R. A. Quem ganhou e quem perdeu com a modernização da agricultura brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 39, 2001, Recife. **Anais...** Recife: SOBER, 2001. p.234-257.

ALVES, E. R. A.; CONTINI, E. Progresso tecnológico e desenvolvimento da agricultura brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 1987, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANPEC, v. 2, 1987. p.129-144.

AMADOR, E. S. Comentários sobre a crise ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.11-14.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Metais pesados em solos brasileiros. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfológicos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.837-853.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2004. 78p. (Edição Especial).

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA/SRH/MMA, 2002. 64 p. (Edição comemorativa do Dia Mundial da Água).

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Aspectos gerais da região**: diagnóstico da bacia. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Bacias/Sfrancisco/planos/PARACATU/introducao.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2005.

- ANDERSON, V.; JONHSON, L. **Systems thinking basics: from concepts to causal loops**. Cambridge, Massachusetts: Pegasus, 1997. 132p.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estações Fluviométricas do Vale do rio São Francisco**. Brasília: ANEEL, 2005. 135p.
- ASSAD, E. D.; CUNHA, G. R. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Universidade Federal de Fitotecnia, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2001. (Número especial).
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 458p.
- AZEVEDO, S. V.; MACIEL, L. F. F.; PEREIRA, M. E. **A Bacia do Rio Paracatu, Minas Gerais**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2005. 9p. Disponível em: www.futurasgeracoes.com.br. Acesso em: 23 nov. 2007.
- BANCO MUNDIAL **Relatório sobre o desenvolvimento mundial: luta contra a pobreza, 2000/2001**. 235p.
- BARLAS, Y. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. **System Dynamics Review**, n.12, p.183-210, 1996.
- BARRETT, C. B. The Value of Imperfect ENSO Forecast Information: Discussion. **American Journal of Agricultural Economics**, v.80, n.5, p.1109-12, 1998.
- BASSANEZI, R. C.; FERREIRA JÚNIOR, W. C. **Equações diferenciais com aplicações**. São Paulo: Harbra, 1988. 57p.
- BASTOS, A. C. S.; FREITAS, A. C. Agentes e processos de interferência, degradação e dano ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-75.
- BELLIA, V. **Introdução à economia do meio ambiente**. Brasília: IBAMA, 1996. 262p.
- BENSAID, D. **Marx, o intempestivo: grandezas e misérias de uma aventura crítica**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1999. 403p.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/SRH/ABEAS; Viçosa, MG: UFV/Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p.79-88.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. UFV: Imprensa Universitária. 6ª edição, 1995. 657p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livrocere, 1985. 392p.
- BISWAS, A. K.; GEPING, Q. Guidelines for environmental impact assessment in developing countries. In: BISWAS, A. K; GEPING, Q. (Eds.) **Environmental impact assessment for development countries**. Londres: Tycooly International, 1987. p.191-232.
- BLAKE, G. J. The interception process. In: **Prediction in catchment hydrology**. Australian Academy of Science, 1975. p.233-278.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1999.

BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS; Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLANPAR**. [S. l.]: 1996. Vol. 1, T. 1. (CD-ROM).

BROWN, L. R. **A ilusão do progresso**. In: BROWN, L. R. (Coord.) *Salve o planeta! qualidade de vida*. São Paulo: Globo, 1990. p.15-31.

BUTTEL, F. H. Some observations on states, world orders and tree politics of sustainability. **Organization & Environment**, v.11, n.3, p.261-268, 1998.

CABRAL, B. **Direito Administrativo**. Tema: Água. Senado federal. Coletânea de Leis relativas a Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Brasília, 1997. 67p.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Materials science and engineering: an introduction**. New York: John Wiley & Sons, 2000. 589p.

CAMARGOS, L. M. M.; SERPA, C. F. **Programas, projetos e ações na bacia hidrográfica do rio São Francisco - Minas Gerais**. Governo do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte: SEMAD/ IGAM/ DIC/ DVPRH, 2004. 11p.

CAPRA, F. **As conexões ocultas**. IDESA: São Paulo, 2003. 12p. (Palestra)

CAPRA, F. **The web of life**. New York: Anchor, 1996. 347p.

CARRERA, J.; GARRIDO, R. J. S. **Estudos da cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do Alto Paraguai**. Salvador, 1992. 345p.

CASTOR, B. V. J. **Tecnologia apropriada: uma proposta de critérios de avaliação e sua aplicação**. Revista de Administração, v.18, n.2, p.40-47, 1983.

CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. Disponível em: <<http://www.cbhsaofrancisco.org.br>>. Acesso em: 11 jan. 2006.

CEDRAZ, M. **Gestão sistêmica da água: concepção, estruturação e operacionalização**. Salvador, 2003. 167p.

CEPEA-USP/CNA **PIB do Agronegócio CEPEA-USP/CNA**. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/files/2006>. Acesso em: 15 jan. 2008.

CHESF - COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Comercialização de energia**. Salvador, BA: CBHSF, 2004. 134p.

CODEVASF – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE SÃO FRANCISCO. **Os vales: Vale do São Francisco apresenta características de identificação, solos, vegetação, recursos hídricos, potencial energético e irrigação**. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br>>. Acesso em: 09 set. 2003.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba **Recursos hídricos**. Brasília: MMA, 2006. 145p.

CODEVASF. **Sugestões da CODEVASF para o Aproveitamento dos Recursos Hídricos do Vale do São Francisco e Nordeste Semi-Árido**. Brasília, 1995. 113p.

- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução de 06 de dezembro de 1990**, n.13. Brasília: D.O.U. de 28/12/90, seção I, 1999. p.25-41.
- CONTADOR, C. R. **Avaliação social de projetos**. São Paulo: Atlas, 1981. 301p.
- COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, n.34, p.4-11, 2003.
- COSTA, M. P. B. Agroecologia: uma alternativa viável às áreas reformadas e à produção familiar. **Revista Reforma Agrária**, v. 23, n. 1, 1993, p.53-69.
- COUTINHO, H. L. C.; PEIXOTO, R. S.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O.; GUIMARÃES, C.; ROSADO, A. S. Early indicators of soil quality change for no-tillage systems in the Brazilian cerrados. In: WORLD CONGRESS OF CONSERVATION AGRICULTURE, 2003, Foz do Iguaçu. **Anais...** Ponta Grossa, Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2003. CD-ROM.
- CUNHA, L. H.; COELHO, M. C. N. Política e gestão ambiental. In: CUNHA, S. P.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.43-79.
- CUNHA, S. P. Canais fluviais e a questão ambiental. In: CUNHA, S. P.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.219-238.
- DAHLMAN, C. Os países em desenvolvimento e a Terceira Revolução Industrial. In: VELLOSO, J. P. R.; MARTINS, L. (Org.) **A nova ordem mundial em questão**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1993. p.233-278. (Fórum Nacional).
- DAKER, A. **A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola**. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1984. 569p.
- DIAS, L. E. Recuperação de áreas degradadas. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3., 2003, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: ABES-MG/DEA UFV, 2003. p.225-268.
- DIEGUES, A. C. Repensando e recriando as formas de apropriação comum dos espaços e recursos naturais. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Org.) **Gestão de recursos naturais e renováveis: novos desafios para a pesquisa ambiental**. São Paulo: Cortez, 1997. p.407-432.
- DINO, K. J. **A Bacia do Rio Paracatu, Minas Gerais – 2001**. PROJETO MARCA D'ÁGUA RELATÓRIOS PRELIMINARES 2001. Brasília: IBGE, 2002. 47p.
- DIVIGNEAUD, P. A síntese ecológica: populações, comunidades e ecossistemas. Lisboa: **Socicultur**, 1974. 165p.
- DOORENBOS, J. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994.
- DRUMOND, L. C. D.; FERNANDES, A. L. T. **Irrigação por Aspersão em malha**. Uberaba: Ed. UNIUBE, 2001. 84p.

DURIGAM, G. Análise comparativa do modo de dispersão das sementes das espécies de cerradão e de mata ciliar no município de Assis, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE SEMENTES FLORESTAIS, 2, 1989, Atibaia, SP. **Anais...** Atibaia, SP: 1989, p.288.

DUVOISIN, I. A. **Uma proposta metodológica para o ensino de equações diferenciais utilizando STELLA**. Porto Alegre: Fundação Universidade Federal do Rio Grande/Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental. 2000. 13p.

EL KHALILI, A. **Estado da arte: commodities ambientais**. Disponível em: <http://www.eco21.com.br>. Acesso em: 5 jan. 2004.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Comunicado Técnico n. 174. Disponível em: www.embrapa.gov.br. Acesso em: 24 out. 2005.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. In: ASSAD, E. D.; CUNHA, G. R. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Universidade Federal de Fitotecnia. v.9, n.3, p.377-385. 2001. (Número especial).

ENA - ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA. Apresentação ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: AS-PTA, 2003. p.7.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Avaliação Ambiental Integrada. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 13 set. 2008.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Irrigation and drainage**. Roma: FAO, 2002. 267p. (Paper, 177).

FARIA, R. T. Tensiômetro: construção, instalação e utilização – um aparelho simples para se determinar quando irrigar. **Circular IAPAR**, v.0, n.56, p.1-22, 1987.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340p.

FERNANDEZ, J. C.; GARRIDO, R. J. S. **Economia dos recursos hídricos**. Salvador: Edufba, 2002. 458p.

FERRACIOLI, L.; CAMILETTI, G. G. **Introdução ao ambiente de modelagem computacional STELLA**. Série Modelos, 01/98, Vitória. Publicação Interna do Model@b/UFES. 1988. 35p.

FERREIRA, A. N. P.; ARAÚJO NETO. **Os comitês de bacias hidrográficas e os conflitos pelo uso da água no Distrito Federal**. Disponível em: www.unicamp.br/nepo/principal/eventos/agua/ferreira.pdf. Acesso em: 23 out. 2007.

FORD, A. **Modeling the environment: an introduction to system dynamics modeling of environmental systems**. Washington: Island Press, 1999. 401p.

FORRESTER, J. W. **Principles of Systems**. Portland, OR: Productivity Press. 1994.

FORRESTER, J. W.; SENGE, P. M. Tests for building confidence in system dynamics models. In: **System dynamics**. Amsterdam, North-Holland: Legast, Forrester & Lyneis, 1980. 179p.

FROÉS, C. M. B. Outorga de direito de uso de recursos hídricos. III Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira, Viçosa, 2003. **Anais...** Viçosa: FEAM/UFV, 2003, p.160-170.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. **Centrais hidrelétricas no rio São Francisco**. Disponível em: www.fundaj.gov.br. Acesso em: 23 jul. 2006.

GARRIDO, R. J. S. **Gerenciamento de Recursos Hídricos**: fatos recentes. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Integrada. BH: IETEC, 2007. 178p.

GARRIDO, R. J. S. **Gestion de Ressources en Eau au Brésil**. Notes pour la présentation à la Conférence Internationale "Eau et Développement Durable" . Paris, 1998. 237p.

GARRIDO, R. J. S. **Política Nacional para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Integrada. BH: IETEC, 2004. 262p.

GARRIDO, R. J. S. **Programa de desenvolvimento de Recursos Hídricos do Semi-árido Brasileiro - PROÁGUA**: Uma avaliação prospectiva. XI Seminário - Curso do Programa CIRA. Universidade Católica do Salvador. Salvador, 1996. p.56-76.

GARRIDO, R. J. S. Subprojeto 4.2B – Avaliação dos mecanismos financeiros para o gerenciamento sustentável da bacia do rio São Francisco. In: GARRIDO, R. J. S. (Coord.) **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 335 p. (Relatório Final).

GINESTE, D. M. Um estudo diagnóstico do consumo de água pela irrigação na bacia do rio Miringuava, região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista acadêmica**, v.4, n.1, p.23-29, 2006.

GISS - GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES. **Climate change from short-lived emissions**. Disponível em: <http://www.giss.nasa.gov>. Acesso em: 23 out. 2008.

GLEICK, P. H.; KIPARSKY, M. The Water & Climate Bibliography. In: GLEICK, P. H. (ed.) **The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources**. Washington, DC: Island Press, p.228-33, 2004.

GODARD, O. A gestão integrada dos recursos naturais e do meio ambiente: conceitos, instituições e desafios de legitimação. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Org.). **Gestão de recursos naturais e renováveis**: novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez, 1997. p.17-50.

GONÇALVES, E.; FERRACIOLI, L. **A modelagem computacional quantitativa no estudo do resfriamento da água**: um estudo exploratório com estudantes do ensino médio. Vitória, ES: CEFET-ES/UFES - DEPARTAMENTO de FÍSICA. 2006. 35p.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. **Manual de Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos**. Elaborado pelo Programa CIRA, da Universidade Católica do Salvador, para a Superintendência de Recursos Hídricos. Salvador, 1997. 126p.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Plano SANESP - MME/SP**. Volume III – A. São Paulo. 2003. 117p.

GECIC, B.; MUNITIC, A. **System dynamics approach to validation**. Disponível em: <http://www.efst.hr/gric/b2.html>. Acesso em: 13 nov. 2006.

- GRIFFITH, J. J. Recuperar áreas degradadas é zelar pelas futuras gerações. **Informe agropecuário**, v.22, n.210, p.1-2, 2001.
- GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; MARCO JÚNIOR, P. A recuperação ambiental. **Rev. Ação Ambiental**, v.2, n.10, p.8-11, 2003.
- GRIFFITH, J. J; TOY, T. J. Linking physical and social systems for improving disturbed-land reclamation. In: **Proceedings: National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation**, Breckenridge CO, EUA, ASMR, 3134 Montavesta Rd., Lexington, KY 40502, EUA, 2005, p.19-23.
- GUNTER, P. **Upsizing: como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição**. Porto Alegre, RS: Fundação Zeri Brasil/L&PM, 1999. 356p.
- HADLEY CENTRE. **Climate prediction and research**. Disponível em: www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre. Acesso em: 23 abr. 2008.
- HAMAKAWA, P. J. Elementos climáticos. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, ano 2, n.7, p.10-12, 1999.
- HARRISON, M. I.; SHIROM, A. **Organizational diagnosis and assessment: bridging theory and practice**. Thousand Oaks: Sage, 1999. 486p.
- HARRISON, P.; PEARCE, F. (Eds.) **Atlas of population and environment**. Berkeley: American Association for the Advancement of Science. University of California Press, 2000. 598p.
- HASTENRATH, S. Circulation and Teleconnection Mechanisms of Northeast Brazil Droughts. **Progress in Oceanography**, vol.70, n.2, p.407-15, 2006.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n.103, p.435, 1997.
- HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. H. **Capitalismo natural**. São Paulo, SP: Cultrix, 1999. 358p.
- HOFFMAN, A. J. **From heresy to dogma: an institutional history of corporate environmentalism**. San Francisco, California: The New Lexington Press, 1997. 253p.
- HURTUBIA, J. Ecología y Desarrollo: evolución y perspectivas del pensamiento ecológico. In: **Estilos de desarrollo y medio ambiente**. México: Fondo de Cultura Económica, 1980. p.234-248.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – Estatísticas do século XX [CD-ROM] (2005). (Rio de Janeiro, RJ: IBGE).
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Agropecuários**. Brasília: IBGE, 1970, 1975, 1980, 1985, 1996, 2000 e 2007.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa populacional para 01/07/2005: considerações**. Brasília: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2006.
- IEF – INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **Manual de normas de controle da intervenção em vegetação nativa e plantada do estado de Minas Gerais**, IEF. IEF: Belo Horizonte, 2006. 145p.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS & TC/BR – Tecnologia e Consultoria Brasileira S/A **Relatório Técnico – RT3: Análise de Cenários**. Primeira etapa do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: IGAM, 2007. 111p.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS **Estudo técnico de apoio ao plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paracatu**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, 2005. 37p.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Mudanças climatológicas**. Brasília: Brasil, 2007. 126p.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. DGI. Divisão de Geração de Imagens. **Características técnicas de imagens dos sensores Landsat 5 TM e 7 ETM +**. Cachoeira Paulista: INPE/DGI, 2006. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 23 set. 2007.

IPAM - INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Recuperação Florestal de Áreas Degradadas**. Disponível em: <http://www.ipam.org.br/ecoflor> . Acesso em: 21 jul. 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Climate System: An Overview in Climate Change 2007 - The Scientific Basis**. 2007. Disponível em: www.grida.no/climate/ipcc_tar. Acesso em: 13 out. 2008.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Climate System: An Overview in Climate Change 2001 - The Scientific Basis**. 2001. Disponível em: www.grida.no/climate/ipcc_tar. Acesso em: 25 set. 2005.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Variability and Impacts from El Niño and the Southern Oscillation**. Disponível em: www.grida.no/climate/ipcc_tar. Acesso em: 23 set. 2006.

IRRIPLUS. **A importância do manejo da irrigação**. Disponível em: www.irriplus.com.br. Acesso em: 23 set. 2007.

JOCKYMAN, A. Perspectivas para investimentos de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. In: **Revista ECO21**. Disponível em: <<http://www.eco21.com.br>>. Acesso em: 5 jan. 2004.

JOHNSON, R. M. F.; LOPES, P. D. **Projeto marca d'água: seguindo as mudanças na gestão das bacias hidrográficas do Brasil**. Caderno 1: retratos 3x4 das bacias pesquisadas. Brasília: FINATEC, v.1, 212p., 2003.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. CRS Press Boca Raton, 1985. 315p.

KARAM, K. F. **Agricultura orgânica: estratégia para uma nova ruralidade**. Curitiba: s.n., 2001. 232p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). UFPR – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2001.

KELMAN, J. **A Cobrança e Outorga de Direito de Uso da Água**. Nota Técnica, parcialmente apresentada ao Simpósio de Recursos Hídricos da Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. Vitória. 1997. 13p.

KLAR, A. E. **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

- KORCAK, R. F.; FANNING, D. S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. **Soil Science**, v.140, n.1, p.23-24, 1985.
- KRUG, T. A floresta amazônica: fonte ou sumidouro de carbono. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, ano 4, n.13, p.25-28. 2001.
- KURTZ DOS SANTOS, A. C. **Introdução à modelagem computacional na educação**. Rio Grande: FURG, 1995.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Alemanha: Instituto de Silvicultura da Universidade de Göttingen, 1990. 343p.
- LATUF, M. O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- LI, R. M. **Mathematical modeling of response from small watershed**. Fort Collins: Colorado State University. 212 p. Tese (PhD) Colorado State University. 1974.
- MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, v.21, n.202, p.93-98, 2000.
- MACHADO, P. J. O. **Uma proposta de zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica da represa de São Pedro - Juiz de Fora/MG**. Presidente Prudente: UNESP, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Estadual de São Paulo, 1998.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153p.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 318p.
- MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; MUDRIK, A. Irrigação do cafeeiro - em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nestas condições? In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). Produção integrada de café. ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DECAFÉ COM QUALIDADE, 5., 2003, Viçosa. **Trabalhos voluntários...**Viçosa: UFV/DFP, 2003. p.279-317.
- MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; SOUZA, M. N. **Irrigação do cafeeiro em áreas tradicionais de produção**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 8, 2005. Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. p.18-25.
- MARQUES, J. F. Feitiço contra o feiticeiro. **Safra**, v.5, n.51, p.39-40, 2004.
- MARTINEZ, C. A. Efeitos do aumento de CO₂ atmosférico no crescimento das plantas. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, ano 4, n.21, p.16-19, 2001.
- MASER, C. **Vision and leadership in sustainable development**. United States of America: Lewis & CRC, 1999. 235p.
- MASON, C. **Biology of Freshwater Pollution**. New York: Prentice Hall, 2002. 344p.

MMA & SRH-MMA - Ministério do Meio Ambiente – MMA & Secretaria de Recursos Hídricos - SRH-MMA **Plano nacional de recursos hídricos**: Caderno da região hidrográfica do São Francisco. Brasília, DF: MMA, 2006. 148p.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: fato ou ficção. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, ano 4, n.13, p.19-24, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicações**. Viçosa: UFV, 2005. 250p.

MORIN, E. Complexidade e ética da solidariedade. In: CASTRO, G.; CARVALHO, E. A.; ALMEIDA, M. C. (Coord.). **Ensaio de Complexidade**. Porto Alegre: Sulina, 1997. p.15-24.

MULINARI, M. H.; GÓES, P.; FERRACIOLI, L. **Modelagem Computacional & Dinâmica de Sistemas**: Ferramentas de Análise de Ecossistema Manguezal. Vitória, ES: Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva. Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo. 2006. 9p.

NARDELLI, A. M. B.; GRIFFITH, J. J. **Introdução ao Sistema de Gestão Ambiental**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Núcleo de Gestão Integrada, 2000. 60p. (Apostila de curso).

NASCIMENTO, L. Teleconexões, mudanças climáticas e a bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Leituras cotidianas**, v.57, n.298, p.34-45, 2007. Disponível em: www.pfilosofia.xpg.com.br/07_leituras_cotidianas/20070212a. Acesso em: 12 jul. 2008.

NEELAMKAVIL, F. **Computer simulation and modeling**. New York: John Wiley & Sons. 1987.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.

OLIVEIRA, A. D. **Considerações sobre a preservação das florestas tropicais**. Viçosa: UFV, 1993. 37p.

OLLAGNON, H. Estratégia patrimonial para a gestão dos recursos e dos meios naturais: enfoque integrado da gestão do meio rural. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Org.) **Gestão de recursos naturais e renováveis**: novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez, 1997. p.171-200.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Fundo das Nações Unidas para a População**: o estado da população mundial. Relatório sobre o desenvolvimento humano, 2001. 388p.

ONU - UNITED NATIONS fund for population activities. **The state of the world population**, 2006. 345p.

ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G. **Sostenibilidad de los recursos hídricos en São Miguel do Anta, Minas Gerais**: un enfoque de dinámica de sistemas. Viçosa, MG: UFV, 2006. 104p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, 2006.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Climatic Consequences of a Large-Scale Desertification in Northeast Brazil: A Gcm Simulation Study. **Journal of Climate**, vol.17, n.16, p.3203-13, 2004.

PÁDUA, J. A. A insustentabilidade da agricultura brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA (ENA), 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: AS-PTA, 2003. p.42-47.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1989. 378p.

PEIXOTO, G. L.; MARTINS, S. V.; SILVA, E. A problemática ambiental do efeito estufa. **Ação Ambiental**. Viçosa: UFV, ano 4, n.21, 2001, p.11-13.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba – RS, 2002. 478p.

PEREIRA, S. B. Evaporação no lago Sobradinho e disponibilidade hídrica no Rio São Francisco. 2004. 103f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, 2004.

PERLIN, J. **História das florestas: a importância da madeira no desenvolvimento da civilização**. Rio de Janeiro: Imago, 1992. 490p.

PIDD, M. **Tools for thinking: modeling in management science**. Rexdale: Wiley, 1996. 350p.

PLANPAR - **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu**. BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS; Governo do estado. DISTRITO FEDERAL. . [S. I.]: 1996. Vol. 1, T. 1. (CD-ROM).

PORTO, R.; ZAHTEL, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M (Ed.). **HIDROLOGIA**. EDUSP, 1993, p.814-815.

POSTEL, S. **Last oasis: facing water scarcity**. W.W. Norton & Company, 1997. 239p. (The World Watch Environmental Alert series).

PREFEITURA DE UNAÍ. **Cidade de Unaí**. Disponível em: www.prefeituraunai.mg.gov.br. Acesso em: 11 nov. 2008.

PROJETO MARCA D'AGUA/IBGE. **Base de Dados Sócio-Econômicos**. Informações Preliminares sobre as bacias hidrográficas pré-selecionadas. Brasília: 2001. 89p.

PROJETO MARCA D'AGUA/FINATEC. **Seguindo as mudanças na gestão das bacias hidrográficas do Brasil**. Caderno 1: retratos 3x4 das bacias pesquisadas. Brasília: FINATEC, 2003. v.1, 212 p.

PURSER, R. E. From global management to global appreciation: a transformative epistemology for a perspective world. **Organization & Environment**, v.10, n.4, p.361-383, 1997.

RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. Subprojeto 4.3 - Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco. In: _____. **Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Viçosa, MG: UFV; ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 190p. Relatório Final.

REBOUÇAS, A. C. **Recursos hídricos**. 2004. Entrevista concedida à TV Educativa, São Paulo, 16 fev. 2004.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Água na Agricultura e Pecuária. In: **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999. p.305-337.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RELATÓRIO DO BRASIL PARA A CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Brasília: Cima, 1991. 204p.

RESENDE, J. L. P.; LIMA JÚNIOR, V. B.; SILVA, M. L. O Setor Florestal Brasileiro. **Informe Agropecuário**, v.18, n.185, p.7-15, 1996.

REZENDE, J. L. P. **Externalidades**. Viçosa. s.d. 28p. (mimeografada).

RICHARDSON, G. P. System dynamics: simulation for policy analysis from a feedback perspective. In: **Modeling for Management I: Qualitative Simulation Modeling and Analysis**. New York: Springer Verlag, 1991. p.144-169.

RICHMOND, B. **An academic user's guide to STELLA**. High Performance System, Inc. Lime. 1987.

RIMA - RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL. Disponível em: www.mi.gov.br/saofrancisco. Acesso em: 30 nov. 2004.

RODRIGUEZ, F. A.; HOLTZ, G. P. Subprojeto 4.5.A – Diagnóstico analítico da bacia e sua zona costeira. In: _____. **Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Viçosa, MG: UFV; ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 190 p. (Relatório Final).

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a Estimativa das Demandas e Disponibilidades Hídricas: Estudo de Caso da Bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2004, 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

RODRIGUEZ, R. D. G.; PRUSKI, F. F.; NOVAES, L. F.; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. F. Estimativa da demanda de água nas áreas irrigadas da bacia do rio Paracatu. **Engenharia agrícola**, vol.27, n.1, Jaboticabal, p.34-42, 2007.

ROSMAN, P. C. C. **Um sistema computacional de hidrodinâmica ambiental**. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Hídricos & Meio Ambiente/Escola Politécnica e da Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica PENO-COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. 161p.

RUTH, M.; HANNON, B. **Modeling dynamic economic systems**. New York: Springer-Verlag, 1994. 339p.

SACHS, I. Desenvolvimento sustentável, bio-industrialização descentralizada e novas configurações rural-urbanas: os casos da Índia e do Brasil. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Org.). **Gestão de recursos naturais e renováveis: novos desafios para a pesquisa ambiental**. São Paulo: Cortez, 1997. p.469-494.

SALATI, E. Emissão e seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: I SEMINÁRIO SOBRE EMISSÃO E SEQÜESTRO DE CARBONO - COMPANHIA VALE DO RIO DOCE, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p.12-37.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. O. Modelo dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá: uma perspectiva de dinâmica de sistemas. **Anais.... XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2007. p.134-148.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. Assessment of water resources in the Piracicaba, Capivari, and Jundiá river basins: a dynamic systems approach. 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment. **Proceedings...** 2008. Concepción, Chile: ASABE.

SANTO, B. R. E. **Caminhos da agricultura brasileira**. São Paulo: Evoluir, 2004. 304p.

SANTOS, M. O espaço e os seus elementos: questões de método. **Revista Geografia e Ensino**. Belo Horizonte, MG, v.1, n.1, p.19-30, 1982.

SANTOS, N. A. P.; CAMARGOS, L. M. M.; SERPA, C. F. O uso de técnicas de geoprocessamento como subsídio para a elaboração de propostas de enquadramento dos corpos de água: o caso da bacia hidrográfica do Rio Paracatu. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis, Brasil: INPE, 2007, p.3533-3540.

SCHAEFER, C. E.; ALBUQUERQUE, M. A.; CHARMELO, L. L.; CAMPOS, J. C. F.; SIMAS, F. B. Elementos da paisagem e a gestão da qualidade ambiental. **Informe Agropecuário**, v.21, n.202, p.20-44, 2000.

SCHETTINO, L. F.; REZENDE, J. L. P.; GONÇALVES, F. C.; MINETTI, L. J. Externalidades na área florestal. **Folha Florestal**, n.101, p.18-20, 2002.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas**. Florianópolis: UESC, 2002. 289p.

SCHMIDT, A. **El concepto de naturaleza en Marx**. Espanha: Siglo Veintiuno, 1976. 86p.

SCHMIDT, N.; LIPP, E. K.; ROSE, J. B.; LUTHER, M. E. ENSO Influences on Seasonal Rainfall and River Discharge in Florida. **American Meteorological Society**, 2001.

SCIELO **A Dinâmica do setor florestal brasileiro**. Disponível em: <http://www.scielo.br/img/revistas/rarv/v27n6/a12fig07.gif>. Acesso em 21 fev. 2008.

SELBORNE, L. **A ética do uso da água doce**: um levantamento. Brasília: UNESCO, 2001. 80p.

SENGE, P. M. **A quinta disciplina**: arte e prática da organização que aprende. São Paulo: Best Seller, 1990. 441p.

SETTI, A. A. **A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos**. IBAMA. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 1994.

SHIKI, S. Crítica ao modelo de desenvolvimento dominante nos cerrados e à transição agroecológica. In: ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA (ENA), 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: AS-PTA, 2003. p.17-24.

SILVA, D. D. Noções de recursos hídricos. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3., 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: ABES-MG/DEA UFV, 2002. p.226-269.

SILVA, G. L.; VIANNA, J. C. T. **Utilização do software STELLA para modelar o ciclo do carbono entre os principais reservatórios do planeta Terra.** Departamento de Meteorologia – FMET. Universidade Federal de Pelotas – UFPel. 2004. 4p.

SOUZA, M. N. **Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SOUZA, M. N. **Ecologia e Manejo de Ecossistemas.** Apostila da Disciplina Ecologia e Manejo de Ecossistemas do Curso Técnico em Meio Ambiente. Rio Pomba: CEFET, 2008. 185p. (Caderno Didático número 16).

SOUZA, M. N. **Economia Aplicada e Sistemas de Gestão Ambiental: Modelos Aplicados à Promoção do Desenvolvimento Sustentável.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Integrada. BH: IETEC, 2006. 248p.

SOUZA, M. N. **Gestão de Recursos Hídricos - Bases da Política Nacional de Recursos Hídricos e os Instrumentos de Gestão.** Curso Técnico em Meio Ambiente. Rio Pomba: CEFET, 2007.156p.

STELLA. **Introduction to systems thinking.** NH: High Performance Systems, 2001. 165 p.

STERMAN, J. D. **Business dynamics – systems thinking and modeling for a complex world.** Boston: Irwin MacDraw-Hill, 2000. 982 p.

TEIXEIRA SOUZA, S. M. (Coord.). **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Hidrossistemas, 1993. 325p.

TERBORGH, J. **Requiem for nature.** Washington, D.C.: Island Press, Shearwater Books, 1999. 235p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. UFRGS e ABRH, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre: Ed. UFRGS e ABRH, 1998.

TUNDISI, J. G. (Ed.). **Limnologia para manejo de represas.** São Paulo: EESC/USP/CRHEA, ACCESP, v.1, 2002. p.311-355.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez.** São Carlos: RiMa, 2.ed., 2003. 248p.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Water for people, water for life: un world water development report.** Paris, 2003. 34 p.

VALE DO SÃO FRANCISCO. **Economia – Potencialidade apresenta informações sobre qualidade e quantidade de águas, solos para irrigação, hidroeletricidade e navegação.** Disponível em: <<http://www.valedosaofrancisco.com.br>>. Acesso em: 24 abr. 2003.

VEIGA, J. E. Problemas de transição à agricultura sustentável. **Estudos Econômicos**, v.24, p.9-29, 1994.

- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 449p, 2001.
- VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; VIEIRA, M. N. S. **Solos**: propriedade, classificação e manejo. Brasília: MEC/ABEAS, 1988. 154p. (Programa Agricultura nos Trópicos, v. 2)
- VILLELA, P. R. C. **Introdução à dinâmica de sistemas**. II SEMANA ACADÊMICA DA GESTÃO DO AGRONEGÓCIO. Viçosa: DER/UFV, 2007. 66p.
- von SPERLING, E. Qualidade da água. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/SRH/ABEAS; Viçosa, MG: UFV/Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p.89-113.
- VOROSMARTY, C.; SAHAGIAN, D. Anthropogenic Disturbance of the Terrestrial Water Cycle. **BioScience**, v.50, n.9, p.753-65, 2000.
- WEID, J. M. **A promoção do desenvolvimento rural sustentável e o papel do movimento sindical dos trabalhadores e trabalhadora rurais**: Comentários e subsídios ao documento base para o VII Congresso Nacional dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais. Brasília: Contag, 1997.
- WEID, J. M. Conceitos de sustentabilidade e sua aplicação nos modelos de desenvolvimento agrícola. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfológicos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.353-376.
- WIGHAM, J. M. Interception. In: GRAY, D. (ed.) **Handbook of principles of hydrology**. Huntington: Water information Center. Paginação irregular. Section 4, 1970.
- WWF - WORLD WILDLIFE FUND. **Países Ricos, Pobre Água**. Disponível em: www.wwf.org.br. Acesso em: 15 out. 2008.
- WWF - WORLD WILDLIFE FUND. **Áreas protegidas ou Espaços Ameaçados?** Relatório sobre o grau de implementação e vulnerabilidade das Unidades de Conservação Federais Brasileiras de Uso Indireto. Brasília: 1999. 11p. (Série Técnica I)
- XU, Z. X.; JINNO, K.; KAWAMURA, A.; TAKESAKI, S.; ITO, K. Sustainability analysis for yellow river water resources using the system dynamics approach. **Water Resources Management**, Netherlands, n.16, p.239-261, 2002.
- ZILLER, S. R. **A Estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná**: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica. Curitiba, PR: UFP, 2005. 268p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2005.

ANEXOS

ANEXO A

✚ ESTRUTURAS MATEMÁTICAS IMPLÍCITAS NOS MODELOS

1) Reservatório da bacia

$$\text{RESERVATORIO_DA_BACIA}(t) = \text{RESERVATORIO_DA_BACIA}(t - dt) + (\text{ENTRADA} - \text{SAÍDA}) * dt$$

INIT RESERVATORIO_DA_BACIA = 14e9

2) Entrada

$$\text{ENTRADA} = \text{GRAPH}(\text{RUNNOFF} + \text{PRECIPITACAO_DIRETA_BACIA})$$

3) Saída

$$\text{SAÍDA} = \text{GRAPH}(\text{IRRIGACAO} + \text{Qmedio})$$

4) Reservatório da bacia 2

$$\text{RESERVATORIO_DA_BACIA_2}(t) = \text{RESERVATORIO_DA_BACIA_2}(t - dt) + (\text{ENTRADA_2} - \text{SAIDA_2}) * dt$$

INIT RESERVATORIO_DA_BACIA_2 = SAIDA_2

5) Entrada 2

$$\text{ENTRADA_2} = \text{GRAPH}(\text{RESERVATORIO_DA_BACIA} + \text{USO_DA_AGUA})$$

6) Saída 2

$$\text{SAIDA_2} = \text{GRAPH}(\text{USO_DA_AGUA})$$

7) Escoamento do pasto

ESC_PASTO = IF((PREC_PASTO-ET_PASTO)<0)THEN(0)ELSE(PREC_PASTO-ET_PASTO)

8) Escoamento Cultivo

ESC_CULTIVO = GRAPH (PREC_PASTO + IRRIGACAO -ET_CULTIVO)

9) Escoamento Cerrado

ESCOAMENTO_CERRADO = GRAPH (IF ((PREC_CERRADO - ET_CERRADO) < 0) THEN (0) ELSE (PREC_CERRADO - ET_CERRADO))

10) Evapotranspiração

- Cultivo

ET_CULTIVO = GRAPH (TIME)

- Mata

ET_MATA = GRAPH (TIME)

- Pasto

ET_PASTO = GRAPH (TIME)

- Cerrado

ET_CERRADO = GRAPH (TIME)

11) Precipitação

- Cerrado

PREC_CERRADO = GRAPH (TIME)

- Cultivo

PREC_CULTIVO = GRAPH (TIME)

- Mata

PREC_MATA = GRAPH (TIME)

- Pasto

PREC_PASTO = GRAPH (TIME)

12) Irrigação

IRRIGACAO = GRAPH (TIME)

ANEXO B

Dados utilizados para a elaboração dos gráficos de tendências e equações de regressões lineares para a área de drenagem da estação Fazenda Barra da Égua (42435000)

Anos	Q _{max}	Q _{med}	Q ₇	Q ₉₀	Q ₉₅	Mata*	Cerrado*	Reservatórios*	Pasto*	Cultivo*	Pa	Pmc	Pms
1985	76,02	18,54	4,70	5,27	4,91	620,55	635,23	4,33	176,21	154,68	1264,0	350,2	11,2
1986	70,77	13,62	3,17	3,57	3,32	--	--	--	--	--	1164,0	266,7	21,2
1987	75,19	9,44	2,26	2,34	2,20	531,35	625,37	1,85	254,20	178,23	1497,2	505,6	16,5
1988	61,13	17,63	3,30	4,16	3,71	--	--	--	--	--	1162,6	226,7	2,1
1989	96,69	17,26	2,85	3,31	3,02	475,38	480,95	2,89	404,64	227,14	1405,7	606,4	6,3
1990	74,7	16,63	4,99	5,51	5,16	--	--	--	--	--	900,4	145,6	15,1
1991	73,22	21,33	5,25	6,02	5,62	584,08	378,30	4,02	319,37	305,23	1520,7	362,8	33,8
1992	87,93	30,97	6,89	8,65	7,67	--	--	--	--	--	1744,6	398,9	19,1
1993	80,67	17,66	4,39	4,74	4,45	582,00	406,31	7,23	201,57	393,89	986,2	301,5	13,3
1994	89,12	21,35	4,54	5,36	4,95	--	--	--	--	--	943,8	228,6	50,7
1995	61,13	14,76	3,80	4,41	4,10	554,06	204,89	3,97	303,53	524,55	1083,3	258,4	15,3
1996	36,23	7,56	2,17	2,50	2,33	741,44	296,58	3,79	179,02	370,17	1003,0	223,5	13,9
1997	53,18	14,97	2,54	3,12	2,83	--	--	--	--	--	1377,6	299,4	23,5
1998	36,73	7,88	1,21	1,53	1,37	632,20	133,93	4,11	318,62	502,14	1220,2	310,7	16,7
1999	76,75	9,05	1,10	1,44	1,27	--	--	--	--	--	1129,1	330,0	14,6
2000	89,98	16,12	1,76	2,92	2,55	694,13	332,55	6,01	97,22	461,09	1336,8	348,5	13,9

Q_{max} - Vazão máxima anual (m³ s⁻¹)

Q_{med} - Vazão média diária anual (m³ s⁻¹)

Q₇ - Vazão mínima de sete dias consecutivos (m³ s⁻¹)

Q₉₀ - Vazão de permanência de 90% do tempo (m³ s⁻¹)

Q₉₅ - Vazão de permanência de 95% do tempo (m³ s⁻¹)

Pa - Precipitação média diária anual na área de drenagem da estação fluviométrica (mm ano⁻¹)

Pmc - Precipitação do mês mais chuvoso (mm mês⁻¹)

Pms - Precipitação do mês mais seco (mm mês⁻¹)

-- Ausência de informações

* - Área de cobertura em km²

Dados utilizados para a elaboração dos gráficos de tendências e equações de regressões lineares para a área de drenagem da estação Porto dos Poções (42600000)

Anos	Q_{max}	Q_{med}	Q₇	Q₉₀	Q₉₅	Mata*	Cerrado*	Reservatórios*	Pasto*	Cultivo*	Urbanização*	Pa	Pmc	Pms
1985	623,00	122,72	39,44	44,90	41,80	2145,75	4345,67	22,63	1351,88	1567,56	25,51	1258,60	346,6	9,5
1986	649,00	96,94	28,73	31,90	29,10	--	--	--	--	--	--	1063,60	270,0	30,3
1987	644,00	161,32	25,81	26,30	24,70	2262,22	3498,48	19,20	2211,50	1440,88	26,68	1468,90	490,4	18,7
1988	607,00	126,11	34,49	34,60	28,20	--	--	--	--	--	--	1262,50	230,3	10,1
1989	365,00	70,65	18,59	23,20	20,50	2233,56	3463,40	41,66	1784,06	1909,64	26,72	1537,10	644,4	3,9
1990	212,00	71,07	38,62	41,70	38,50	--	--	--	--	--	--	915,30	143,3	28,9
1991	780,00	190,17	35,34	49,30	41,70	2071,17	3476,99	33,17	1898,74	1788,54	27,43	1584,60	383,6	19,2
1992	797,00	283,93	63,86	72,30	66,40	--	--	--	--	--	--	1660,10	394,3	29,4
1993	574,00	124,77	34,27	39,70	36,40	2441,14	2571,57	38,39	2055,27	2366,13	28,64	1044,90	314,0	13,3
1994	699,00	124,40	34,49	40,70	36,70	--	--	--	--	--	--	1120,80	282,6	28,2
1995	611,00	95,73	19,97	27,60	23,60	2561,96	2728,08	41,49	1978,46	2269,83	31,01	1338,70	304,1	18,7
1996	282,60	60,39	20,00	22,90	21,30	2674,08	2412,94	18,94	1872,29	2451,74	33,32	952,80	203,2	57,3
1997	108,68	60,29	28,20	46,80	46,10	--	--	--	--	--	--	1371,30	277,9	20,2
1998	290,70	76,56	13,26	20,30	17,90	2910,75	1735,18	23,41	1831,19	2925,15	34,45	1147,30	318,5	13,9
1999	652,80	69,65	16,34	29,50	24,60	--	--	--	--	--	--	1137,00	328,4	15
2000	625,50	99,87	22,01	25,90	23,00	2822,55	1122,84	38,58	1798,90	3639,75	36,38	1416,60	293,2	12,8

Q_{max} - Vazão máxima anual (m³ s⁻¹)

Q_{med} - Vazão média diária anual (m³ s⁻¹)

Q₇ - Vazão mínima de sete dias consecutivos (m³ s⁻¹)

Q₉₀ - Vazão de permanência de 90% do tempo (m³ s⁻¹)

Q₉₅ - Vazão de permanência de 95% do tempo (m³ s⁻¹)

Pa - Precipitação média anual na área de drenagem da estação fluviométrica (mm ano⁻¹)

Pmc - Precipitação do mês mais chuvoso (mm mês⁻¹)

Pms - Precipitação do mês mais seco (mm mês⁻¹)

-- Ausência de informações

* - Área de cobertura em km²