

WADY LIMA CASTRO JÚNIOR

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE
MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO-CAUPI
NA REGIÃO DOS COCAIS – MA**

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
2012

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

T

C355a
2012

Castro Júnior, Wady Lima, 1977-

Análise técnico-econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção de feijão-caupi na região dos Cocais - MA / Wady Lima Castro Júnior. – Viçosa, MG, 2012. xviii, 95f. : il. ; (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Rubens Alves de Oliveira

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 82-91

1. Irrigação. 2. Feijão-caupi. 3. Feijão-caupi - Rendimento. 4. Irrigação - Técnica. 5. Irrigação - Aspectos econômicos.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

WADY LIMA CASTRO JÚNIOR

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE MANEJO DA
IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO-CAUPI NA REGIÃO DOS
COCAIS – MA**

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: 11 de setembro de 2012.



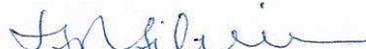
Edvaldo Fialho dos Reis



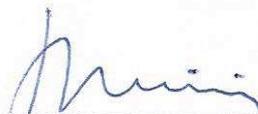
Mauro Aparecido Martinez



José Eustáquio de Souza Carneiro



Suely de Fátima Ramos Silveira
(Coorientadora)



Rubens Alves de Oliveira
(Orientador)

Aos meus pais Wady Lima Castro e Maria Neli Castro, e às minhas irmãs Lucineide Ferreira Castro Alves, Edineide Ferreira Castro Campos, Ivaneide Ferreira Castro, Josineide Ferreira Castro e Evaneide Ferreira Castro.

OFEREÇO

À minha companheira Maria Christina Ferreira de Oliveira Castro,
e à minha filha Ísis de Oliveira Castro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela bênção da vida e oportunidade concedidas.

Aos meus pais, irmãs, esposa, cunhados e sobrinhos, pela confiança, incentivos e apoio nos momentos difíceis.

À Maria Christina Ferreira de Oliveira Castro, pelo companheirismo, incentivo, e pelo fato de presentear-me com seu amor.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo curso oferecido.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Codó, pela liberação para realizar este curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor da Universidade de Brasília, Cícero Lopes da Silva, pela amizade, incentivo, ensinamentos e conselhos em buscar a Universidade Federal de Viçosa para capacitação.

Ao Professor Rubens Alves de Oliveira, pela orientação, respeito e confiança, indispensáveis para conclusão deste curso.

Aos meus Professores conselheiros Suely de Fátima Ramos Silveira, Paulo Roberto Cecon e Aderson Soares de Andrade Júnior, pela cordialidade, profissionalismo, paciência, críticas e sugestões nas diversas fases deste trabalho.

Aos amigos e colegas que surgiram na minha vida ao longo desta capacitação: Leandro Farias, Geraldo Henrique, Samuel Petraccone, Adinan, Silvânio e Gustavo Haddad, pela amizade e aconselhamentos.

Aos amigos Cristina Rego, Celso, Benedito e Bibiu (Cléa), pela valiosa amizade.

Aos amigos e sobrinhos Wendell Castro Alves e Artur Júnio Castro Alves, pela força e amizade.

Ao cunhado Artur Alves Filho, pela amizade, confiança, respeito, e incentivo desde a graduação até o final do doutorado.

Aos Professores Márcio Mota Ramos, Antônio Alves Soares, Demétrius David da Silva, Fernando Falco Pruski, Everardo Chartuni Mantovani, Gilberto Chohaku Sedyama, Hugo Ruiz, Mauro Aparecido Martinez e José Eustáquio de Souza Carneiro, pelos ensinamentos.

Ao funcionário terceirizado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Codó, Sr. José de Sousa (Seu Zé), pela valiosa ajuda na execução desta pesquisa.

Aos colegas laboratoristas da Hidráulica, Chicão e Eduardo, pelo apoio.

Aos demais colegas do Departamento de Engenharia Agrícola, pelas discussões e aprendizagens.

BIOGRAFIA

WADY LIMA CASTRO JÚNIOR, filho de Wady Lima Castro e Maria Neli Castro, nasceu em Bom Jesus, PI, no dia 15 de março de 1977.

Em março de 1997, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade de Brasília (UnB), em Brasília, DF, diplomando-se em outubro de 2002.

Em março de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, em nível de Mestrado, da Universidade de Brasília (UnB), em Brasília, DF, submetendo-se à defesa em fevereiro de 2005.

Em outubro de 2005, foi aprovado no concurso público para a carreira docente na Escola Agrotécnica Federal de Codó, MA, assumindo o cargo efetivo em fevereiro de 2006.

Em 29 de dezembro de 2008, por força da Lei nº 11.892, passa a integrar o quadro efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Codó, com a extinção das Escolas Agrotécnicas.

Em março de 2009, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de tese em setembro de 2012.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT.....	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultura do feijão-caupi.....	3
2.1.1 Importância socioeconômica.....	5
2.1.2 Necessidade hídrica e rendimento da cultura.....	6
2.1.3 Componentes de produção	10
2.2 Manejo da irrigação.....	11
2.3 Análise econômica.....	16
2.4 Eficiência do uso da água.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Área experimental	22
3.2 Instalação da cultura.....	26
3.3 Tecnologias de manejo da irrigação.....	27
3.3.1 Determinação do teor de água do solo com forno de micro-ondas.....	27
3.3.2 Tanque Classe A.....	28
3.3.3 Irrigâmetro	29
3.3.4 Tensiometria	30
3.3.5 Irrígrafo	32
3.3.6 <i>Software</i> Ref-ET	33
3.3.7 <i>Software</i> Irriplus	35
3.4 Delineamento experimental.....	35
3.5 Sistema e manejo da irrigação.....	37
3.6 Precipitação efetiva	41
3.7 Características avaliadas.....	42
3.7.1 Altura de plantas	42

3.7.2	Número de vagens por planta	42
3.7.3	Número de grãos por vagem	43
3.7.4	Comprimento médio de vagem	43
3.7.5	Produtividade média de grãos	43
3.8	Eficiência do uso da água.....	43
3.9	Análise econômica do cultivo do feijão-caupi	43
3.9.1	Análise da rentabilidade sob a ótica da renda e do custo	44
3.9.2	Análise da rentabilidade sob a ótica da teoria de investimentos....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1	Manejo da irrigação.....	53
4.2	Tecnologias de manejo e lâminas de irrigação.....	56
4.3	Características avaliadas	61
4.4	Análise econômica	70
4.4.1	Sob a ótica da renda e do custo	74
4.4.2	Sob a ótica da teoria de investimentos	77
5	CONCLUSÕES	81
6	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A	92

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Variação diária das temperaturas máxima e mínima do ar (°C) e da umidade relativa média (%) para a época do cultivo da primavera	22
Figura 2.	Variação diária das temperaturas máxima e mínima do ar (°C) e da umidade relativa média (%) para a época do cultivo do outono	23
Figura 3.	Precipitação pluviométrica diária durante a época do cultivo do feijão-caupi na primavera.....	23
Figura 4.	Precipitação pluviométrica diária durante a época do cultivo do feijão-caupi no outono.....	24
Figura 5.	Curvas de retenção de água no solo, ajustadas pelo modelo de van Genuchten, para as profundidades de 0-0,20m e 0,20-0,40m – Codó, MA, 2010.....	26
Figura 6.	Detalhes do irrigâmetro e das régua temporal e de manejo.....	30
Figura 7.	Tubos tensiométricos instalados na cultura do feijão-caupi, com as cápsulas porosas a 0,10 e 0,30m de profundidade	31
Figura 8.	Apresentação do irrigrafo, com substituição da régua temporal por régua indicativa da lâmina de irrigação.....	33
Figura 9.	Estação meteorológica automática instalada na área experimental.....	34
Figura 10.	Croqui da área experimental.....	36
Figura 11.	Estrutura de suporte do tubo perfurado utilizado na irrigação das unidades experimentais.....	37
Figura 12.	Vista parcial do experimento, com as caixas de água suspensas ao fundo.....	38
Figura 13.	Medição das lâminas coletadas e das perdas por evaporação e arraste pelo vento.....	40
Figura 14.	Momento da suspensão da irrigação dos tratamentos.....	41
Figura 15.	Umidade do solo e lâminas de irrigação manejada com microondas, tanque Classe A, irrigâmetro, tensiometria, irrigrafo, Ref-ET e irriplus, durante os ciclos do feijão-caupi cultivados na primavera e outono.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características químicas do solo da área experimental.....	24
Tabela 2.	Características físico-hídricas do solo da área experimental.....	25
Tabela 3.	Valores de teor de água no solo saturado, teor de água residual no solo, e dos parâmetros do modelo de van Genuchten (1980) para o solo utilizado no experimento – Codó, MA, 2010	25
Tabela 4.	Características químicas da água utilizada para irrigação.....	41
Tabela 5.	Lâminas totais aplicadas com recomendação dos métodos de manejo da irrigação para o feijão-caupi na região dos cocais, MA.....	54
Tabela 6.	Valores médios de altura de plantas, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, número de vagem por planta, massa de grãos por planta e eficiência do uso da água para as respectivas combinações de época e tecnologia de manejo da irrigação.....	62
Tabela 7.	Produtividade de grãos secos do feijão-caupi irrigado por aspersão convencional sob recomendação de diferentes tecnologias de manejo da irrigação, em duas épocas de cultivo na região dos cocais, MA, em 2010/2011.....	67
Tabela 8.	Diferenças dos contrastes entre as médias dos tratamentos e o controle (balanço hídrico com <i>software</i> Ref-ET – T6) para altura de plantas, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, número de vagem por planta, massa de grãos por planta e eficiência do uso da água para as respectivas épocas de cultivo de feijão-caupi.....	69
Tabela 9.	Custos por hectare estimados para os cultivos do feijão-caupi irrigados por aspersão convencional realizados no biênio 2010/2011, em Codó, MA.....	71
Tabela 10.	Indicadores econômicos da rentabilidade do feijão-caupi irrigado sob diferentes tecnologias de manejo, em duas épocas de cultivo, no biênio 2010/2011, em Codó, MA.....	74
Tabela 11.	Indicadores de viabilidade econômica do feijão-caupi irrigado sob diferentes tecnologias de manejo, em duas épocas de cultivo, em Codó, MA.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Altura de plantas
B	Receitas
B/C	Relação benefício custo
C	Custos
CC	Capacidade de campo
C_c	Custo de capital referente ao investimento no equipamento de irrigação
CE	Custo da energia elétrica
CF	Custo fixo
C_i	Custo referente à irrigação
CMCR	Custos incorridos na manutenção, conservação e reparo do equipamento
C_o	Custo básico associado à produção
CV	Comprimento de vagens
CT	Custo total de produção
CV	Custo variável
C_w	Custo operacional da irrigação
C_{wa}	Custo da lâmina de irrigação
Ds	Densidade do solo
DTA	Disponibilidade total de água no solo
Ea	Eficiência de aplicação de água
EA	Evaporação do tanque Classe A
Eb	Energia requerida pela unidade de bombeamento
ET_c	Evapotranspiração da cultura
ET_o	Evapotranspiração de referência
EUA	Eficiência do uso da água
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
G	Fluxo de calor no solo
h	Altura da coluna de água dentro do tubo tensiométrico
Hm	Altura manométrica total
Ia	Intensidade de aplicação
IL	Índice de lucratividade

j	Taxa de juros sobre o capital investido
K_c	Coefficiente de cultura
K_s	Coefficiente de umidade do solo
K_t	Coefficiente do tanque Classe A
L	Leitura do vacuômetro
L_i	Lâmina de irrigação
L_m	Lâmina média dos coletores
LRN	Lâmina real necessária
MO	Mão de obra
N	Horizonte do projeto
n	Vida útil do equipamento
NGV	Número de grãos por vagem
NVP	Número de vagens por planta
P	Precipitação pluvial
PE	Ponto de equilíbrio
P_e	Precipitação efetiva
P_m	Ponto de murcha permanente
PG	Produtividade de grãos secos
P_u	Preço unitário do produto
RB	Receita bruta
RL	Receita líquida
R_n	Saldo de radiação à superfície
R_{solo}	Menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura do solo nu
SAEG	Sistema para Análises Estatísticas
T	Temperatura do ar
tc	Tarifa média mensal de consumo de energia elétrica
TCA	Tanque Classe A
Tie	Taxa de infiltração estável
TIR	Taxa interna de retorno
T_s	Tensão da água do solo
U_2	Velocidade média diária do vento a 2m de altura
U_a	Teor de água atual do solo
UFV	Universidade Federal de Viçosa

URmed	Umidade relativa média
Vi	Valor inicial do investimento
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
VPL	Valor presente líquido
Vr	Valor residual do equipamento
W	Lâmina bruta de irrigação
Z	Profundidade efetiva do sistema radicular da cultura

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Declividade da curva de pressão de vapor de saturação
e_a	Pressão de vapor atual do ar
e_s	Pressão de saturação de vapor
m	Parâmetro empírico da equação de Van Genuchten
n	Parâmetro empírico da equação de Van Genuchten
α	Parâmetro empírico da equação de Van Genuchten
γ	Constante psicrométrica
γ_a	Peso específico da água
η	Eficiência do conjunto motobomba
θ_r	Umidade residual
θ_s	Umidade de saturação
ρ	Taxa interna de retorno
\square_m	Potencial matricial

RESUMO

CASTRO JÚNIOR, Wady Lima, D. S., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2012. **Análise técnico-econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção de feijão-caupi na região dos cocais – MA.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Suely de Fátima Ramos Silveira, Paulo Roberto Cecon e Aderson Soares de Andrade Júnior.

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar técnica e economicamente diferentes tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em duas épocas de cultivo (safra e entressafra), na região dos cocais, no Estado do Maranhão. O experimento foi conduzido no Campo Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Codó, no município de Codó, MA, no delineamento em blocos casualizados, com sete tecnologias, duas épocas de cultivo e quatro repetições. As tecnologias foram constituídas pelas lâminas recomendadas pelas diferentes tecnologias de manejo da irrigação, sendo T₁: Determinação da umidade do solo com forno de micro-ondas; T₂: Tanque Classe A; T₃: Irrigâmetro; T₄: Tensiometria; T₅: Irrígrafo; T₆: Balanço hídrico com *software* Ref-ET e T₇: Balanço hídrico com o *software* Irriplus. Para observar os efeitos das tecnologias e as épocas de cultivo, foram analisados: a altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento médio das vagens (CV), produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso da água (EUA). Os resultados permitiram verificar que, em termos gerais, o cultivo da primavera (entressafra) apresentou maiores NGV, PG, EUA e lâminas de irrigação. As tecnologias que recomendaram as maiores lâminas totais foram o T₁ (278,2 mm), na primavera, e o T₂ (214,5 mm), no outono (safra). As maiores EUA encontradas foram obtidas com o manejo da irrigação realizado com o irrígrafo (12,00 kg ha⁻¹ mm⁻¹), na primavera, e com o irrigâmetro (10,10 kg ha⁻¹ mm⁻¹), no outono. Diferenças significativas na PG, entre os tratamentos, foram verificadas apenas no cultivo da primavera. As maiores produtividades de grãos foram obtidas com a irrigação manejada com o irrígrafo (T₅) (3.266,7 kg ha⁻¹), na primavera, não diferindo estatisticamente de T₁, T₃, T₄ e T₇. O investimento inicial no equipamento de irrigação por aspersão convencional foi de R\$ 5.114,97 ha⁻¹. O custo total (CT) do cultivo irrigado do feijão-caupi por hectare variou conforme a tecnologia de manejo da irrigação, sendo que, em linhas gerais, apresentou-se maior no plantio da primavera. Na entressafra, o CT variou de R\$

1.989,38 ha⁻¹ a R\$ 2.034,47 ha⁻¹, sendo que, na safra, variou de R\$ 1.959,94 ha⁻¹ a R\$ 1.989,38 ha⁻¹. A variação da receita líquida com o cultivo do feijão-caupi, entre as tecnologias, foi de 47,99% e 42,46% para os cultivos da primavera e outono, respectivamente. Foi observado que, o investimento na produção do feijão-caupi irrigado por aspersão convencional, para a área do estudo, mostrou-se viável independentemente da época de cultivo e/ou tecnologia de manejo adotada. No entanto, a maior rentabilidade foi obtida com o manejo da irrigação realizado com o irrigrafo, na primavera, e com o irrigâmetro, no outono. O plantio conduzido na primavera foi mais rentável para todos os tratamentos.

ABSTRACT

CASTRO JÚNIOR, Wady Lima, D. S., Universidade Federal de Viçosa, September 2012. **Techno-economic analysis of irrigation management technologies in production of cowpea in the coconut region, State of Maranhão.** Adviser: Rubens de Oliveira Alves. Co-Advisers: Suely de Fátima Ramos Silveira, Paulo Roberto Cecon and Aderson Soares de Andrade Júnior.

This study was developed to evaluate technical and economic, different irrigation technologies in the production of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in two growing seasons (during and between harvests) in the coconut region, State of Maranhão, Brazil. The experiment was conducted at the Experimental Field of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão, Codo Campus, in the city of Codo, State of Maranhão, in a randomized block design with seven technologies and four replications. The treatments consisted of depth recommended by different irrigation technologies: T₁: Determination of soil moisture with microwave oven, T₂: Class A pan; T₃: Irrigâmetro, T₄: Tensiometry, T₅: Irrígrafo, T₆: Water balance with software Ref-ET and T₇: Water balance with the software Irriplus. To observe the effects of treatments were evaluated: plant height (AP), number of pods per plant (NVP), number of seeds per pod (NGV), average length of the pods (CV), yield (PG) and water use efficiency (EUA). The results showed that, overall, the plantation of spring showed higher NGV, PG, EUA and depth of irrigation. The treatments recommended that the highest total depth were T₁ (278.2 mm) in spring and T₂ (214.5 mm) in the autumn. The largest EUA found were obtained with irrigation performed with irrígrafo (12.00 kg ha⁻¹ mm⁻¹) in spring, and the irrigâmetro (10.10 kg ha⁻¹ mm⁻¹), in autumn. Significant differences in PG between treatments were verified only in spring. The highest grain yields were obtained with irrigation handled with irrígrafo (T₅) (3266.7 kg ha⁻¹) in spring, but was not verified significant differences with T₁, T₃, T₄ and T₇, and the irrigâmetro (2221.7 kg ha⁻¹), in fall. The initial investment in equipment irrigation sprinkler was R\$ 5,114.97 ha⁻¹. The total cost (CT) of irrigated cultivation of cowpea per hectare varied according to irrigation technology, and, in general, appeared higher in spring. In the spring, the CT ranged from R\$ 1,989.38ha⁻¹ to R\$ 2,034.47 ha⁻¹, and in the harvest ranged from R\$ 1,959.94 ha⁻¹ to R\$ 1,989.38 ha⁻¹. The variation of net revenue with the production of cowpea, between treatments, was 47.99% and

42.46% for spring and fall, respectively. It was noted that investment in the production of cowpea irrigated by sprinkler for the study area, proved to be feasible regardless of the growing season and/or management technology adopted. However, the highest yield was obtained with irrigation performed with irrigafo in spring, and the irrigâmetro in fall. The planting carried out in spring was more profitable for all treatments.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil está mais concentrado nas regiões Norte e Nordeste, embora se tenha verificado recente expansão da sua exploração em áreas do Centro Oeste e Sudeste. No estado do Maranhão, especificamente, esta cultura desempenha um papel de grande relevância socioeconômica, sendo considerada uma das mais importantes culturas de subsistência. Seu cultivo, geralmente, é conduzido sob baixo nível tecnológico, o que acarreta em baixa produtividade de grãos. No entanto, com o aumento de sua exploração por produtores que empregam mais tecnologias, a produtividade tende a melhorar.

A irrigação é uma tecnologia que potencializa aumentos de produtividade na agricultura, sendo importante estabelecer um programa de manejo da irrigação. Para tanto, existem diversos métodos que podem ser empregados.

Entretanto, as plantas requerem elevados volumes de água e há, no mundo, uma crescente escassez qualitativa deste recurso (BERNARDO, 2008). Desta maneira, a adoção do manejo racional da irrigação surge como uma medida capaz de aumentar a economia deste recurso hídrico, mitigando o impacto ambiental causado pela irrigação. Associado a isto, tem-se o viés econômico dos agricultores, incentivando-os a melhorar a eficiência na alocação dos recursos, permitindo-os aumentar a sua produtividade e renda, de tal forma que possam competir no mercado. Com a adoção do manejo racional da irrigação pode-se obter melhorias econômicas na atividade agrícola.

Essa necessidade de melhorias econômicas, associada à competição pelo uso da água e dos impactos ambientais decorrentes do uso da irrigação são fatores, relacionados por Frizzone (2004), que deverão motivar mudança de paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que apenas suprir a demanda hídrica das plantas.

O manejo tradicional da irrigação geralmente tem sido empregado com o objetivo de maximizar a produtividade, esquecendo-se de observar os aspectos econômicos. Entretanto, de acordo com Figueiredo et al. (2008), irrigar visando maximizar o lucro é um problema substancialmente mais complexo e desafiador que irrigar buscando o máximo rendimento físico. Isto é, uma irrigação ótima, sob o foco econômico, implica na aplicação de menores lâminas em relação à irrigação plena,

mesmo que ocorra alguma consequente redução de produtividade, mas com alguma vantagem econômica significativa.

Em uma exploração agrícola irrigada pode haver situações nas quais a maior produtividade física não coincida com a maior rentabilidade, pois irrigar gera custos e os incrementos no rendimento por área podem não compensar economicamente a aplicação de maiores lâminas de irrigação.

Com o interesse de analisar o comportamento das tecnologias de manejo em diferentes condições climáticas, assim como a análise econômica sob condições de preços diferenciados do produto, analisou-se, nesta pesquisa, a viabilidade econômica em duas épocas (primavera e outono).

Destarte, este estudo teve como objetivo principal avaliar, técnica e economicamente, diferentes tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em duas épocas de cultivo, na Região dos Cocais, no Estado do Maranhão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção Catiang e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (VERDCOURT, 1970; MARÉCHAL et al., 1978; PADULOSI e NG, 1997) *apud* Freire Filho et al. (2005). É uma planta anual com ciclo variando de 60 a 90 dias, dependendo da cultivar.

Este tipo de feijão é o predominante nos campos de cultivo das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Essa cultura tem apresentado melhorias na produtividade de grãos, principalmente devido a aumentos no nível tecnológico empregado na produção. Com boa resistência a pragas e doenças, rusticidade e tolerância ao déficit hídrico e baixos níveis de fertilidade do solo, associados ao baixo custo de produção e expansão de mercados, tem-se mostrado como boa opção para cultivo.

O feijão-caupi, segundo Freire Filho et al. (2005), desenvolve-se numa faixa de temperatura entre 20°C e 35°C, sendo a faixa ideal de temperatura para a germinação da cultura 23°C a 32,5°C. De acordo com Ahmed et al. (1992), *apud* Freire Filho et al. (2005), temperaturas elevadas à noite induzem o abortamento de flores no feijão-caupi, reduzindo, assim, a sua capacidade de produção. Estes autores verificaram que as plantas submetidas a temperaturas noturnas de 30 °C apresentavam baixa viabilidade dos grãos de pólen e anteras indeiscentes, sendo que o período mais sensível da planta a temperaturas noturnas elevadas dá-se entre os 9 e os 7 dias que antecedem a antese.

Quanto ao tipo de solo ideal para a cultura, Ribeiro (2003) relata que o feijão-caupi pode ser cultivado em quase todos os tipos de solos, com destaque para os Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos. De um modo geral, desenvolve-se em solos com regular teor de matéria orgânica, soltos, leves e profundos, arejados e dotados de média a alta fertilidade. Entretanto, outros solos como Latossolos e Neossolos Quartzarênicos com baixa fertilidade podem ser utilizados, mediante aplicações de fertilizantes químicos e/ou orgânicos.

Essa planta possui quatro tipos de portes, a saber: ereto, semi-ereto, semi-prostrado e prostrado. No entanto, suas cultivares comerciais vêm passando por um

processo de mudança em sua arquitetura, precocidade e qualidade de grãos (FREIRE FILHO et al., 2005). As mudanças na arquitetura são devidas à necessidade de plantas mais eretas, que possibilitem a mecanização da lavoura, inclusive a colheita. Ainda segundo estes autores, os principais desafios que se apresentam para o melhoramento do feijão-caupi são adaptar a planta ao cultivo mecanizado e superar os níveis atuais de produtividade. Trabalhos científicos com este fim ainda estão escassos.

Neste sentido, Matos Filho et al. (2009) conduziram um experimento em Teresina, PI, com o objetivo de estimarem parâmetros genéticos e identificarem, em populações de feijão-caupi, genótipos promissores quanto à produtividade de grãos e arquitetura ereta de planta. A variabilidade genética apresentada para o comprimento e número de nós do ramo principal e para o número de vagens por planta indicaram condição favorável à seleção de progênes superiores quanto a esses caracteres. A ausência de correlação entre o comprimento do ramo principal com o número de vagens por planta e o peso de cem grãos evidenciou a possibilidade de seleção de genótipos com arquitetura moderna de planta, maior tamanho de sementes e produção de vagens. Esta nova arquitetura, aliada à uniformidade de maturação nas plantas de feijão-caupi, possibilita maior desempenho na colheita mecanizada.

A colheita é uma das etapas mais importantes no processo produtivo do feijão-caupi. A qualidade final do produto, quer seja semente ou grão, depende de uma colheita bem feita, na época correta. Davis et al. (2011) mencionam que o feijão-caupi pode ser colhido em três diferentes estágios de maturidade: vagem verde, vagem amarelada e seco. Para o caso de grãos secos, Campos et al. (2000) afirmam que a colheita deve ser realizada logo que a lavoura atinja o ponto de maturidade adequado, estágio R5. O atraso na colheita, geralmente, implica na perda de qualidade do produto. As cultivares da classe cores, subclasses Mulato e Sempre-Verde, por exemplo, sofrem o escurecimento do tegumento e têm o valor comercial reduzido.

No Brasil, segundo Ribeiro et al. (2003), o feijão-caupi é, tradicionalmente, colhido manualmente, vagem por vagem, e debulhado por meio de bateção. Entretanto, atualmente esse processo está restrito às pequenas propriedades. Nas médias e grandes propriedades há uma ampla combinação de práticas que dão uma maior rapidez à colheita e ao beneficiamento do feijão-caupi.

Esta leguminosa pode ser usada, além da alimentação humana, para a alimentação animal na forma de forragem verde, feno, silagem e farinha, e ainda para a adubação verde e cobertura do solo (MOUSINHO, 2005).

2.1.1 Importância socioeconômica

O cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) ocorre em áreas das Américas Central e do Sul, no sudeste e sudoeste da América do Norte, e em áreas do oeste da África, Índia, sul e sudeste da Ásia, Austrália e sul da Europa (EHLERS & HALL, 1997). No Brasil, o cultivo é mais intenso nos Estados da região Norte e Nordeste, e de maneira incipiente no Mato Grosso, Tocantins, Mato Grosso do Sul e norte de Minas Gerais, com foco principal no mercado nordestino (IBGE, 2009).

De acordo com dados da FAO (2010) a produção mundial do feijão-caupi em 2008 foi de 5,4 milhões de toneladas, sendo 90% produzidos por países africanos. A cultura ocupou uma área de 11,8 milhões de hectares, com produtividade média de 456 kg ha⁻¹, em que os maiores países produtores foram a Nigéria e o Níger. Entretanto, a maior produtividade ocorreu no continente europeu, na Croácia, sendo igual a 4.000 kg ha⁻¹. Estimativas a partir de dados do IBGE (2009) permitem afirmar que o Brasil é o terceiro maior produtor com cerca de 602,1 mil toneladas em 2008, o que corresponde a 7,1% da produção mundial, com a cultura ocupando uma área de 1,413 milhões de hectares, resultando em uma produtividade muito baixa, igual a 426 kg ha⁻¹. Segundo Santos et al. (2000), cerca de 95% a 100% da área plantada com feijão nos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte é cultivada com feijão-caupi, haja vista o hábito alimentar da população e as condições de adaptabilidade da leguminosa.

A área cultivada com feijão-caupi no Maranhão, em 2008, foi de 88,05 mil hectares, obtendo produção de 39,64 mil toneladas, com produtividade média de 450 kg ha⁻¹ (IBGE, 2009). Segundo Ferreira et al. (2002), esta baixa produtividade se deve, às incertezas sobre a cadeia produtiva do feijão-caupi, que desestimula o investimento e a adoção de novas tecnologias no sistema produtivo, o que provoca o baixo nível tecnológico utilizado na exploração da cultura, tais como ausência de correção do solo, adubação, controle fitossanitário e irrigação, e baixa densidade de plantio.

Dentre as espécies de feijão produzido no Brasil, o feijão-caupi tem papel relevante, sobretudo para as regiões Norte e Nordeste, mormente no sertão nordestino, como cultura de subsistência. Esta leguminosa é parte essencial da composição da dieta alimentar dessa população, com destaque para os mais carentes, o que evidencia a importância dessa planta, haja vista que disponibiliza um alimento de elevado valor nutritivo.

Segundo Frota et al. (2008) o feijão-caupi contém teores de proteína em torno de 25%, com quantidades significativas de lipídios, carboidratos, vitaminas, minerais e elevado valor energético. Lam-Sanchez et al. (1990) afirmaram que os grãos de feijão-caupi contém teores de proteína superiores aos do feijão do gênero *Phaseolus*.

Considerando que o consumo médio do feijão-caupi no Brasil é de 20 kg ano⁻¹ por pessoa e que um hectare gera um emprego por ano, estima-se que 27,5 milhões de nordestinos consomem essa leguminosa, gerando cerca de 2,4 milhões de empregos (FREIRE FILHO et al., 2005).

A produção do feijão-caupi tem, cada vez mais, deixado os padrões tradicionais de cultivo e apresentado uma expansão nos horizontes da negociação mercadológica com a aquisição de maior expressão econômica. Seu cultivo é feito tanto por pequenos como médios e grandes produtores, que utilizam alta tecnologia (FREIRE FILHO et al., 2005). Alguns produtores de estados consagrados na produção agrícola brasileira como o Mato Grosso, têm substituído parte da área destinada à produção de soja para cultivo do feijão-caupi. Isto é devido ao bom preço do produto, no Brasil e exterior, aliado ao baixo custo de produção. Ademais, com o cultivo sob nível tecnológico elevado, tem-se conseguido aumentos nas produtividades de grãos (OLIVEIRA, 2010).

2.1.2 Necessidade hídrica e rendimento do feijão-caupi

A planta de feijão-caupi apresenta boa tolerância à seca. Esta planta é dotada de estômatos altamente responsivos à redução de disponibilidade de água, fechando-se rapidamente e reduzindo a sua condutância estomática e, conseqüentemente, a sua transpiração foliar, permitindo, desta maneira, que o potencial hídrico e o teor relativo de água de suas folhas permaneçam com valores elevados e aproximadamente constantes durante a imposição da seca. Logo, um de seus principais mecanismos em face do estresse é evitar a desidratação, embora isso

resulte na diminuição de sua capacidade produtiva, principalmente quando o estresse é prolongado (FREIRE FILHO et al., 2005). Segundo Nóbrega et al. (2001), o feijão-caupi é classificado como uma planta moderadamente sensível tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo.

Ligeiros déficits hídricos no início do desenvolvimento da cultura podem estimular um maior desenvolvimento radicular das plantas, porém, estresse hídrico próximo e anterior ao florescimento pode ocasionar severos atrasos no crescimento vegetativo, limitando a produção (ELLIS et al., 1994; FANCELLI & DOURADO NETO, 1997).

O fato de o feijão-caupi ser tolerante a condições de estresse hídrico não implica na não responsividade à irrigação. Andrade Júnior et al. (2005) afirmam que a irrigação é um recurso imprescindível para garantir crescimento e desenvolvimento adequados a esta cultura.

A resposta da cultura do feijão-caupi à irrigação foi avaliada por Santos (2000) em Petrolina, PE, que estudou a cultivar BR 17 Gurguéia em regimes irrigados e de sequeiro, obtendo produtividades de 1.694 kg ha⁻¹ e 1.133 kg ha⁻¹, respectivamente. Com a adoção da tecnologia da irrigação, Cardoso et al. (1995) conseguiram a produtividade média de 2.222 kg ha⁻¹ com a aplicação de uma lâmina média de irrigação de 402,5 mm. Bastos (1999) utilizou modelos para simulação do crescimento e da produtividade do feijão-caupi em diferentes condições hídricas e épocas de semeadura em Parnaíba e Teresina, PI, visando fornecer informações quanto ao manejo econômico da cultura. Para os dois locais, concluiu que a adoção do manejo de irrigação que mantém o solo com 50 a 100% da capacidade de água disponível foi o que maximizou a receita líquida do produtor.

Carvalho et al. (2000), em Lavras, MG, analisaram o efeito do déficit hídrico e os estádios fenológicos de desenvolvimento sobre a produção de grãos do feijão-caupi em casa de vegetação. Concluíram que os rendimentos de grãos e de vagens por planta foram reduzidos com o aumento do déficit hídrico, independentemente da etapa fenológica em que esse ocorreu, sendo que a queda de rendimento variou de acordo com a intensidade do déficit e com a etapa fenológica. Na etapa de crescimento, a queda de rendimento variou de 100% e 35%, para reposições de água de 20 e de 80%, respectivamente; ainda, nestas reposições, na etapa de floração, houve queda da produção que variou de 81% e 34%, enquanto na etapa de

frutificação a queda da produção variou de 73% e 32%. Ou seja, para esses autores a etapa mais sensível ao déficit hídrico foi a de crescimento.

Segundo Ribeiro et al. (2003), a cultura do feijão-caupi exige um mínimo de 300 mm de precipitação para que produza a contento, sem a necessidade de utilização da prática da irrigação. As regiões com pluviosidade entre 250 e 500 mm anuais são consideradas aptas para a implantação da cultura. Entretanto, a limitação em termos hídricos encontra-se mais diretamente condicionada à distribuição do que à quantidade total de chuvas ocorridas no período.

Aguiar et al. (1992) conduziram um experimento em Bragança, PA, com o objetivo de avaliar o consumo de água da cultura do feijão-caupi em regime de irrigação, concluindo que uma lâmina de 305,7 mm era o requerido para a maior produtividade.

Já Andrade Júnior et al. (2002) avaliaram os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão caupi BR 17 Gurguéia e BR 14 Mulato, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí. Concluíram que o maior número de vagens por planta, NVP (25,6), e a máxima produtividade de grãos secos, PG (2.809 kg ha⁻¹), para a cultivar BR 17 Gurguéia foram obtidos com a lâmina de irrigação correspondente a 449,1 mm. Para a cultivar BR 14 Mulato, os valores máximos de NVP (15,0) e PG (2.103,4 kg ha⁻¹) foram obtidos com as lâminas de irrigação relativas a 363,5 e 389,9 mm, respectivamente.

Moura et al. (2009) conduziram um experimento em Petrolina, PE, com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de quatro lâminas de irrigação sobre o rendimento de grãos de feijão-caupi da cultivar Pujante. Os autores concluíram que a lâmina de água equivalente a 75% da evapotranspiração de referência (ET₀), que correspondeu a 420,8 mm, não apresentou diferença significativa quando comparada com 100% e 125% da ET₀.

Brito et al. (2009) avaliaram os efeitos da irrigação e da adubação orgânica na cultura do feijão-caupi, cultivar BRS Pujante, em Petrolina, PE, obtendo uma produtividade de grãos secos de 1.422,5 kg ha⁻¹ com a aplicação de 398 mm de água associados com 24 kg de esterco bovino por metro de sulco. Bastos et al. (2008), nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurguéia, PI, observaram, durante o ciclo do feijão-caupi, o consumo hídrico médio de 4 mm d⁻¹, com o estágio de florescimento e enchimento dos grãos apresentando a maior demanda hídrica (5,4 mm d⁻¹).

Em estudo do comportamento da cultivar BRS Novaera sob quatro lâminas de irrigação e doses de fósforo, em Boa Vista, RR, Oliveira et al. (2011b) observaram que a menor lâmina aplicada (187 mm) promoveu redução de 43,3% na produtividade de grãos do feijão-caupi, independente da dose de adubação fosfatada, em comparação com a lâmina de 273,4 mm.

Blanco et al. (2011) avaliaram a resposta de milho verde e de feijão-caupi, cultivados em consórcio, à lâminas de irrigação e doses de fósforo, em Teresina, PI. Constataram a ausência de efeito das doses de P_2O_5 ; porém, a resposta às lâminas de irrigação foi quadrática em milho e linear em feijão-caupi, sendo que a máxima produtividade de grãos verdes de feijão-caupi (3.400 kg ha^{-1}) foi obtida com a maior lâmina de água aplicada (irrigação e chuva), ou seja, 644 mm.

A evapotranspiração média diária da cultura do feijão-caupi encontrada por Lima (2006), quando estudava o balanço hídrico no solo cultivado com esta cultura, foi de 4,12 mm, coincidindo o maior consumo de água com a fase reprodutiva da planta.

Bezerra et al. (2003), induzindo o déficit hídrico com a aplicação de metade da lâmina usada para o tratamento sem déficit, observaram que o estágio de enchimento de grãos foi o mais sensível à escassez de água, e que durante todo o ciclo da cultura, o déficit hídrico causou uma redução de 59% na produtividade de grãos.

Adekalu et al. (2008) avaliaram a produção de feijão-caupi por meio de modelagem em Ile-Ife, Nigéria, e concluíram que um fator de disponibilidade de água no solo (f) igual a 40% é o que permite o manejo da irrigação mais eficiente para a região analisada.

Saber qual a quantidade de água a ser aplicada é imprescindível para o manejo racional da irrigação. Para tanto, utiliza-se o coeficiente de cultura (K_c) para estimar a demanda de água pela cultura. Andrade Júnior et al. (2000), em pesquisa realizada nas áreas experimentais da Embrapa Meio Norte de Teresina e Parnaíba, PI, encontraram o coeficiente de cultura para o feijão-caupi variando de 0,5 a 1,05 e 0,7 a 1,12, respectivamente. Em pesquisa com feijão-caupi conduzida no Ceará, Souza et al. (2005) obtiveram o k_c variando de 0,42 a 1,52. Bastos et al. (2008), no Vale do Gurugúia, PI, utilizando lisímetro de pesagem encontraram o K_c para essa cultura oscilando entre 0,8 a 1,4. Ferreira et al. (2008), em pesquisa conduzida em Teresina, PI, obtiveram valores de K_c para o feijão-caupi igual a 0,7 na fase inicial, 0,7 a 0,8 na fase de crescimento, 0,8 a 1,06 na fase reprodutiva e 0,6 na fase final.

Duarte et al. (2009), em experimento conduzido em Teresina, PI, com a cultivar BRS Guariba, obtiveram os valores de Kc variando de 0,5 a 1,3. Já Bastos et al. (2010), com o objetivo de determinar o Kc para a cultura do feijão-caupi, cultivar BR-17 Gurguéia para o estado do Piauí, conduziram um experimento em três áreas experimentais da Embrapa Meio-Norte (Teresina, Parnaíba e Alvorada do Gurguéia), encontrando os valores de 0,6 a 0,7; 0,7 a 1,1; 1,1 a 1,3 e 0,6 nas fases inicial, crescimento, reprodutiva e final, respectivamente.

2.1.3 Componentes de produção

Dentre os diversos componentes de produção, a altura da planta (AP), o comprimento da vagem (CV), o número de vagens por planta (NVP), o número de grãos por vagem (NGV) e a produtividade de grãos (PG), são comumente avaliados em experimentos com feijão-caupi.

Oliveira et al. (2011b), estudando a cultura do feijão-caupi, averiguaram que os componentes de produção CV, NGV e PG apresentaram acréscimos significativos à medida que se aumentavam as lâminas de irrigação. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2000) para as características PG e NVP e, por Bezerra et al. (2003) para NVP e NGV.

Para Andrade Júnior et al. (2002), ao analisarem a cultura do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação nas condições edafoclimáticas do Piauí, identificaram que o componente de produção NVP apresentou a maior variabilidade positiva em resposta ao aumento de produtividade de grãos.

Lima (1996) *apud* Ramos (2011) avaliou o efeito de cinco níveis de água disponível no crescimento e na produtividade de grãos do feijão-caupi e também observou que o número de vagens por planta diminuiu com o aumento do estresse hídrico. Este comportamento pode ser explicado, no entender de Leite et al. (2000), como um dos mecanismos de resistência à seca utilizada por essa planta, produzindo menor quantidade de vagens como busca de melhores condições para superar a escassez de água. Com a baixa disponibilidade de água no solo a planta tende a diminuir a quantidade de folhas, minimizando a evapotranspiração e a produção de fotoassimilados.

2.2 Manejo da irrigação

A irrigação tem como finalidade básica disponibilizar água às culturas de forma a suprir as exigências hídricas durante todo seu ciclo, possibilitando maiores produtividades e produtos de boa qualidade. Ressaltando-se que a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, da produtividade desejada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio (BERNARDO, 2008).

A água é um dos fatores mais indispensáveis para a produção agrícola, sendo que sua falta ou excesso afeta o rendimento das culturas significativamente, tornando-se necessário o manejo racional para maximizar a produção (MORAIS et al., 2008).

Com o mau uso e a escassez dos recursos hídricos, é imperativo que se busquem alternativas para o aumento da eficiência do uso da água, adotando-se o manejo racional da irrigação, o que permite, entre outros, determinar o “quando irrigar” e “quanto de água aplicar”. Com isto, o produtor rural deixaria de aplicar lâminas de água de maneira aleatória, passando a atender a necessidade de água das plantas na quantidade e no momento adequados. Para tanto, estão disponíveis diversas tecnologias de manejo da irrigação que possibilitam melhor utilização dos recursos hídricos no processo de produção agrícola.

Neste sentido, Gondim et al. (2000) conduziram um experimento em Pentecoste, CE, com o objetivo de avaliar o uso de algumas tecnologias de manejo da irrigação. Para tanto, utilizaram o tensiômetro de mercúrio, o tanque Classe A e a equação de Hargreaves na determinação da lâmina de água a ser aplicada na irrigação do feijão-caupi. Constataram economia de água no uso do tensiômetro, de 28 e 23%, em relação à utilização do tanque Classe A e equação de Hargreaves, respectivamente, embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre as produtividades alcançadas em todos os tratamentos.

Contin (2008), comparando a recomendação de irrigação de algumas tecnologias de manejo da irrigação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) em Viçosa, MG, verificou que não houve diferença estatística entre as recomendações do irrigâmetro, tanque Classe A e balanço hídrico com uso dos programas computacionais Ref-ET (ALLEN, 2000) e Irriplus (MANTOVANI et al, 2007), e o método de manejo baseado na determinação da umidade do solo com uso de estufa.

Pavani et al. (2008) avaliaram a tensiometria e o tanque Classe A como métodos de manejo da irrigação do feijoeiro comum, nos sistemas de plantio direto e convencional, em Jaboticabal, SP. Obtiveram maiores produtividades de grãos e eficiência do uso da água no plantio convencional com irrigação manejada com tanque Classe A, sendo que no plantio direto sobressaiu-se a tensiometria.

Cunha (2009) avaliou o desempenho do tensiômetro, do tanque Classe A e da equação de Penman-Monteith como métodos de manejo da irrigação do feijoeiro comum cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária em Santo Antônio de Goiás, GO. Verificou diferenças significativas quanto à produtividade, número de grãos por vagem e altura de plantas em relação aos métodos de manejo, tendo o tanque Classe A propiciado maiores produtividades, em decorrência da maior lâmina total e das maiores frequências de irrigação. No entanto, observou que este método não foi eficiente para estimar a evapotranspiração de referência no período chuvoso. O manejo por tensiometria ocasionou redução de 40% na lâmina total de água aplicada no feijoeiro em relação à recomendação com a equação de Penman-Monteith, mas apresentou reduções significativas na produtividade. O método padrão Penman-Monteith FAO 56 estimou lâminas intermediárias.

Lopes et al. (2011), em pesquisa conduzida em Aquidauana, MS, avaliaram o efeito sobre o feijoeiro comum cultivado em sistema de plantio direto, decorrente da variação de doses de nitrogênio e manejo da irrigação realizado com o método do Tanque Classe A, equação de Hargreaves-Samani e Tensiometria. Concluíram que os manejos de irrigação a partir da estimativa da evapotranspiração de referência pelo método do tanque Classe A e Hargreaves-Samani, proporcionam menores lâminas de irrigação e maiores valores de produtividade de grãos e do número de grãos por vagem em relação ao manejo por tensiometria. Este resultado destoa do encontrado por Lopes et al. (2004), quando verificaram que o manejo com tensiômetro resultou em menor quantidade total de água, o que significou uma economia de 15% em relação à lâmina total média de irrigação aplicada no tratamento manejado com o tanque Classe A.

Carvalho et al. (2010), com o interesse de comparar a evapotranspiração da cultura utilizando os métodos de Penman-Monteith, Hargreaves e Priestley-Taylor, desenvolveram pesquisa com o feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em Recife, PE. Observaram que os métodos de Hargreaves e Priestley-Taylor

superestimaram a evapotranspiração da cultura em relação a Penman-Monteith (Método padrão).

Com o objetivo de comparar os métodos do tanque Classe A e Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração de referência, Fernandes e Turco (2003) conduziram um experimento em Jaboticabal, SP, com o intuito de obter a evapotranspiração da cultura e determinar a quantidade de água a ser utilizada nas irrigações da soja. Concluíram que a quantidade de água aplicada não foi determinante para a maior produtividade de grãos e sim a frequência da irrigação. Para esta cultura e condição edafoclimática, o método do tanque Classe A superestimou o de Penman-Monteith tanto na quantidade de água a ser aplicada como no número de irrigações.

Carvalho (2009) conduziu um experimento em Botucatu, SP, cujo objetivo era avaliar três métodos de manejo de irrigação do feijoeiro comum nos sistemas plantio direto e convencional, a saber: tensiometria, tanque “Classe A” e pela evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith. Concluiu-se que os métodos de manejo avaliados diferiram entre si no plantio convencional e todos apresentaram produtividades significativamente superiores à da testemunha não irrigada; que nos tratamentos irrigados, a maior média de produtividade foi verificada para o sistema plantio convencional utilizando o método do tanque Classe A; no entanto, este método superestimou em 17% a lâmina de água recomendada pelo tensiômetro. Já no sistema plantio direto, não houve diferença significativa na média de produtividade, entre todos os métodos de manejo da irrigação.

Um aparelho de criação recente destinado ao manejo da irrigação é o Irrigâmetro. Trata-se de um aparelho evapo-pluviométrico que visa otimizar o uso da água na agricultura irrigada.

Objetivando testar o Irrigâmetro para estimar a evapotranspiração de referência comparativamente com o método de Penman-Monteith – FAO 56, e confrontar o seu desempenho com os métodos Penman modificado – FAO 24, Radiação – FAO 24, tanque Classe A e Hargreaves-Samani, Oliveira et al. (2008) conduziram um experimento em Viçosa, MG. Verificaram que o Irrigâmetro apresentou desempenho satisfatório para estimar a ETo em todos os intervalos de tempo estudados. Os métodos de Penman modificado, Radiação e Hargreaves-Samani, superestimaram os valores da ETo obtidos pelo método de Penman-Monteith, tendo o tanque Classe A apresentado comportamento oposto.

Tagliaferre et al. (2010) avaliaram o desempenho do Irrigâmetro no manejo da água de irrigação comparativamente ao uso dos métodos padrão de estufa, tensiômetro, Bouyoucos, estação meteorológica automática e tanque Classe A, conduzido em Viçosa, MG, com a cultura do feijoeiro comum. Observaram que o desempenho do Irrigâmetro no manejo da água de irrigação foi semelhante aos dos demais métodos estudados; os métodos que estimam a evapotranspiração da cultura superestimaram a lâmina de irrigação recomendada pelo método padrão de estufa, ocorrendo comportamento contrário para os métodos que avaliam a umidade do solo.

Oliveira et al. (2011a) analisaram o desempenho do irrigâmetro utilizado no manejo da irrigação do girassol, em Jaíba, MG. Concluíram que o uso do irrigâmetro mostrou-se satisfatório no manejo da irrigação daquela cultura.

Com o objetivo de avaliar o Irrigâmetro para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0) e comparar os métodos de FAO-Penman-Monteith, FAO-Penman Modificado, FAO-Radiação, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, em relação ao método do lisímetro de lençol freático constante, Tagliaferre et al. (2011) conduziram um experimento em Viçosa, MG. Concluíram que o Irrigâmetro pode ser indicado para utilização no manejo da água na agricultura irrigada, por apresentar resultados de estimativa de ET_0 semelhantes aos métodos recomendados nos Boletins FAO 24 e 56. Verificaram que, exceto o Tanque Classe A, todos os métodos estudados proporcionaram superestimativa da evapotranspiração de referência, obtida no lisímetro de lençol freático constante.

Giovanelli et al. (2010a), em experimento conduzido em Viçosa, MG, com o fim de comparar diferentes métodos de manejo da irrigação para a cultura do feijão comum, utilizou o Irrigâmetro, o tanque Classe A e o balanço hídrico com o uso do programa REF-ET (ALLEN, 2000), nos plantios direto e convencional. Verificaram que o Irrigâmetro foi mais eficiente para o plantio direto quando comparado com o plantio convencional, que apresentou uma produtividade 38% menor; já os valores médios de evapotranspiração obtidos pelos diferentes métodos de manejo de irrigação não apresentaram diferença significativa.

Com o intuito de comparar o Irrigâmetro com diferentes métodos de manejo da irrigação em condições de ambiente protegido, incluindo-se o tanque classe A, o Irrígrafo e a estimativa da evapotranspiração através do programa computacional REF-ET (ALLEN, 2000), na cultura de alface plantada em casa de vegetação, Giovanelli et al. (2010b) conduziram estudo em Viçosa, MG, que permitiu a

conclusão que os métodos utilizados para estimar a evapotranspiração da cultura não diferiram estatisticamente entre si, à exceção do Irrígrafo que não conseguiu ajuste para as condições da pesquisa.

O Irrígrafo, a exemplo do Irrigâmetro, é uma nova tecnologia de manejo da irrigação desenvolvida na Universidade Federal de Viçosa. Trata-se de um gráfico construído a partir de dados de solo, planta e sistema de irrigação que permite indicar o momento e o tempo adequados para a aplicação de lâmina de água, prescindindo de cálculos. Para tanto, há que se determinar a umidade atual do solo antes de cada evento de irrigação.

Oliveira et al. (2011c) avaliaram o desempenho do irrigâmetro em relação a outros métodos de determinação da evapotranspiração da cultura do feijoeiro, com fins de manejo da irrigação em Viçosa, MG. Testaram os métodos do irrigâmetro, método padrão de estufa (MPE), tanque Classe A, estimativa da evapotranspiração através dos programas computacionais REF-ET (ALLEN, 2000) e Irriplus (MANTOVANI et al., 2007). Embora não tenha havido diferença estatística entre as recomendações de lâminas de irrigação pelos diferentes métodos, o irrigâmetro apresentou uma recomendação de irrigação 10,1% superior ao MPE, o uso do programa computacional REF-ET apresentou uma recomendação de irrigação 20% inferior ao MPE, o programa computacional Irriplus recomendou lâmina de irrigação 17,9% inferior ao MPE, enquanto o tanque Classe A apresentou uma recomendação de irrigação 12% inferior ao MPE.

Gabieiro et al. (2006), objetivando avaliar métodos de manejo da irrigação na cultura da alface, conduziram um experimento em Viçosa, MG, utilizando lisímetro, tensiômetro e o *software* Irriplus (MANTOVANI et al., 2007) em ambientes protegido e não protegido. Observaram a ausência de diferença estatística tanto no peso fresco da alface entre os tratamentos como nas lâminas de irrigação recomendadas pelos diferentes métodos de manejo estudados.

Lopes (2006) realizou um estudo em Jaboticabal, SP, para avaliar dois métodos de manejo de irrigação, um por tensiometria e outro pelo tanque Classe “A”, em uma área irrigada com pivô central conjugados com os sistemas plantio direto e convencional, com a cultura do feijoeiro comum. O manejo de irrigação realizado com o tanque Classe A proporcionou maior lâmina total de irrigação e maior umidade do solo. Os melhores resultados de componentes de produtividade foram encontrados para as combinações de plantio convencional com manejo de irrigação

pelo método do tanque Classe “A” e sistema plantio direto com manejo de irrigação pelo método de tensiometria; os dois manejos de irrigação aplicados se mostraram bons métodos para o manejo da irrigação na cultura do feijoeiro.

Faria et al. (2011) conduziram pesquisa em Jaboticabal, SP, com a finalidade de analisar qual o manejo mais adequado para a obtenção de maior produtividade para a cultura do feijoeiro comum. Para tanto, testaram o tanque Classe A e o tensiômetro como métodos de manejo da irrigação. Concluíram que a tensiometria, além de ter recomendado lâmina de água 8,4% inferior à recomendada pelo tanque Classe A, apresentou maior produtividade de grãos.

2.3 Análise econômica

A análise econômica e financeira em projetos agropecuários tem sua importância e interesse na medida em que auxilia os produtores na tomada de decisão de um investimento e na avaliação das condições financeiras da empresa rural.

Para fins desta análise, “projeto” pode ser definido pelo conjunto de informações internas e externas à empresa agropecuária, coletadas e processadas com o objetivo de analisar uma decisão de investimento, cuja elaboração procura simular essa decisão e suas implicações, constituindo, portanto, um elemento fundamental no processo (WOILER e MATHIAS, 1996).

Mendonça et al. (2009) relatam que a análise de projetos é de vital importância na condução das decisões de investimento, sobretudo nos agropecuários. Isto porque o investimento agrícola está sujeito a grande variabilidade em seu retorno, uma vez que os produtos agrícolas estão sujeitos a grandes oscilações de oferta e, conseqüentemente, de preços.

Estudos de análise econômica na área da agricultura irrigada têm se intensificado, mormente com o intuito de obter maiores produtividades com menor utilização do insumo água. Pois, além dos gastos inerentes ao recalque da água de irrigação, há que se mencionarem custos com a outorga desta água. Para Rigby et al. (2010), com a crescente escassez de água doce, tem-se focado na alocação de água entre os usuários irrigantes, sendo que a cobrança pelo uso da água na irrigação é interpretado como um meio de melhorar a sua utilização e promover a sua conservação. Daí sobressaindo-se a necessidade da análise econômica da adoção da tecnologia da irrigação.

Para Espíndula Neto (2007) os resultados do estudo da viabilidade econômica de um projeto de irrigação trazem ao produtor as informações necessárias referentes aos procedimentos no desenvolvimento da adoção da irrigação, tal como atenção aos componentes de manutenção do sistema. Pois, conforme Silva et al. (2007), a irrigação é uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos agrícolas, tornando importante o estudo econômico dos componentes envolvidos no sistema. E, segundo Vilas Boas et al. (2011), a determinação da viabilidade econômica de um empreendimento que se inicia é fundamental para o seu sucesso.

Assim, Andrade Júnior (2000) estudou a viabilidade da irrigação na cultura do feijão-caupi sob risco climático e econômico, nas condições edafoclimáticas das microrregiões do Litoral Piauiense e de Teresina, PI. Percebeu que a irrigação da cultura de feijão-caupi apresentou viabilidade econômica para diversas combinações entre épocas de semeadura, níveis de manejo de irrigação e níveis de risco, e que os preços de venda dos produtos exerceram uma influência maior que os preços das tarifas de energia elétrica na definição da viabilidade econômica da irrigação.

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da irrigação da cultura do feijão-caupi no estado do Piauí, Mousinho (2005) utilizou técnica de simulação considerando cultivos irrigados e em sequeiro. Observou que o cultivo irrigado foi economicamente viável independentemente da data de semeadura e do grau de risco. O cultivo de sequeiro foi apresentado como economicamente viável para algumas combinações de localidades no estado do Piauí, data de semeadura e risco, estando mais condicionado à escolha dos locais e épocas de cultivos mais adequados, haja vista a grande variabilidade temporal e espacial das chuvas.

Jobim et al. (2009) conduziram um experimento em Santa Bárbara do Sul, RS, com o objetivo de quantificar a renda líquida da lavoura irrigada de feijão e avaliar, economicamente, o sistema de irrigação por pivô central visando analisar sua viabilidade. Concluíram que a irrigação do feijoeiro comum nas condições ecoclimáticas do Planalto Médio, cultivada em sistema melhorado em plantio direto mecanizado, mostrou-se economicamente viável.

Blanco et al. (2004) estudaram uma metodologia para avaliação da viabilidade econômica da implantação de sistemas de irrigação em pomares de manga em produção, a qual foi aplicada para diferentes localidades do Estado de São Paulo. Concluíram que o custo de aquisição do equipamento de irrigação, associado à sua

vida útil, é o fator de maior sensibilidade na análise de viabilidade; contudo, não inviabilizou a adoção da tecnologia da irrigação.

Arêdes (2006) analisou a viabilidade econômica da implantação de alternativas tecnológicas de irrigação na produção de café em uma região tradicionalmente produtora, como em Viçosa, MG. Para tanto, estudou produções irrigadas e não-irrigadas. Concluiu que a cafeicultura irrigada é economicamente viável e superior à alternativa de produção não-irrigada, pois além de elevar o retorno econômico reduziu o risco na produção de café.

Objetivando analisar a viabilidade econômica da irrigação na cultura do maracujá, em frente à produção não-irrigada em regiões com índices pluviométricos favoráveis à produção, Arêdes et al. (2009) analisaram dados referentes à cidade de Paulínia, SP, concluindo que a irrigação da cultura do maracujá é economicamente viável e superior à alternativa não-irrigada, mesmo em regiões com índices pluviométricos favoráveis ao seu cultivo, visto que, além de ter elevado o retorno econômico, a irrigação ainda reduziu o risco da atividade.

De acordo com Frizzone e Andrade Júnior (2005), as decisões de investimento resultam de análises das posições econômicas no instante presente, intermediário e futuro. O levantamento dessas posições econômicas ao longo do tempo chama-se fluxo de caixa. Por este, faz-se a representação das contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro) ao longo do tempo.

O principal interesse em análise de investimento é medir os fluxos em valores reais, os quais podem ser obtidos de duas maneiras diferentes, conforme as pressuposições feitas quanto a preços: calcular os fluxos usando preços constantes, ou calcular os fluxos usando preços correntes e deflacioná-los usando o índice de inflação adequado. Quando os fluxos são calculados com base em preços constantes ao longo de todo o horizonte do projeto, usa-se, normalmente, o conjunto de preços observados na época em que se está elaborando o projeto, sendo que as pressuposições implícitas são de que os preços relativos dos insumos e produtos do projeto permanecerão inalterados durante todo o horizonte do projeto e que a taxa de inflação afeta igualmente os preços dos insumos e produtos. Os fluxos a preços correntes, por seu turno, baseiam-se em projeções de preços que consideram tanto as variações nos preços relativos como as variações devidas à inflação (FRIZZONE e ANDRADE JÚNIOR, 2005).

Noronha (1987) também destacou a adoção de preços variáveis (correntes) ou constantes no tempo no tangente aos valores monetários das variáveis de entrada e saída do fluxo de caixa, ao longo da vida útil do projeto. O autor enfatizou, ainda, que os preços constantes são mais utilizados em análises *ex-ante*, em razão dos erros de estimação, associados à adoção dos preços variáveis, e de sua simplicidade.

Para a realização da análise econômica, deve-se adotar uma taxa de desconto no fluxo de caixa. Esta é uma taxa de juros utilizada em avaliações que consideram a variação do capital no tempo, estabelecida a partir do valor máximo arbitrado pelo investidor, para remunerar o custo do capital (JOBIM et al, 2009). A taxa de desconto dependerá, em grande medida, da posição particular do investidor, ou seja, se o projeto é financiado por recursos próprios ou por terceiros. Neste sentido, Woiler e Mathias (1996) citam a determinação da taxa de desconto por meio do custo do capital emprestado ou pela média ponderada do capital próprio e de terceiros empregados no projeto. Assim, pode-se considerar uma taxa de desconto que tenha como referência o custo de oportunidade do capital investido na atividade sob consideração, ou seja, a rentabilidade obtida pelo investimento se ele fosse realizado em seu uso alternativo. Conforme Buarque (1991), essa seria a melhor forma de se determinar a taxa de desconto a ser considerada. Uma forma de se fazer isto seria adotar a taxa de juros do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Rural do Nordeste (FNE Rural), que financia projetos com uma taxa de 6,75% ao ano para os pequenos produtores rurais (BNB, 2011).

Quanto à escolha do horizonte temporal do projeto, Woiler e Mathias (1996) defendem que se deve levar em consideração a obsolescência do processo produtivo e a conseqüente necessidade de novos investimentos ou o ciclo de vida do produto.

Assim, com o fluxo de caixa estruturado pode-se partir para estudos das decisões sobre viabilidade econômica de um investimento. Estas decisões, segundo Matos (2002), resultam da estimativa e análise de indicadores de rentabilidade.

Como mencionado por Cardoso Sobrinho (2001), além da análise de rentabilidade considerada sob a ótica da teoria de investimentos, pode-se analisá-la sob a ótica da renda e do custo. Quando pela primeira, Noronha (1987) relata que os indicadores mais utilizados são a taxa interna de retorno, o valor presente líquido e a razão benefício/custo. Já pela segunda, pode-se utilizar da função de custo. Esta função, para Frizzone (2007), pode ser entendida como a relação entre a quantidade de água aplicada e o custo total de produção.

2.4 Eficiência do uso da água

Para Hatfield et al (2001), a eficiência do uso da água (EUA) representa um dado nível de produção de biomassa ou grãos por unidade de água utilizada pela cultura.

Com a crescente preocupação com a disponibilidade dos recursos hídricos para a agricultura, há um renovado interesse em tentar entender como a Eficiência no Uso da Água (EUA) pode ser melhorada e como os sistemas agrícolas podem ser modificados para serem mais eficientes no uso da água.

Em agricultura irrigada, a elevação e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexas e requerem conhecimentos e considerações interdisciplinares; no entanto, há meios para se elevar os valores de EUA, destacando-se o manejo adequado de irrigação (SOUSA et al., 2000). Pois, conforme Coelho et al. (2005), não adianta se ter um sistema de irrigação de alta eficiência se o manejo da irrigação é deficiente.

Moura et al. (2009), avaliando os efeitos da aplicação de quatro lâminas de irrigação sob o rendimento de grãos do feijão-caupi da cultivar Pujante em Petrolina, PE, observaram que a lâmina de água equivalente a 75% da evapotranspiração de referência (ET_0) não apresentou diferença estatística significativa quando comparada com 100% e 125% da ET_0 . No entanto, ao se analisar a eficiência do uso da água, constatou-se que a lâmina 75% mostrou-se mais eficiente, com $31,3 \text{ kg m}^{-3}$ de água aplicada.

Pavani et al. (2008) avaliaram dois métodos de manejo da irrigação, tensiometria e tanque classe A, conjugados com os sistemas plantio direto e convencional de manejo do solo com a cultura do feijoeiro, em Jaboticabal, SP, e verificaram que a EUA foi maior no manejo de irrigação com tanque classe A que no tensiômetro. Os autores entenderam que a maior disponibilidade de água no solo, ao longo do ciclo da cultura, proporcionada pelo manejo de irrigação baseado no TCA, levou a aumento relativo da evapotranspiração das plantas (13%) menos do que proporcional ao da produtividade de grãos (35%), o que resultou no aumento da EUA neste tratamento.

Souza et al. (2011) conduziram um experimento em Petrolina, PE, com o objetivo de analisar a resposta produtiva, a eficiência do uso de água e a viabilidade de cultivos de milho e de feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado

nas condições climáticas do Semiárido brasileiro. Entre suas conclusões pode-se mencionar que a eficiência de uso de água das culturas do milho e do feijão-caupi foi superior no plantio exclusivo em relação ao consorciado, e que a aplicação da lâmina de irrigação correspondente a 75% da evapotranspiração de referência, para o feijão-caupi durante a fase de floração, resultou na eficiência máxima do uso da água.

Bizari et al. (2011), com o objetivo de avaliar a eficiência do uso da água na cultura do feijoeiro comum irrigado por aspersão convencional, nos sistemas de plantio direto e convencional, conduziram um experimento em Campinas, SP. Concluíram que as plantas do feijoeiro no sistema plantio direto apresentaram os menores valores de evapotranspiração e maior produtividade de grãos, sendo, portanto, esse sistema mais eficiente no uso da água quando comparado ao plantio convencional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O presente estudo foi conduzido com a cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L). Walp.), no Campo Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Codó, localizado no município de Codó, MA, com coordenadas geográficas de 4° 26' 51" S, 43° 52' 57" O e com altitude de 48 m.

O clima da região dos cocais maranhenses é, segundo a classificação de Köppen, do tipo Aw, ou seja, megatérmico úmido e sub-úmido de inverno seco.

Nas Figuras 1 e 2 pode-se observar as variações diárias das temperaturas máxima e mínima do ar e da umidade relativa do ar média durante o cultivo do feijão-caupi nas épocas da primavera (primeiro cultivo – antecedendo o período chuvoso) e outono (segundo cultivo – terço médio final do período de chuvas), respectivamente. Percebe-se que no cultivo realizado na primavera, a temperatura do ar máxima é levemente superior à do cultivo no outono, sendo que a umidade relativa do ar média e a precipitação pluvial foram menores durante a primavera em relação ao outono, Figuras 3 e 4. A precipitação total durante o cultivo da primavera foi de 74,4mm, enquanto no outono foi de 142,4mm.

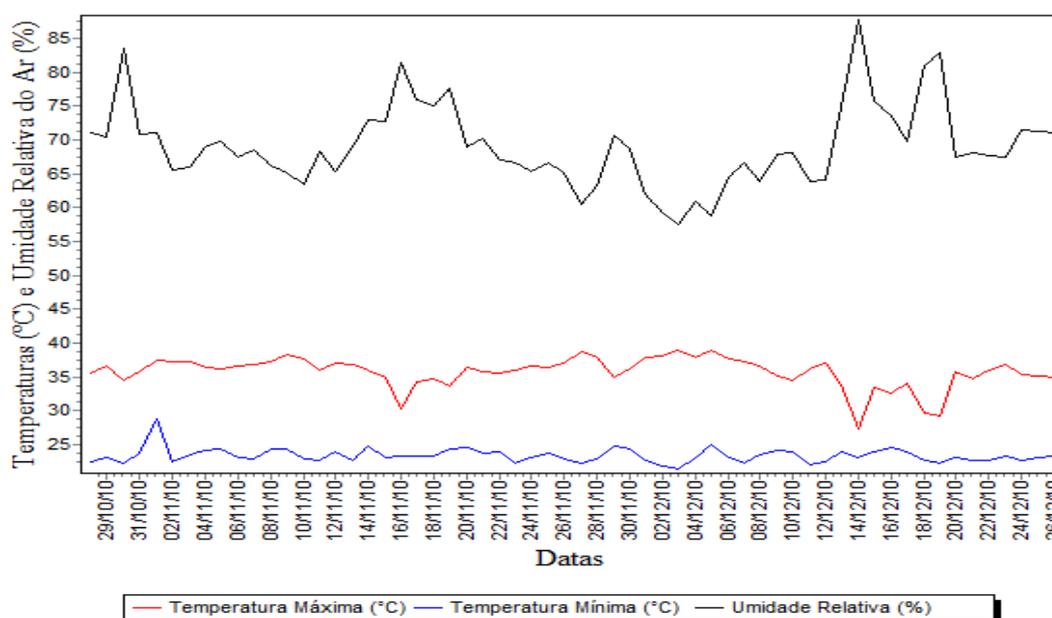


Figura 1. Variação diária das temperaturas máxima e mínima do ar (°C) e da umidade relativa do ar média (%) para a época do cultivo da primavera.

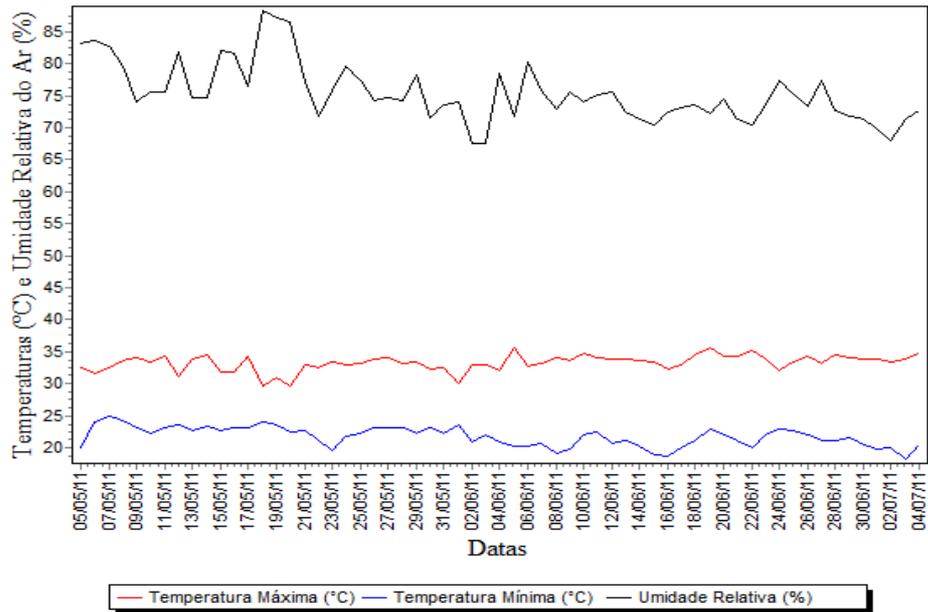


Figura 2. Variação diária das temperaturas máxima e mínima do ar (°C) e da umidade relativa do ar média (%) para a época do cultivo do outono.

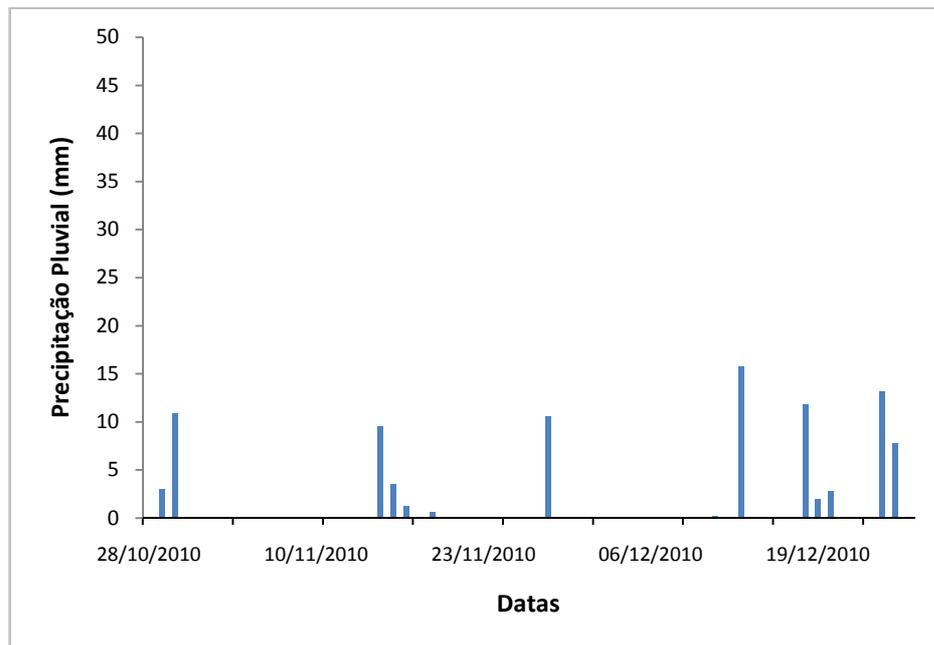


Figura 3. Precipitação pluvial diária durante a época do cultivo do feijão-caupi na primavera.

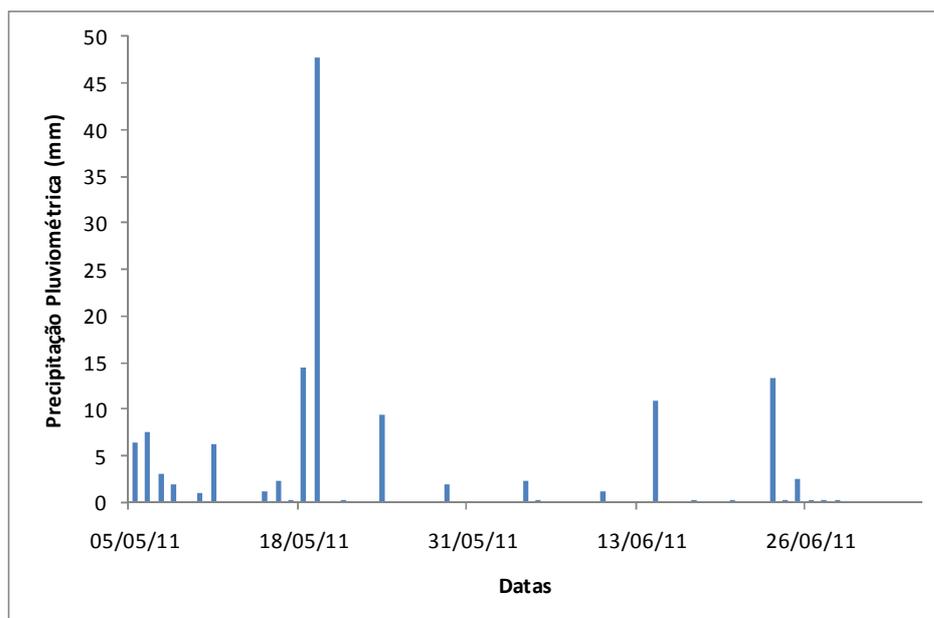


Figura 4. Precipitação pluvial diária durante a época do cultivo do feijão-caupi no outono.

O solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico. Para caracterização química do solo, foram coletadas amostras de solo deformadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal de Viçosa, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental.

Profundidade (m)	pH (H ₂ O)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	MO (dag kg ⁻¹)
				(cmolc dm ⁻³)				
0 – 0,20	5,9	6,0	40	1,2	0,4	0,0	1,49	2,0

Para caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras de solo indeformadas nas camadas de 0 a 0,20m e 0,20 a 0,40m de profundidade, e encaminhadas ao Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal de Viçosa, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Como se pode observar, o solo da área experimental apresentou textura muito arenosa e, por consequência, os teores de água na capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram baixas, porém condizentes com a classe textural.

Tabela 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental

Profundidade (m)	Cc	Pm	Ds	Argila	Silte	Areia Grossa	Areia Fina	Classe Textural
	(kg kg ⁻¹)		(kg dm ⁻³)	(dag kg ⁻³)				
0 – 0,20	0,066	0,023	1,66	8	2	49	41	Areia
0,20 – 0,40	0,067	0,026	1,65	9	1	47	43	Areia

Os dados para o traçado das curvas de retenção de água no solo (Figura 5) foram obtidos nas tensões iguais a 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 500 e 1500 kPa, utilizando-se mesa de tensão e extrator de Richards. A curva de retenção de água no solo referente a cada profundidade de amostragem foi obtida com base na equação de ajuste proposta por Van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

em que

Ψ_m = potencial matricial, kPa;

θ_r = teor de água residual no solo, m³m⁻³;

θ_s = teor de água do solo saturado, m³m⁻³; e

α , m e n = parâmetros empíricos da equação, kPa⁻¹.

Os parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980) para a descrição das curvas de retenção de água no solo foram obtidos com uso do programa computacional SWRC – Soil Water Retention Curve 3.0 (DOURADO NETO et al., 2001), que emprega o método iterativo de Newton-Raphson, estimando os cinco parâmetros θ_r , θ_s , α , m e n independentemente (CASTRO, 2001), e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de teor de água no solo saturado (θ_s) e teor de água residual no solo (θ_r) e dos parâmetros (α , m e n) do modelo de Van Genuchten (1980) para o solo utilizado no experimento.

Profundidade (m)	θ_s (m ³ m ⁻³)	θ_r (m ³ m ⁻³)	α	m	n
0 – 0,20	0,850	0,037	2,2783	0,2278	3,2821
0,20 – 0,40	0,686	0,041	2,0341	0,2250	3,3248

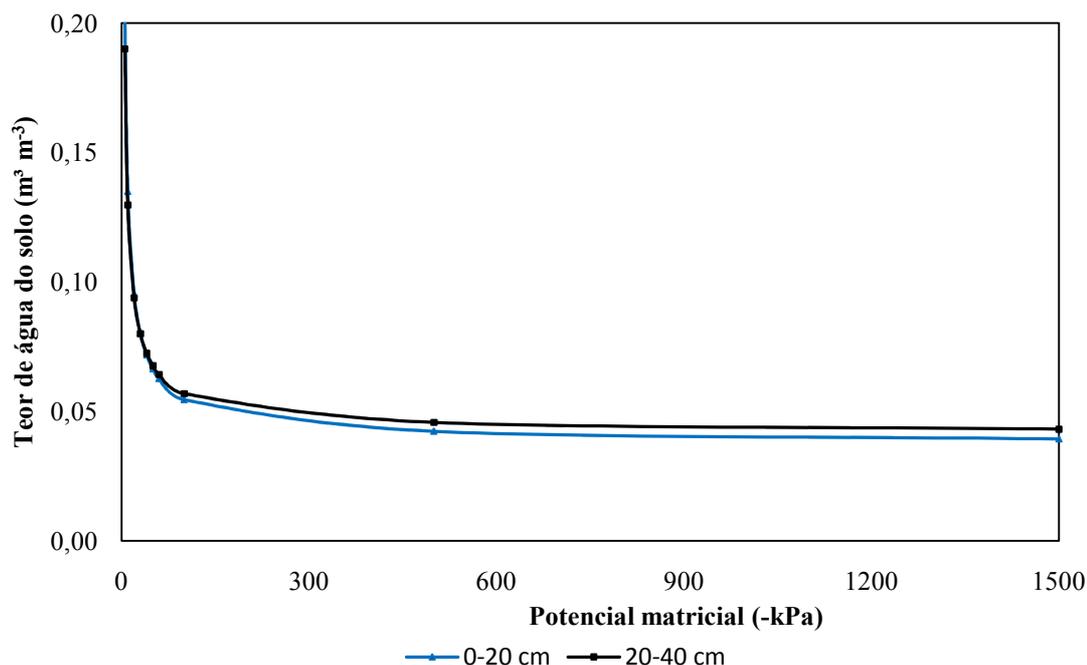


Figura 5. Curvas de retenção de água no solo, ajustadas pelo modelo de van Genuchten, para as camadas de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40m de profundidade.

3.2 Instalação da cultura

A cultura utilizada nesta pesquisa foi o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar BR 17 Gurguéia, pertencente à Classe Cores, Sub-classe Sempre Verde. Seu porte é semi-enramador, ciclo de 65 a 80 dias e produtividade de grãos esperada de 2.000 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO, 2005). O padrão de qualidade das sementes foi de 99% de pureza e 80% de poder germinativo. Estas foram tratadas com Derosal Plus (carbendazin + tiran).

O preparo do solo foi realizado com uma aração e uma gradagem. De acordo com a análise química do solo (Tabela 1), não houve necessidade de correção da acidez do solo, haja vista que a saturação de bases foi de 53%. Conforme Freire Filho et al. (2005), para esta cultura, a saturação de bases deve ser, no mínimo, 50%.

Com base na análise química do solo, fez-se a adubação seguindo a recomendação de Freire Filho et al. (2005). Foram aplicados no plantio: 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 30 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

Foram efetuados dois cultivos, um na primavera (período com precipitação pluvial baixa) e o outro no outono (terço médio final da época de chuvas). Os dois

plantios ocorreram porque se intencionou fazer um plantio para ser conduzido com irrigação total e outro com irrigação suplementar.

O espaçamento adotado foi de 0,60 m entre fileiras de plantas com dez plantas por metro na linha de plantio, correspondendo a uma população aproximada de 160.000 plantas por hectare.

A semeadura do cultivo da primavera foi realizada com utilização de semeadora manual (matraca) no dia 26 de outubro de 2010, sendo precedida de uma chuva de 12 mm. A irrigação foi iniciada a partir da data do plantio. A emergência das plântulas ocorreu cinco dias após o plantio. Dez dias após a emergência, fez-se o desbaste de modo que ficassem duas plantas por cova. A irrigação foi suspensa no dia 24 de dezembro de 2010, momento no qual cerca de 50% das vagens estavam amarelas, conforme orientação de Ribeiro (2003). Nos dias dois e três de janeiro de 2011, ocorreu a colheita manual das plantas.

A semeadura do cultivo do outono ocorreu no dia quatro de maio de 2011. Quatro dias após o plantio houve a emergência das plântulas, e oito dias após esta se procedeu com o desbaste de plantas. A suspensão da irrigação deu-se no dia quatro de julho de 2011, sendo a colheita realizada nos dias 11 e 12 de julho do mesmo ano.

O controle das plantas daninhas foi efetuado por meio de capina manual, e o controle fitossanitário foi realizado conforme recomendações técnicas.

Ao final de cada cultivo foram coletadas as plantas da área útil (3,84 m²) das parcelas experimentais, nas quais foram determinados: altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio das vagens e produtividade de grãos.

3.3 Tecnologias de manejo da irrigação

Este estudo avaliou algumas tecnologias de manejo da irrigação já consagradas no meio técnico, e outras relativamente recentes no mercado. Assim, segue uma sucinta descrição de cada tecnologia utilizada.

3.3.1 Determinação do teor de água do solo com forno de micro-ondas

Em relação à determinação da umidade do solo com uso da estufa, ganha-se em tempo para a obtenção do resultado, e mantém uma boa precisão na indicação da umidade do solo à qual a planta está submetida. No entanto, assim como no método padrão de estufa, a indicação da umidade do solo é pontual. Há necessidade de

realização de coletas de solo a cada verificação de necessidade de irrigação, além de necessitar de balança de precisão e forno de micro-ondas para manejar a irrigação.

Para uso deste método, antes de cada evento de irrigação, retiraram-se amostras de solo que foram pesadas e colocadas no forno, regulado na potência equivalente a 100%, durante cinco minutos, conforme recomendação de Tavares et al. (2008). O cálculo da lâmina de irrigação foi feito com uso da seguinte equação:

$$Li = \frac{(CC-Ua)}{10} \times Ds \times Z \quad (2)$$

em que

Li = lâmina de irrigação, mm;

CC = teor de água do solo na capacidade de campo, % em peso;

Ua = teor de água atual do solo, % em peso;

Ds = densidade do solo, g cm⁻³;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, cm (20 cm).

A lâmina total de água a ser aplicada pelo sistema de irrigação foi calculada por:

$$Lt = \frac{Li}{Ea} \quad (3)$$

em que:

Lt = lâmina total de irrigação, mm;

Ea = eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação, em decimal.

3.3.2 Tanque Classe A

O tanque Classe A é um evaporímetro que mede a evaporação em uma superfície de água livre, associada aos efeitos integrados da radiação solar, do vento, da temperatura e da umidade do ar (BERNARDO et al., 2006).

Esse é um método prático, não necessita de energia elétrica para o seu funcionamento, e é um equipamento relativamente rústico, não apresentando problemas com frequência. Por outro lado, apresenta perda de leituras em caso de transbordamento em dias de chuva excessiva, interferência de animais (principalmente pássaros) nas leituras de evaporação no tanque e necessita de dados climatológicos, como umidade relativa do ar e velocidade do vento, para seleção do coeficiente do tanque.

As leituras no tanque classe A foram realizadas diariamente. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi obtida por meio da seguinte equação:

$$ET_0 = K_t \times E_v \quad (4)$$

em que,

K_t = coeficiente do tanque, adimensional;

E_v = evaporação no tanque, mm.

O coeficiente do tanque foi determinado, conforme Allen et al. (1998), pela equação:

$$\begin{aligned} K_t = & 0,61 + 3,41 \cdot 10^{-3} UR_{med} - 0,162 \cdot 10^{-3} U_2 UR_{med} - 9,59 \cdot 10^{-6} U_2 R_{solo} + \\ & 3,27 \cdot 10^{-3} U_2 \ln(R_{solo}) - 2,89 \cdot 10^{-3} U_2 \ln(86,4 U_2) - \\ & 10,6 \cdot 10^{-3} \ln(86,4 U_2) \ln(R_{solo}) + 0,63 \cdot 10^{-3} [\ln(R_{solo})]^2 \ln(86,4 U_2) \end{aligned} \quad (5)$$

em que:

U_2 = velocidade média diária do vento a 2 m de altura, $m s^{-1}$;

UR_{med} = umidade relativa média, %; e

R_{solo} = menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura do solo nu, m.

Desse modo, pode-se calcular a evapotranspiração da cultura (ET_c) por meio da equação 6.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (6)$$

em que,

ET_c = evapotranspiração da cultura, $mm d^{-1}$;

K_c = coeficiente de cultura, adimensional.

Para a realização do balanço hídrico, considerou-se o coeficiente de umidade do solo (K_s) calculado pelo método logarítmico, conforme sugerido por Bernardo et al. (2006), e o coeficiente de cultura (K_c) foi o recomendado por Ferreira et al. (2008), sendo 0,7; 0,7-1,06; 1,06; 1,06-0,6 para os estádios I a IV.

3.3.3 Irrigâmetro

O Irrigâmetro é um aparelho evapo-pluviométrico utilizado no manejo da irrigação, visando otimizar o uso da água na agricultura irrigada. Trata-se de um equipamento de grande potencial de uso para irrigação, uma vez que introduz grande

simplicidade no manejo da água em áreas irrigadas, além de algumas vantagens, como o fornecimento de resposta prática às duas perguntas básicas do manejo de irrigação: quando e quanto irrigar (OLIVEIRA et al., 2008).

Após coletadas amostras de solo e realizada uma avaliação do sistema de irrigação instalado na área experimental, faz-se a seleção dos modelos de régua de manejo e temporal do irrigômetro, conforme Figura 6. Entretanto, neste estudo não houve a necessidade da seleção da régua temporal, devido à adaptação no sistema de irrigação utilizado.

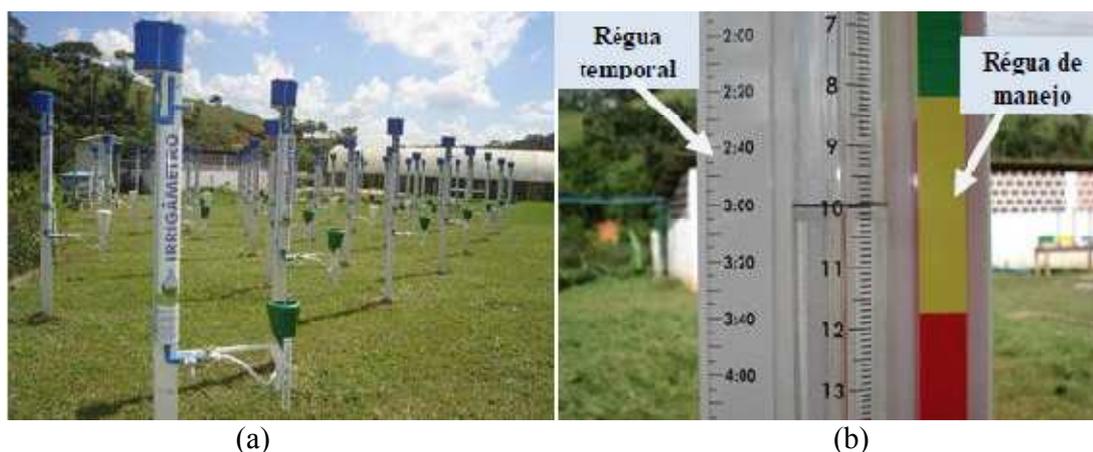


Figura 6. Detalhes do irrigômetro (a) e das régua temporal e de manejo (b).

Após os ajustes para o tipo de solo e de cultura, além das características do equipamento de irrigação (tipo de sistema, intensidade de precipitação, etc), o irrigômetro indica diretamente quando se deve irrigar a cultura e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação, sem a necessidade de efetuar cálculos, segundo metodologia apresentada por Oliveira e Ramos (2008). A necessidade de água da cultura do feijão-caupi em seus diferentes estádios de desenvolvimento foi estimada diretamente numa escala graduada existente no irrigômetro (Figura 6 b).

3.3.4 Tensiometria

A tensiometria utiliza sensores para indicar a tensão com que a água está retida no solo, a qual afeta a absorção de água pelas plantas, sendo usada para indicar o momento apropriado de se realizar as irrigações. Indiretamente, fornecem informações que possibilitam estimar a lâmina de água a ser aplicada a cada irrigação (MAROUELLI, 2008).

O manejo da irrigação por este método apresenta uma rapidez na tomada de decisão sobre aplicação de lâminas de água. Porém, além de medir tensões pontuais exige atenção especial no preparo, instalação e manutenção do equipamento.

Desta maneira, para esta pesquisa foram instalados após a emergência das plantas, na área experimental, dois tubos tensiométricos em cada parcela, com as cápsulas porosas nas profundidades de 0,10 e 0,30 m, representativas das camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, respectivamente (Figura 7). As irrigações ocorriam quando o potencial mátrico, medido com tensímetro digital de punção, na profundidade de 0,10 m, atingia o valor de - 40 kPa (GONDIM et al, 2000).



Figura 7. Tubos tensiométricos instalados na cultura do feijão-caupi, com as cápsulas porosas a 0,10 e 0,30 m de profundidade.

A tensão da água no solo, por sua vez, foi calculada pela seguinte equação:

$$T_s = |L| - 9,8 h \quad (7)$$

em que,

T_s = tensão da água do solo, em kPa;

L = leitura do vacuômetro, em kPa;

h = altura da coluna de água dentro do tubo tensiométrico, em m.

O tubo tensiométrico instalado a 0,30 m serviu como controle durante os eventos de irrigação. Portanto, foram realizadas observações diárias nas indicações dos tensiômetros com consequente verificação na curva de retenção de água no solo, procedendo-se ou não o cálculo de lâmina de água a ser aplicada.

A curva de retenção de água no solo referente a cada profundidade de amostragem foi obtida com base na equação de ajuste proposta por Van Genuchten (1980) e está apresentada na Figura 5.

Assim, obtendo-se a tensão da água do solo pela equação 7, estimava-se a umidade do solo por meio da equação 1 e a determinação das lâminas de irrigação com as equações 2 e 3.

3.3.5 Irrígrafo

O irrígrafo é uma nova tecnologia de manejo da irrigação, baseado na determinação do teor de água no solo. A exemplo do irrigâmetro, há necessidade de se coletar informações referentes ao solo, tipo de cultura e intensidade de aplicação de água do equipamento de irrigação para haver a seleção dos modelos de régua de manejo e temporal do gráfico do irrígrafo.

É um método prático que, após definido o gráfico, prescinde de cálculos de lâminas de água a aplicar, além de disponibilizar diretamente o momento de irrigar. Em contrapartida, as indicações da umidade do solo são pontuais, e há necessidade de mão de obra especializada para a obtenção de dados que permitam a construção do gráfico específico para aquela cultura e solo.

Desta maneira, para este estudo procedeu-se, diariamente, com coletas de amostras de solo à profundidade desejada, em três repetições na área total do experimento, para se determinar a umidade média do solo. Assim, o irrígrafo disponibilizou diretamente a lâmina de irrigação e o momento de irrigar o feijão-caupi. Na Figura 8 está apresentado o gráfico do irrígrafo utilizado na presente pesquisa, para a fase compreendida entre a emergência e 10% de cobertura do solo. Ressalta-se que a régua temporal foi omitida em virtude da adequação do método do irrígrafo ao sistema de irrigação utilizado. Portanto, ao invés de apresentar a régua temporal, há a indicação da lâmina de água a aplicar. A régua de manejo “CS 0.7” foi selecionada, sendo que o número se refere à Disponibilidade Total de Água no solo (DTA).

A régua temporal é selecionada a partir da intensidade de aplicação de água do equipamento de irrigação. Já a régua de manejo leva em consideração as informações do solo (teor de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, densidade do solo) e o tipo de cultura. Esta régua é composta por quatro faces, representando os estádios fenológicos de desenvolvimento da planta.

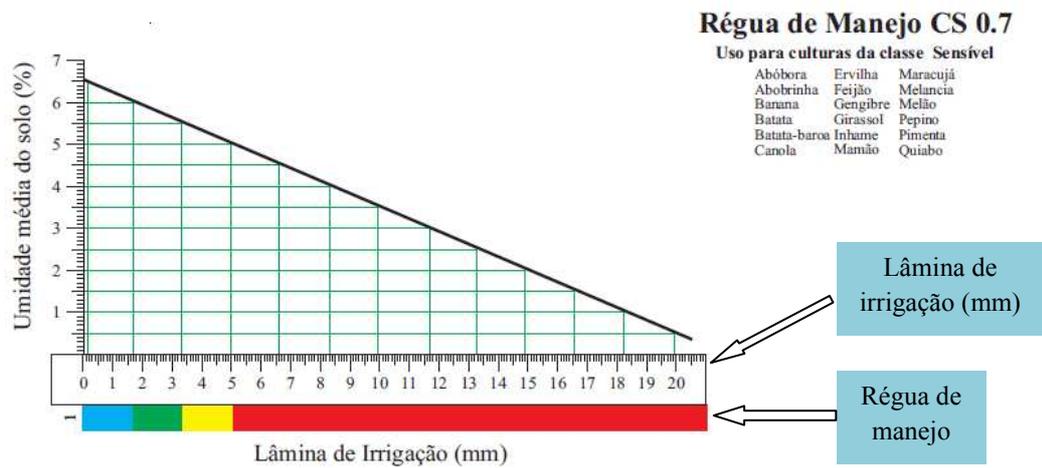


Figura 8. Apresentação do Irrígrafo, com substituição da régua temporal por régua indicativa da lâmina de irrigação.

3.3.6 Software Ref-ET

O programa computacional Ref-ET (ALLEN, 2000) foi utilizado no cálculo da evapotranspiração de referência para computar o balanço hídrico. Os dados de entrada foram advindos da estação meteorológica automática instalada na área experimental (Figura 8), a qual possui sensores de precipitação pluvial, velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperaturas do ar e radiação solar, dentre outros. Assim, a ET_0 foi calculada com dados diários pela equação de Penman-Monteith Padrão FAO, equação 8, conforme orientações de Allen et al. (1998).

$$ET_0 = \frac{0,408(Rn - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (8)$$

sendo:

ET_0 = evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ;

Rn = saldo de radiação à superfície, em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$;

G = fluxo de calor no solo, em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$;

T = temperatura do ar a dois metros de altura, em $^{\circ}\text{C}$;

U_2 = velocidade do vento à altura de 2 m, em m s^{-1} ;

e_s = pressão de vapor de saturação, em kPa;

e_a = pressão de vapor atual do ar, em kPa;

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor, em kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; e

γ = constante psicrométrica, em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Por meio do *software* Ref-ET (ALLEN, 2000), puderam ser realizados cálculos padronizados da evapotranspiração de referência (ET_0), haja vista a possibilidade de utilização da equação de Penman-Monteith Padrão FAO.



Figura 9. Estação meteorológica automática instalada na área experimental.

Para a realização do balanço hídrico, considerou-se o coeficiente de umidade do solo (K_s) calculado pelo método logarítmico, conforme sugerido por Bernardo et al. (2006), e o coeficiente de cultura (K_c) foi o recomendado por Ferreira et al. (2008).

3.3.7 Software Irriplus

O Irriplus é um programa computacional utilizado no gerenciamento da irrigação na agricultura irrigada (MANTOVANI et al, 2007). Com este *software* é possível fazer o acompanhamento de variáveis do solo, clima, irrigação e cultura, tais como umidade atual do solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, lâminas de irrigação aplicadas, K_c , graus dia, etc. Sugere o manejo da irrigação, fornecendo dados que facilitam a tomada de decisão.

Assim, para a devida condução desta pesquisa, os cadastros de solo, de cultura e do equipamento de irrigação, exigidos pelo programa, foram preenchidos e aferidos antes do plantio. Os dados climáticos exigidos pelo *software* foram advindos da estação meteorológica automática instalada na área. Por meio deste programa, fez-se o balanço hídrico permitindo o manejo da irrigação.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com sete tecnologias, duas épocas de cultivo e quatro repetições, conforme a Figura 10. Os tratamentos foram constituídos pelas lâminas recomendadas pelas diferentes tecnologias de manejo da irrigação, sendo T₁: Determinação da umidade do solo com forno de micro-ondas; T₂: Tanque Classe A; T₃: Irrigâmetro; T₄: Tensiômetro; T₅: Irrígrafo; T₆: Balanço hídrico com o *software* Ref-ET e T₇: Balanço hídrico com o *software* Irriplus.

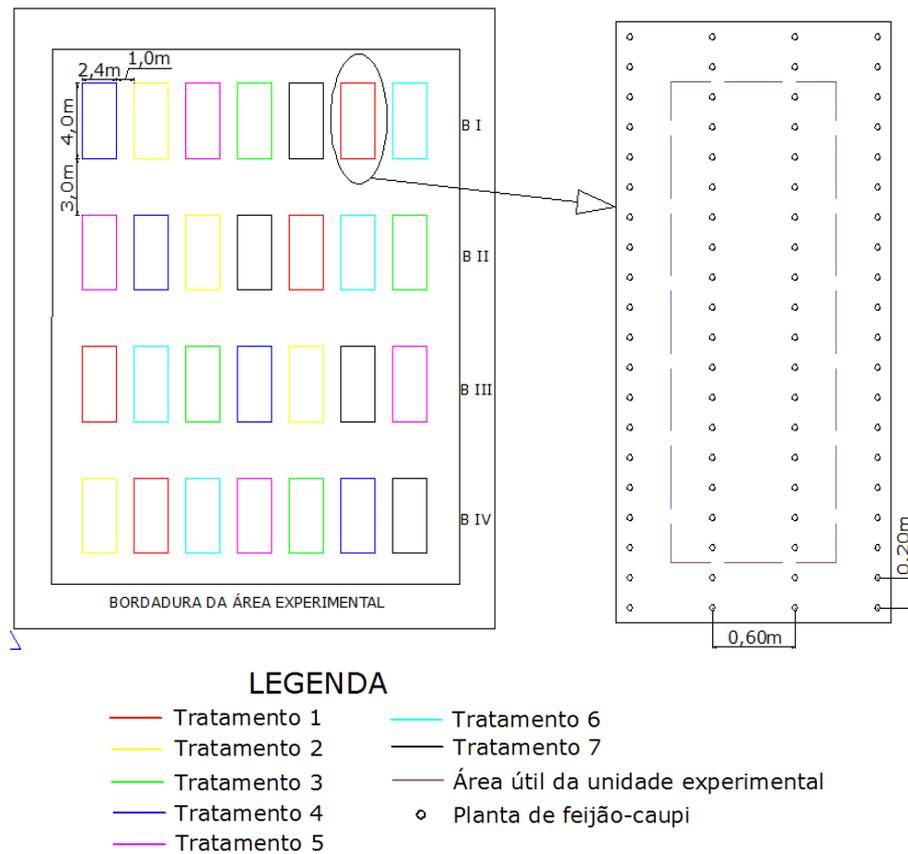


Figura 10. Croqui da área experimental

O experimento foi conduzido em duas épocas, sendo que ao final de cada época foram coletadas as plantas da área útil de cada parcela experimental, nas quais se determinou: altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio das vagens e produtividade de grãos secos.

Durante o ciclo da cultura foram contabilizadas as lâminas de água recomendadas pelas diferentes tecnologias de manejo da irrigação, permitindo-se o cálculo da eficiência do uso da água.

Foi realizada uma análise conjunta dos dados referentes aos experimentos conduzidos nas duas épocas de cultivo. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias comparadas utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As médias das tecnologias foram comparadas com a média obtida com o uso do *software* Ref-ET (ALLEN, 2000), utilizando o teste de Dunnett a 5% de probabilidade, por ser a tecnologia de manejo da irrigação que utiliza a equação padrão para estimativa da evapotranspiração de referência. Utilizou-se, para estas análises, o *software* SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

3.5 Sistema e manejo da irrigação

O equipamento de irrigação utilizado neste estudo foi uma simulação de aspersão, empregando-se um tubo de PVC de 25 mm, perfurado e instalado numa estrutura metálica dotada de duas rodas de bicicleta, com um aparato que permitiu o controle da altura de aplicação de água em conformidade com o crescimento da cultura. O tubo foi acoplado por meio de mangueira a uma caixa de água construída com a área de 1,0 m² e 1,5 m de altura. Assim, cada 1 mm de altura na caixa correspondeu a 1 L de água, permitindo contabilizar o volume de água aplicado na parcela, conforme descrito em Rocha (2003). Para a obtenção de pressão suficiente para a aplicação da lâmina de água necessária nas irrigações, a caixa de água foi instalada a 5,0 m de altura (Figuras 10 e 11).



Figura 11. Estrutura de suporte do tubo perfurado utilizado na irrigação das unidades experimentais.



Figura 12. Vista parcial do experimento, com as caixas de água suspensas ao fundo.

As lâminas de irrigação eram calculadas de acordo com o método de manejo adotado, conforme especificado no item 3.3 e transformadas em volume de água. Cada unidade experimental compreendia 9,6 m².

Diariamente, às 07:00 horas da manhã, eram colhidas as informações necessárias para a realização do manejo da irrigação. Devido às características físico-hídricas do solo, o turno de rega para as tecnologias que utilizaram os métodos do balanço hídrico com *software* Ref-ET (ALLEN, 2000), Tanque Classe A e determinação da umidade do solo com uso do forno de micro-ondas, foi de um dia. Para as demais tecnologias, o turno de rega variou conforme as recomendações dos respectivos métodos.

No dia antecedente aos plantios do feijão-caupi, na primavera e outono, foram aplicadas lâminas de água no solo iguais a 15,0 mm, com a finalidade de certificar-se que o manejo da irrigação poderia ser iniciado com o auxílio das variadas tecnologias, partindo-se da umidade do solo na capacidade de campo. Dentre estas tecnologias de manejo estudadas, a baseada na tensiometria teve suas unidades experimentais irrigadas nos primeiros 6 e 5 dias, respectivamente, para a primavera e

outono, apenas com a reposição da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada por meio do *software* Ref-ET (ALLEN, 2000).

Para determinação da velocidade de infiltração básica (VIB), ou taxa de infiltração estável (Tie) da água no solo, adotou-se a metodologia do infiltrômetro de anel, conforme descrita em Bernardo et al. (2006). Desta forma, obteve-se o valor de 240 mm h⁻¹, sendo considerada, por estes autores, como muito alta.

A eficiência de aplicação (E_a) da água de irrigação foi determinada para as duas épocas estudadas. Assim, procedeu-se conforme Mantovani et al. (2007), sendo:

$$E_a = E_1 E_2 \quad (9)$$

em que,

E₁ = eficiência de distribuição ≈ Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC);

E₂ = eficiência durante a aplicação.

$$E_1 \approx CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |L_i - L_m|}{N L_m}\right) 100 \quad (10)$$

em que,

L_i = lâmina obtida no coletor de ordem i (mm);

L_m = lâmina média dos coletores (mm);

N = número de amostras coletadas.

$$E_2 = 1 - P_{Ev+Arraste} \quad (11)$$

em que,

P_{Ev+Arraste} = Perdas por evaporação e arraste pelo vento.

$$P_{Ev+Arraste} = \frac{100 (I_{a_{medida}} - I_{a_{coletada}})}{I_{a_{medida}}} \quad (12)$$

em que,

I_{a_{medida}} = intensidade de aplicação medida (mm h⁻¹);

I_{a_{coletada}} = intensidade de aplicação coletada (mm h⁻¹).

Dado o sistema de irrigação utilizado, a medição das perdas por evaporação e arraste pelo vento foi realizada utilizando-se uma lona plástica previamente umedecida e disposta sobre a unidade experimental para coletar a água aplicada (Figura 13). Assim, observando-se a área da parcela, o volume de água aplicado e o coletado, as mencionadas perdas puderam ser mensuradas.

Portanto, a eficiência da aplicação da água de irrigação (E_a) foi calculada como 91,3% e 94,0% para os plantios conduzidos na primavera (menor precipitação na região) e no outono, respectivamente.



Figura 13. Medição das perdas por evaporação e arraste pelo vento.

A irrigação das parcelas foi suspensa quando cerca de 50% das vagens estavam amarelas (Figura 14), conforme recomendação de Ribeiro et al. (2003).



Figura 14. Condição em que foi feita a suspensão da irrigação das tecnologias.

Amostras da água utilizada para a irrigação foram coletadas e enviadas ao Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio-Norte para serem analisadas. O resultado está apresentado na Tabela 4 e, pode ser notado que se trata de uma água com baixas salinidade e concentração de sódio, não apresentando restrições ao uso na irrigação.

Tabela 4. Características químicas da água utilizada para irrigação.

pH (H ₂ O)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃	Cl meq	C.E. dS m ⁻¹	RAS
	meq L ⁻¹								
6,26	0,29	0,17	0,50	0,40	0,24	0,00	0,40	0,06	1,04

3.6 Precipitação efetiva

A precipitação efetiva (Pe) foi estimada diariamente em função da precipitação pluvial (P) e da lâmina de água necessária para que a umidade do solo retornasse à capacidade de campo (CC) na camada de solo explorada pelo sistema radicular das plantas, respeitadas as seguintes condições:

- 1) Quando a precipitação pluvial foi inferior à deficiência atual de água no solo, a água perdida por escoamento superficial foi desprezível. Esta condição tem

por base que, conforme Rocha (2003), em áreas irrigadas, a quantidade de água necessária para elevar a umidade do solo à CC é, muitas vezes, pequena, e que chuvas na magnitude de 20-30 mm raramente provocam escoamento superficial, exceto em solos de baixa permeabilidade, declivosos ou compactados, o que não é o caso em análise.

- 2) Para o caso de chuva intensa ou quando a deficiência de água no solo (Lâmina Real Necessária – LRN) for pequena, pode ocorrer tanto escoamento superficial quanto drenagem profunda. Nesse caso, considerou-se que a precipitação pluvial ocorrida, mesmo que provoque escoamento superficial, foi capaz de elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Desta maneira, prescindiu-se da quantificação das perdas de água decorrentes do escoamento superficial e/ou percolação abaixo do sistema radicular da cultura.

Assim, baseado nessas condições, admitiu-se que:

$$\text{se } P < \text{LRN} \rightarrow P_e = P \quad (13)$$

$$\text{se } P \geq \text{LRN} \rightarrow P_e = \text{LRN} \quad (14)$$

3.7 Características avaliadas

A colheita ocorreu quando as vagens estavam secas, sendo que ao final de cada cultivo foram analisadas as seguintes variáveis agronômicas: altura de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento médio das vagens, produtividade de grãos e eficiência do uso da água.

3.7.1 Altura média de plantas

Foi obtida a partir da média aritmética dos valores da altura de todas as plantas da área útil da parcela (3,6 m²). A planta de feijão-caupi foi cortada rente ao solo, procedendo-se a medida da sua altura até o ápice, com uso de fita métrica.

3.7.2 Número médio de vagens por planta

Depois de colhidas todas as plantas da área útil da unidade experimental, efetuou-se o somatório do número de vagens e dividiu-se pela quantidade de plantas, obtendo-se a média aritmética.

3.7.3 Número médio de grãos por vagem

Todas as vagens colhidas da área útil da parcela foram debulhadas e os grãos contabilizados. Desta forma, obteve-se a média aritmética com a divisão do somatório dos grãos de feijão-caupi pela quantidade de vagens colhidas.

3.7.4 Comprimento médio das vagens

Mediu-se, com uso de régua graduada, o comprimento de todas as vagens colhidas na área útil da unidade experimental efetuando-se, posteriormente, o cálculo da média aritmética.

3.7.5 Produtividade média de grãos

Foi obtida a partir da massa de grãos colhidos na área útil da parcela e, posteriormente, transformada em kg ha^{-1} . Corrigiu-se a umidade dos grãos para 13% pelo método da estufa, conforme orientação de Brasil (2009).

3.8 Eficiência do uso da água

Baseada na produção de grãos, a eficiência do uso da água foi calculada pela relação entre a produtividade de grãos secos e a lâmina de água aplicada, por meio da seguinte relação (GEERTS e RAES, 2009; LACERDA et al., 2009):

$$EUA = \frac{PG}{LI} \quad (15)$$

em que,

EUA = eficiência do uso da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

PG = produtividade de grãos, (kg ha^{-1});

LI = lâmina de irrigação acumulada (mm).

3.9 Análise econômica do cultivo do feijão-caupi

Neste estudo optou-se por analisar, primeiramente, a situação financeira da produção do feijão-caupi irrigado sob as variadas tecnologias de manejo da irrigação, procedendo-se com análise dos custos de produção. Em segundo momento, fez-se uma análise da viabilidade econômica deste empreendimento. Ou seja, além da análise da rentabilidade sob a ótica da renda e do custo, fez-se uma análise da

rentabilidade considerada sob a ótica da teoria de investimento (análise de investimento).

A utilização de diferentes tecnologias de manejo da irrigação proporcionou diferentes recomendações de lâminas de água e produtividades do feijão-caupi para as épocas e região estudadas. O custo de produção é diretamente proporcional à lâmina de irrigação e, como ocasionaram produtividades de grãos distintas, a receita também foi diferente. Portanto, poder-se-ia obter alta produtividade com aplicação de elevadas lâminas de irrigação e, conseqüentemente, com um custo de produção mais elevado, podendo implicar em diminuição da receita líquida. Assim, busca-se, entre os métodos de manejo experimentados, qual deles proporcionaria a maior rentabilidade da produção de feijão-caupi irrigado.

Para tanto, considerou-se um sistema de irrigação convencional com capacidade para irrigar uma área de 10 (dez) hectares cultivada com o feijão-caupi. A escolha do motor e da bomba hidráulica do referido sistema ocorreu com o uso do *software* Agribombas.

3.9.1 Análise da rentabilidade sob a ótica da renda e do custo

Uma parte dos recursos necessários para a produção varia diretamente com o volume de produção. Outra parte, todavia, não varia no curto prazo, ou seja, trata-se de um conjunto de recursos capazes de suportar volumes diferentes de produção. Assim, no curto prazo, há recursos fixos e variáveis.

A diferente natureza dessas duas categorias de recursos conduz à ocorrência de custos de natureza também diferentes. Os recursos fixos e os variáveis conduzem, respectivamente, a custos também fixos e variáveis. Desta maneira, os custos fixos incluem todas as formas de remuneração ou ônus decorrentes da manutenção dos correspondentes recursos e, portanto, esses custos existem mesmo que o produtor não esteja produzindo. Quanto aos custos variáveis, eles decorrem de todos os pagamentos dirigidos aos recursos que variam diretamente com a produção (MENDES, 1998).

O *custo total de produção* decorre do somatório dos custos fixos e variáveis da produção do feijão-caupi irrigado, conforme equação 16.

$$CT = CF + CV \quad (16)$$

Como este estudo tem o intuito de avaliar a produção de feijão-caupi irrigado sob a recomendação de variadas tecnologias de manejo da irrigação, o custo total de produção pode ser assim especificado (JOBIM et al, 2009):

$$CT = C_0 + C_i \quad (17)$$

em que,

CT = custo total de produção, R\$ ha⁻¹;

C₀ = custo básico associado à produção, R\$ ha⁻¹;

C_i = custo referente à irrigação, R\$ ha⁻¹.

Para os cálculos referentes aos custos da produção do feijão-caupi (C₀), foram considerados gastos com mão de obra para o plantio, tratos culturais e colheita, preparo de solo, calagem, fertilizantes, agrotóxicos e sementes.

O custo de irrigação, por sua vez, foi obtido por:

$$C_i = C_c + C_w \quad (18)$$

em que,

C_c = custo de capital referente ao investimento com o equipamento de irrigação, R\$.ha⁻¹;

C_w = custo operacional da irrigação, R\$ ha⁻¹.

Como em Frizzone (2005) e Frizzone & Andrade Júnior (2005), o custo de capital foi obtido pela utilização da equação 19. Observa-se, pela equação, que há consideração da depreciação e da remuneração do capital investido, que é referente ao valor que o produtor receberia se esses recursos estivessem aplicados em outra oportunidade. Assim, essa equação leva em consideração não somente a reposição do bem, como também busca contemplar o juro sobre o capital investido. Ou seja, o custo de capital C_c representa o custo anual uniforme equivalente ao investimento efetuado com a aquisição do sistema de irrigação.

$$C_c = (V_i - V_r) \left[\frac{j}{(1+j)^n - 1} \right] + V_i j \quad (19)$$

em que,

V_i = valor inicial do investimento, R\$ ha⁻¹;

V_r = valor residual do investimento, R\$ ha⁻¹;

n = vida útil do equipamento, ano;

j = taxa de juros sobre o capital investido, decimal.

Sendo que o valor residual do investimento foi obtido por meio de orientações contidas em Conab (2009), como segue:

$$V_r = V_i - (D n) \quad (20)$$

em que,

D = depreciação anual do equipamento, R\$ ano⁻¹.

A depreciação é o custo necessário para substituir os bens de capital quando tornados inúteis pelo desgaste físico ou quando perdem o valor com o decorrer dos anos, em razão das inovações técnicas, e foi calculada pela seguinte equação:

$$D = \frac{V_i - V_r}{n} \quad (21)$$

Os custos incorridos na manutenção, conservação e reparo de equipamentos (CMCR) foram calculados de acordo com Marques (2005). Pela equação 22, percebe-se que foi fixada uma percentagem sobre o valor de investimento, mormente nos referentes à irrigação, a ser diluído no horizonte temporal do projeto. Assim, este custo não variaria com a produção e, portanto, foi considerado como custo fixo de produção.

$$CMCR = 0,03 V_i \quad (22)$$

A mão de obra (MO) e consequentes encargos (férias, 13º salário e INSS), neste estudo, também foram atribuídos aos custos fixos, pois na região em análise verifica-se que os irrigantes não trabalham somente como tal, mas executam outras atividades como reparos nas benfeitorias, atividades de lavoura, manutenções diversas, entre outros. Além disto, os funcionários normalmente recebem remuneração fixa.

Como a outorga de água ainda não tem sido realizada na região em análise, considerou-se, para o cálculo do custo operacional da irrigação (C_w), o custo de bombeamento estimado pelo custo da energia elétrica consumida pelo sistema de irrigação por aspersão convencional, o qual pode ser estimado pela equação adaptada de Franke (1996), citado por Frizzone e Andrade Júnior (2005), como segue:

$$CE = (Eb \ tc) + (Dp \ td) + [Dp \ td \ y \ (12 - X)] \quad (23)$$

em que,

CE = custo de energia elétrica durante o ciclo do feijão-caupi, R\$ ha⁻¹;

Eb = energia requerida pela unidade de bombeamento, kWh ha⁻¹;

tc = tarifa média mensal de consumo de energia elétrica, R\$ kWh⁻¹;

Dp = demanda de potência da unidade de bombeamento, kWh ha⁻¹;

td = tarifa média mensal da demanda de potência, R\$ kWh⁻¹;

y = coeficiente aplicado à demanda faturável = 0,1 da maior demanda verificada por medição nos últimos 11 meses;

X = número de meses que o sistema opera pelo menos uma vez.

Entretanto, na região em estudo, as propriedades rurais são enquadradas na classe rural de consumo de energia elétrica sobre a qual incide apenas a tarifa de consumo B2 – Rural (ANEEL, 2011), que independe da potência elétrica instalada na propriedade. Sobre estes produtores não incide a cobrança da tarifa de demanda, assim como não se aplicam as tarifas horo-sazonais. Portanto, o custo de energia elétrica passou a ser estimado por uma simplificação da equação 23.

$$CE = Eb \ tc \quad (24)$$

Sendo,

$$Eb = \left(\frac{10 \ W \ Hm \ \gamma_a}{3,6 \ 10^6 \ \eta} \right) \quad (25)$$

Logo,

$$CE = C_w = \left(\frac{10 \ W \ Hm \ \gamma_a}{3,6 \ 10^6 \ \eta} \right) \ tc \quad (26)$$

em que:

W = lâmina bruta de irrigação necessária, recomendada pela respectiva tecnologia de manejo analisada, durante o ciclo do feijão-caupi, mm ha^{-1} ;

H_m = altura manométrica total, m;

γ_a = peso específico da água, N m^{-3} ;

η = eficiência do conjunto motobomba, decimal;

Deste modo, o custo total de produção do feijão-caupi, com irrigação manejada por diferentes métodos, passa a ser expresso como:

$$CT = C_0 + C_c + CMCR + MO + C_w \quad (27)$$

Assumindo, como condição simplificadora, que a soma dos custos básicos associados à produção (C_0) e dos custos de capital referentes ao investimento no equipamento de irrigação (C_c), além dos custos de manutenção, conservação e reparo de equipamentos (CMCR), e da mão de obra (MO) são constantes (C_f), pode-se expressar a função de custo total de produção da maneira sugerida por Frizzone (2007).

$$CT(w) = C_f + C_w \quad (28)$$

Assim, analisando-se a Equação 26, nota-se que o componente da lâmina bruta de irrigação (W) é o único que variaria entre as recomendações dos métodos de manejo para o mesmo sistema de irrigação. Portanto, para melhor expressão da função de custo total de produção, fez-se:

$$C_{wa} = \left(\frac{10 H_m \gamma_a}{3,6 \cdot 10^6 \eta} \right) \text{tc} \quad (29)$$

em que, C_{wa} = custo da lâmina de irrigação, $\text{R\$ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

Desta maneira, a função de custo total de produção pode ser expressa como:

$$CT(w) = C_f + C_{wa} W \quad (30)$$

Após a obtenção dos custos totais de produção para cada tecnologia de manejo de irrigação, pôde-se proceder com o estudo da rentabilidade do cultivo de feijão-caupi irrigado, que foi analisada por meio dos indicadores econômicos definidos em Martin et al. (1998):

a) *Receita Bruta (RB)*: é a receita esperada para determinada produção do feijão-caupi por hectare, para um preço de venda pré-definido. Para determinar o preço dos grãos secos de feijão-caupi pagos ao produtor rural, questionários semi-estruturados foram aplicados junto a alguns produtores, atacadistas e varejistas da região em análise.

$$RB = PG \ Pu \quad (31)$$

onde:

PG = produtividade de grãos, kg ha⁻¹;

Pu = preço unitário do produto, R\$ kg⁻¹.

b) *Ponto de Equilíbrio (PE)*: determina qual a produção mínima necessária para cobrir o custo com a produção do feijão-caupi, dado o preço de venda unitário do produto.

$$PE = \frac{CT}{Pu} \quad (32)$$

c) *Receita Líquida (RL)*: constitui a diferença entre a receita bruta e o custo total de produção de feijão-caupi. Desse modo, tem-se:

$$RL = RB - CT \quad (33)$$

O indicador de resultado *Receita Líquida* mede a lucratividade da atividade no curto prazo, mostrando as condições financeiras e operacionais da atividade.

d) *Índice de Lucratividade (IL)*: esse indicador mostra a relação entre a receita líquida (RL) e a receita bruta (RB), em percentagem. É uma medida importante de rentabilidade da produção do feijão-caupi, uma vez que mostra a taxa disponível de receita da atividade após o pagamento de todos os custos operacionais, encargos, etc., inclusive as depreciações. Foi obtida por:

$$IL = \left(\frac{RL}{RB} \right) \times 100 \quad (34)$$

3.9.2 Análise da rentabilidade sob a ótica da teoria de investimentos

O estudo da viabilidade econômica da produção de feijão-caupi irrigado sob a recomendação das variadas tecnologias de manejo foi realizada por meio dos métodos que consideram a dimensão do tempo de valores monetários. Neste estudo, como foi analisada a estrutura de custos e receitas da produção do feijão-caupi irrigado sob os variados métodos de manejo para duas épocas do ano 2010/2011 em caráter experimental e a possível implantação do sistema de irrigação no cultivo dessa leguminosa, trata-se de uma análise *ex-ante*, onde a utilização de preços constantes é considerada a mais adequada.

Todas as propostas de investimento apresentam fluxos de entrada e saída de recursos. A diferença entre esses fluxos chama-se *fluxo líquido*, sobre o qual se aplicam as técnicas de desconto para calcular a rentabilidade dos investimentos. Desta maneira, para fins desta pesquisa, adota-se 15 anos como o horizonte temporal do projeto, que por sua vez está sendo tomado como a vida útil do equipamento de irrigação. Assim, após serem verificadas as entradas e saídas, construiu-se o fluxo de caixa com taxa de desconto de 6,75% ao ano – considerando-se o cultivo de um pequeno produtor rural – (BNB, 2011), sendo que os critérios de análise da viabilidade econômica estudados foram:

a) Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é definido como a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos. A característica essencial desse critério é que os benefícios e os custos são referenciados ao presente, isto é, os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto são descontados para o tempo zero a uma taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital, ou seja, a Taxa Mínima de Atratividade – TMA – (FRIZZONE e ANDRADE JÚNIOR, 2005). O critério do valor presente líquido tem como finalidade determinar o valor no instante inicial (ou na data zero), a partir do fluxo de caixa líquido do projeto.

Assim, o VPL considera a diferença, ano a ano, entre as entradas e saídas de caixa (fluxo líquido de caixa) durante o horizonte do projeto, e são descontados todos

os valores futuros para o presente (ano zero). Portanto, o VPL com valor positivo representa a viabilidade econômica do investimento, dado o custo de oportunidade do capital, a taxas mínimas de atratividade (taxas de desconto). Ou seja, o critério de decisão consiste em aceitar o investimento se o VPL for maior que zero. O VPL pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+j)^t} \quad (35)$$

em que:

VPL = valor presente líquido, em R\$ ha⁻¹;

j = taxas de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal;

N = horizonte do projeto, em anos;

t = tempo (período) do projeto, em anos;

F_t = fluxo de caixa líquido em cada ano, em R\$ ha⁻¹.

b) Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno de um projeto é o valor da taxa de desconto que torna nulo o valor presente líquido. É nessa taxa que a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos, pois o valor presente líquido é a soma algébrica, no instante zero, dos benefícios e dos custos. Desta maneira:

$$\sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+\rho)^t} = 0 \quad (36)$$

em que:

ρ = taxa interna de retorno, em decimal.

Após o cálculo da TIR, ela deve ser comparada com a taxa de desconto. Sendo o projeto aceito se apresentar TIR maior ou igual à taxa de desconto.

A TIR, desta maneira, é a taxa que torna o valor dos lucros futuros equivalente aos gastos realizados com o projeto. Caracterizando, desse modo, a taxa de remuneração do capital investido.

c) Razão Benefício/Custo

Considerando-se um fluxo de caixa, existem benefícios e custos. Obtendo-se a soma dos valores presentes de todos os benefícios, bem como de todos os custos, pode-se encontrar o valor presente líquido do fluxo de caixa.

A razão benefício/custo possibilita verificar se os benefícios atualizados são maiores que os desembolsos atualizados. No caso da relação B/C ser superior a 1, pressupõe-se um VPL positivo, bem como a viabilidade econômica do investimento, dada a taxa de desconto considerada.

Esta razão pode ser calculada por meio da seguinte equação:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^N B/(1+j)^t}{\sum_{t=0}^N C/(1+j)^t} \quad (37)$$

em que,

B/C = razão benefício/custo;

B = receitas, em R\$ ha⁻¹;

C = despesas, em R\$ ha⁻¹.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Manejo da irrigação

Esta pesquisa foi feita em duas épocas, sendo uma com o cultivo do feijão-caupi iniciado no mês de outubro (período com uma menor ocorrência de chuvas na região – primavera) e outra com plantio efetuado em maio (terço médio final do período chuvoso local – outono). O cultivo da primavera foi realizado com o intuito de se utilizar irrigação total, ou seja, um cultivo onde toda a água para as plantas adviessem da irrigação. O que ocorreu, de fato, foi uma irrigação suplementar às chuvas para os dois cultivos; entretanto, a precipitação pluvial foi menor durante o cultivo da primavera (74,4 mm) que no do outono (142,5 mm). O cultivo ocorrido no outono deu-se por conta da predileção dos agricultores da região em estudo para efetuarem o plantio do feijão-caupi no terceiro médio final do período chuvoso.

Nos cultivos conduzidos nas duas épocas, a irrigação manejada pelo método da tensiometria teve início seis dias após o plantio do feijão-caupi, com o término da germinação. Até o sexto dia, o manejo da irrigação para este tratamento foi realizado por meio do balanço hídrico com o *software* Ref-ET.

Pela Tabela 5, podem-se observar as lâminas totais (considerando as irrigações aplicadas e a precipitação efetiva) de irrigação recomendadas pelos seguintes tratamentos: T₁: Determinação da umidade do solo com forno de micro-ondas; T₂: Tanque Classe A; T₃: Irrigâmetro; T₄: Tensiômetro; T₅: Irrígrafo; T₆: Balanço hídrico com o *software* Ref-ET e T₇: Balanço hídrico com o *software* Irriplus.

Das lâminas totais apresentadas, as que constituíram as irrigações aplicadas pelas tecnologias durante o cultivo do feijão-caupi na primavera foram: T₁ = 233,1mm, T₂ = 178,7mm, T₃ = 182,4mm, T₄ = 178,2mm, T₅ = 197,7mm, T₆ = 206,4mm e T₇ = 157,3mm. Para o cultivo no outono, estas lâminas corresponderam a T₁ = 122,1mm, T₂ = 143,0mm, T₃ = 110,5mm, T₄ = 113,6mm, T₅ = 107,9mm, T₆ = 141,1mm e T₇ = 121,3mm.

Tabela 5. Lâminas totais (irrigações aplicadas mais a precipitação efetiva) para cada tecnologia de manejo da irrigação para o feijão-caupi, na região dos Cocais, MA.

Tratamentos	Primavera			Outono		
	LT	LI	Pe	LT	LI	Pe
T1	278,7	233,1	45,6	198,6	122,1	76,5
T2	218,8	178,7	40,1	214,5	143,0	71,5
T3	221,8	182,4	39,4	177,3	110,5	66,8
T4	225,5	178,2	47,3	189,1	113,6	75,5
T5	242,5	197,7	44,8	186,4	107,9	78,5
T6	243,2	206,4	36,8	209,4	141,1	68,3
T7	199,6	157,3	42,3	193,2	121,3	71,9

T₁: Determinação da umidade do solo com forno de micro-ondas; T₂: Tanque Classe A; T₃: Irrigâmetro; T₄: Tensiometria; T₅: Irrígrafo; T₆: Balanço hídrico com o *software* Ref-ET e T₇: Balanço hídrico com o *software* Irriplus; LT: Lâmina total (mm); LI: Lâmina de irrigação (mm); Pe: Precipitação efetiva (mm).

É possível deduzir pela Tabela 5 que, durante a primavera, a lâmina total de água utilizada pela tecnologia T1 (micro-ondas) superou em 14,6% a usada pelo T6 (Ref-ET). Em contrapartida, as tecnologias T2, T3, T4 e T7 receberam, respectivamente, lâminas de água 10%, 8,8%, 7,3% e 17,9% inferiores à T6. Resultados diferentes em relação ao tanque Classe A (T2) foram encontrados por Fernandes & Turco (2003), quando compararam este método com o de Penman-Monteith FAO 56 (PM) no cômputo da evapotranspiração de referência da soja, em Jaboticabal, SP. Estes autores verificaram que o tanque Classe A superestimou a lâmina total e o número de irrigações em relação a PM FAO 56. Este resultado também foi obtido por Cunha (2009).

Tagliaferri et al. (2011) compararam os métodos de Penman-Monteith FAO 56, Penman Modificado, Radiação, Irrigâmetro, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, quanto à estimativa da evapotranspiração de referência em relação ao método do lisímetro de lençol freático constante. Concluíram que o método do irrigâmetro pode ser indicado para utilização no manejo da água na agricultura irrigada, por apresentar resultados de estimativa de ET₀ semelhante ao método PM FAO 56.

Giovanelli et al. (2010) comparou os métodos do Irrigâmetro, tanque Classe A e o balanço hídrico com o uso do programa REF-ET, nos plantios direto e

convencional com o feijoeiro comum, em Viçosa, MG, e concluíram que os valores médios apresentados pelos diferentes métodos de manejo da irrigação não possuíram diferença significativa na estimativa das lâminas aplicadas na irrigação.

Oliveira et al. (2011c) estudaram a determinação da evapotranspiração da cultura do feijoeiro com os métodos do irrigâmetro, método padrão de estufa, tanque Classe A, estimativa da evapotranspiração por meio dos programas computacionais REF-ET (ALLEN, 2000) e Irriplus (MANTOVANI et al., 2007), e não perceberam diferença estatística entre as recomendações de lâminas de irrigação pelos diferentes métodos.

Pela Tabela 5, nota-se que as unidades experimentais manejadas com o Irrígrafo (T5), receberam lâminas de irrigação aproximadamente iguais às manejadas pelo balanço hídrico com o *software* Ref-ET. A tecnologia T4 (tensiometria) recomendou maior lâmina que o T2 (Tanque Classe A) na primavera, sendo menor no outono. Este resultado da primavera foi semelhante ao verificado por Lopes et al. (2011), em Aquidauana, MS, quando avaliaram os manejos conduzidos com uso do tanque Classe A e do tensiômetro, na irrigação do feijoeiro comum, submetido a diferentes doses de nitrogênio.

No segundo cultivo (outono), as parcelas com irrigação manejada com a utilização do tanque Classe A receberam lâmina total de água em quantidade próxima à utilizada pelo tratamento T6, superando-o em 2,4%. Os demais tratamentos (T1, T3, T4, T5 e T7), respectivamente, propiciaram suprimento de água inferior em 5,2%, 15,3%, 9,7%, 11,0% e 7,8% em relação a T6. Gondim et al. (2000) estudaram efeito do uso do tanque Classe A (TCA), tensiômetro e equação de Hargreaves, na determinação da lâmina de água aplicada na irrigação do feijão-caupi em Pentecoste, CE, e verificaram que a tensiometria recomendou lâminas inferiores às indicadas pelo TCA. Faria et al. (2011), analisando os métodos do TCA e tensiometria na produção do feijão comum, também obtiveram resultado semelhante ao desta pesquisa.

Embora com precipitações efetivas maiores, as lâminas totais aplicadas pelas tecnologias no outono foram menores que na primavera. Isto foi devido à condição climática, mormente à umidade relativa (UR) e à temperatura do ar (T). O cultivo da primavera, período no qual a demanda evapotranspirométrica foi maior, a UR apresentou-se menor e a T maior em relação ao cultivo do outono (Figuras 1 e 2). A

evapotranspiração de referência (ET_o) média durante os períodos de cultivo foi igual a 4,7 mm d⁻¹ para a primavera, e 3,5 mm d⁻¹ para o outono.

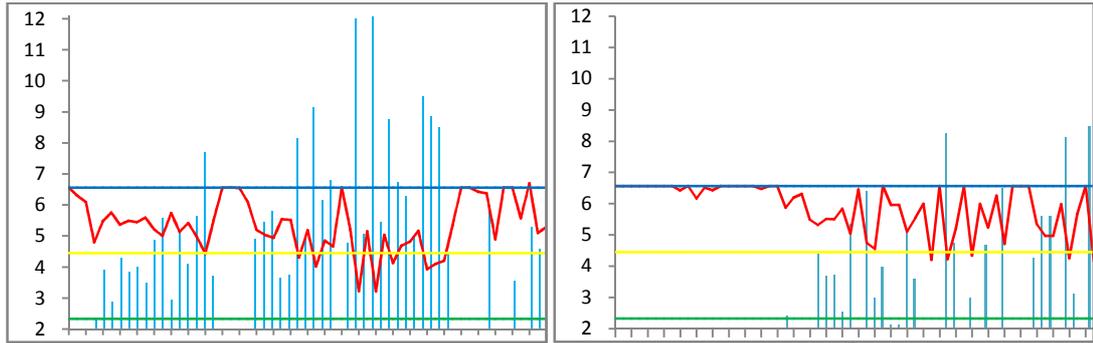
Independentemente dos métodos de manejo da irrigação adotados no cultivo do feijão-caupi na região dos cocais, MA, em análise, as lâminas totais de água disponibilizada à cultura foram menores que os valores dispostos na maior parte da literatura. A maior lâmina aplicada, de 278,7 mm, está abaixo das relatadas por Ribeiro et al. (2003), Andrade Júnior et al. (2002), Moura et al. (2009) e Brito et al. (2009), de mínimo de 300 mm, 449,1 mm, 420,8 mm, 398,0 mm, respectivamente. No entanto, Oliveira et al. (2011b) encontraram a maior produtividade da cultivar BRS Novaera (1.420,51 kg ha⁻¹) com a utilização de 257,2 mm de lâmina de água, em Boa Vista, RR. Estas variações podem ser devidas às diferentes cultivares utilizadas em distintas condições edafoclimáticas.

4.2 Tecnologias de manejo e lâminas de irrigação

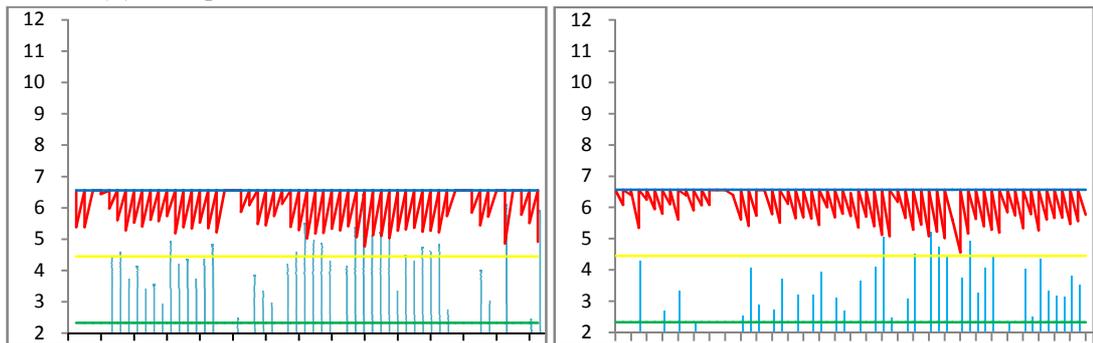
A Figura 15 ilustra a representação gráfica das umidades do solo e da distribuição das irrigações ao longo do ciclo da cultura do feijão-caupi para as tecnologias de manejo da irrigação estudadas. Como se pode observar, as umidades do solo variaram com os tratamentos adotados.

Na Figura 15 (a) são apresentados os eventos de aplicação de lâminas de irrigação e a umidade do solo, sendo o manejo realizado por meio da determinação da umidade atual do solo com o uso do forno de micro-ondas. Com a utilização desta tecnologia, adotou-se o turno de rega igual a um dia. Como se verifica, as irrigações foram mais frequentes no cultivo da primavera em relação ao do outono, sendo aplicadas, respectivamente, 233,1 mm e 122,1 mm durante todo o ciclo da cultura, o que caracterizou uma diminuição de 47,6% na lâmina de irrigação. Em relação à umidade do solo ao longo do ciclo do feijão-caupi, nota-se que no cultivo realizado na primavera houve momentos nos quais a umidade de segurança foi ultrapassada durante o período de maior demanda evapotranspirométrica. No outono, por vários dias, a umidade do solo permaneceu na capacidade de campo devido às precipitações. Neste cultivo, o teor de água no solo ficou, quase sempre, acima da umidade crítica. Quando comparado com as outras tecnologias de manejo, essa recomendou a maior lâmina de irrigação na primavera e a terceira maior no outono.

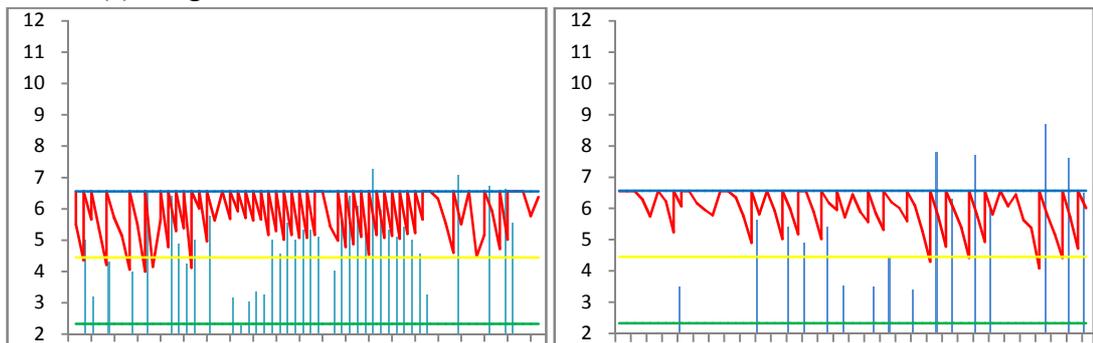
(a) Micro-ondas



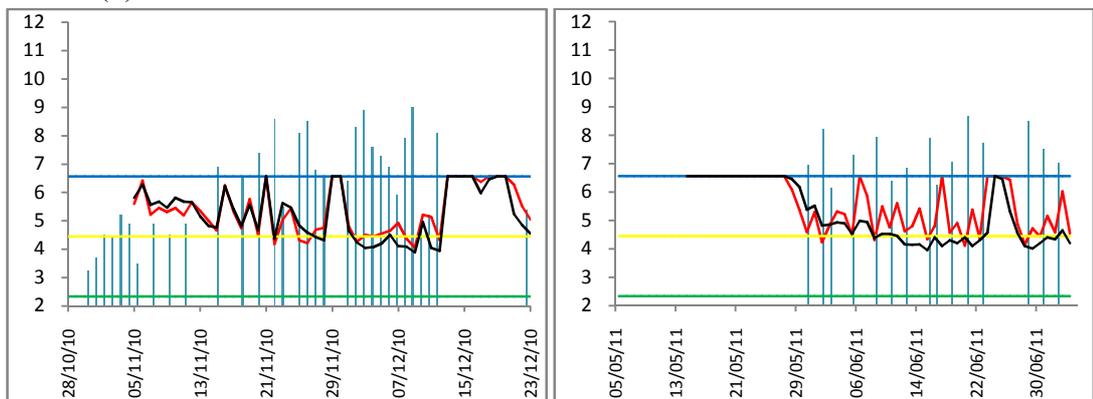
(b) Tanque Classe A



(c) Irrigâmetro



(d) Tensiometria



■ Irrigação (mm)
— Capacidade de campo (% peso)
— Umidade de segurança (% peso)

— Umidade 0-20cm (%)
— Ponto de murcha (% peso)
— Umidade 20-40 cm (%)

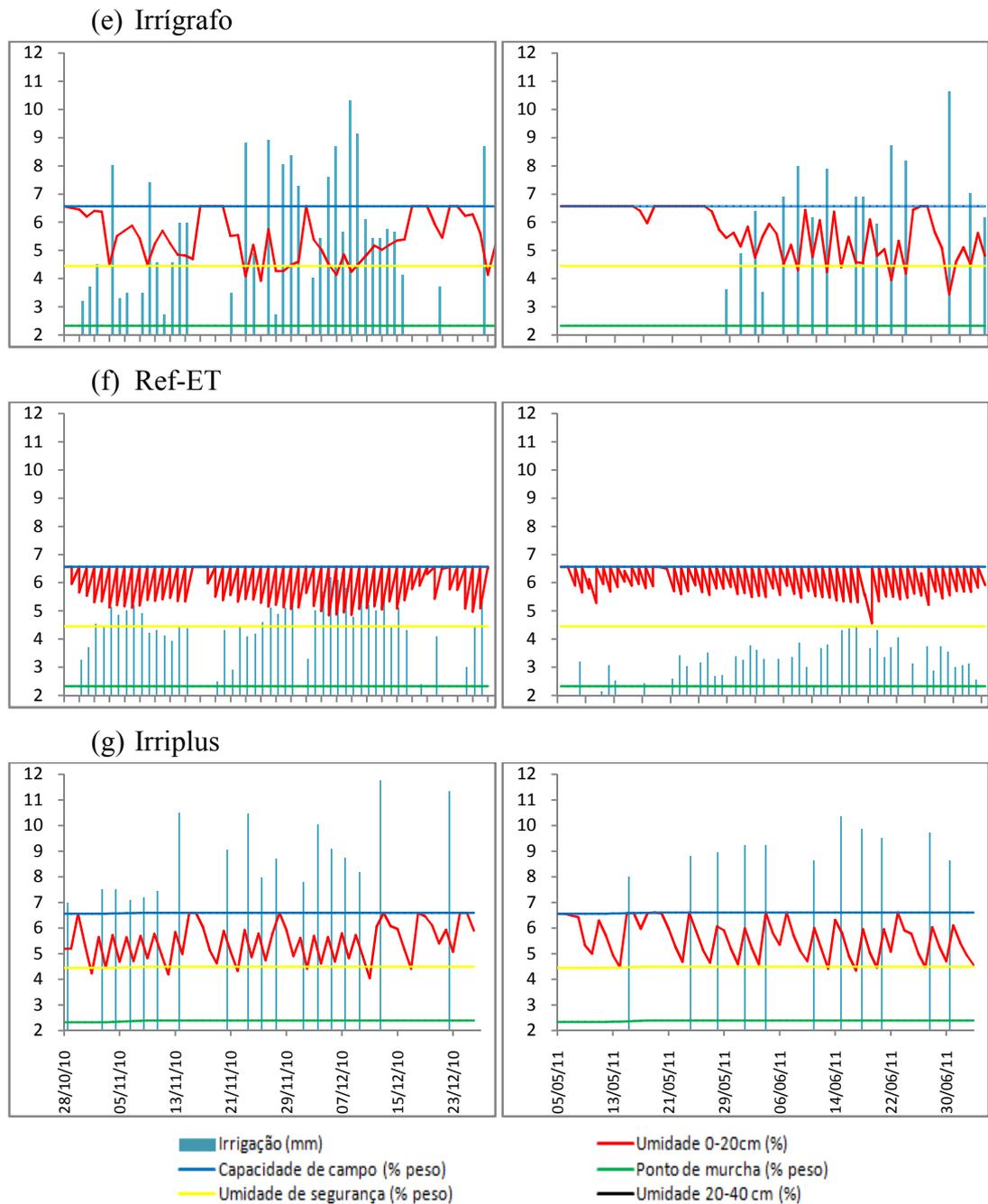


Figura 15. Umidade do solo e lâminas de irrigação recomendadas por (a) micro-ondas, (b) Tanque Classe A, (c) Irrigâmetro, (d) Tensiometria, (e) Irrígrafo, (f) Ref-ET e (g) Irriplus, durante os ciclos do feijão-caupi cultivados na primavera (à esquerda) e outono (à direita).

Observando-se a Figura 15 (b), pode-se ver a representação gráfica da estimativa da umidade do solo e dos eventos de irrigação manejada por meio do balanço hídrico utilizando-se o Tanque Classe A. Com esta tecnologia, estimou-se que a umidade do solo seria elevada à capacidade de campo a cada irrigação. Com turno de rega diário, nota-se que as lâminas de irrigação recomendadas foram, em

média, maiores durante o cultivo realizado na primavera (6,3 mm) em comparação com o do outono (4,0 mm). Em se tratando de recomendação de irrigação, houve um decréscimo de 20% do primeiro cultivo (178,7 mm) para o segundo (143,0 mm). No entanto, quando comparadas as lâminas totais (Tabela 5) entre os cultivos da primavera e outono, observa-se que foram aproximadamente iguais. Os tratamentos manejados com o tanque Classe A, em comparação às outras tecnologias de manejo estudadas, receberam a segunda menor lâmina total de água na primavera, e a maior no outono. A umidade do solo manejada com essa tecnologia ficou estimada sempre acima da umidade crítica.

Pela Figura 15 (c), pode-se observar a estimativa da umidade do solo com as devidas recomendações de irrigação com a utilização do Irrigâmetro. Durante o manejo com esta tecnologia, os níveis do evaporatório foram regulados de acordo com as fases de desenvolvimento da cultura, sendo considerada: Germinação – do plantio até a emergência; Fase 1 – da emergência até 10% de cobertura do solo; Fase 2 – de 10 a 80% de cobertura do solo ou início do florescimento; Fase 3 – após 80% de cobertura do solo ou do início do florescimento até o início da maturação; Fase 4 – do início da maturação até a colheita (OLIVEIRA e RAMOS, 2008). Assim, os níveis do evaporatório adotados foram: 1,8; 2,2; 3,5; 4,0 e 3,0 cm, para as fases Germinação, 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A régua de manejo foi selecionada de acordo com as características de retenção de água do solo da área experimental, sendo escolhida a CS 0.7, conforme metodologia proposta por Oliveira e Ramos (2008). A cada evento de irrigação recomendado pelo irrigâmetro, estimou-se que a umidade do solo retornaria à capacidade de campo. Desta forma, como se observa na Figura 15 (c), para a primavera foram recomendadas irrigações mais frequentes em relação ao outono, totalizando 182,4 mm e 110,5 mm, respectivamente. Entretanto, nas duas épocas de cultivo, a umidade do solo permaneceu, quase sempre, acima da umidade crítica. O manejo da irrigação com a utilização do irrigâmetro permitiu a aplicação de lâminas totais inferiores em 8,8% e 15,3% em relação ao tratamento T6 (Ref-ET), para os cultivos da primavera e outono, respectivamente.

Com o manejo da irrigação por meio da tensiometria (Figura 15 d), a umidade do solo das camadas 0-20 cm e 20-40 cm foi acompanhada. O que se percebeu foi uma maior frequência na recomendação de lâmina de água para a primavera em relação ao outono, sendo aplicadas, respectivamente, 178,2 mm e 113,6 mm. Esta redução deveu-se à condição climática distinta entre as épocas, mormente no que se

refere à precipitação pluvial. Como os tubos tensiométricos foram instalados na área experimental após a germinação, nos primeiros 6 e 5 dias dos cultivos realizados na primavera e outono, respectivamente, as recomendações de irrigação foram efetuadas com o uso do *software* Ref-ET (ALLEN, 2000). Na profundidade de 0-20 cm, a umidade do solo, no geral, ficou acima da umidade crítica. Na camada 20-40 cm, por seu turno, por algum período houve um decréscimo no teor de água do solo a ponto de ultrapassar a umidade de segurança. Em relação ao tratamento 6 (Ref-ET), a utilização da tensiometria permitiu a aplicação de lâminas totais menores em 7,3% e 9,7%, para a primavera e outono.

Na Figura 15 (e) pode-se verificar a representação gráfica da umidade do solo em área cultivada com feijão-caupi e irrigação manejada pelo irrigrafo. Nota-se uma maior frequência de aplicações de lâminas de água no cultivo conduzido na primavera quando comparado com o outono, sendo que foram recomendadas 199,7 mm e 107,9 mm, respectivamente. No entanto, o teor de água no solo foi mantido acima da umidade crítica nos dois cultivos. Para o plantio do outono, percebe-se a permanência da umidade do solo à capacidade de campo em boa parte da fase de desenvolvimento vegetativo da cultura. Em termos quantitativos, a lâmina total recomendada ao longo do cultivo do feijão-caupi na primavera foi aproximadamente igual à recomendada pelo Ref-ET. Em contrapartida, na outono o irrigrafo recomendou 11,0% a menos.

Pode-se observar, pela Figura 15 (f), que a umidade do solo da área manejada com o balanço hídrico, utilizando-se o *software* Ref-ET, permaneceu elevada durante todo o período de cultivo, nas duas épocas de plantio. O turno de rega para esta tecnologia foi diário, sendo que as recomendações de irrigação foram maiores para a primavera em relação à outono, tendo sido aplicados 206,4 mm e 141,4 mm, respectivamente.

Com a aplicação do *software* Irriplus, fez-se o manejo da irrigação dos cultivos cujas representações da umidade do solo e lâminas de irrigação estão apresentadas na Figura 15 (g). Pode-se notar que o teor de água no solo foi mantido em níveis que possibilitaram o adequado desenvolvimento da cultura. No plantio da primavera, este método recomendou a menor lâmina total de água aplicada, sendo 17,9% a menos que a recomendação pelo Ref-ET. Já na outono, o Irriplus recomendou lâminas de irrigação 7,8% menores em relação ao Ref-ET.

4.3 Características avaliadas

Objetivando observar os efeitos dos tratamentos, foram analisadas as características de produção, a saber: altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVP), comprimento médio das vagens (CV), número de grãos por vagem (NGV), produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso da água (EUA).

O resultado da análise de variância revelou diferenças significativas do uso das tecnologias de manejo da irrigação sobre alguns componentes de produção do feijão-caupi, para os efeitos principais e interação tecnologia x época.

As médias referentes aos componentes de produção AP, NVP, CV, NGV, PG e EUA encontram-se na Tabela 6. No que concerne à variável altura de plantas, não houve diferença significativa entre as tecnologias dentro das suas respectivas épocas de cultivo, variando de 67,58 a 77,07 cm na primavera e de 59,99 a 71,53 cm no outono. Entretanto, o manejo da irrigação realizado com o irrigâmetro e o irrigrafo apresentou maior altura média de plantas no cultivo realizado na primavera, diferindo significativamente do outono. Para os demais tratamentos, não foi apresentada diferença estatística para essa variável entre as épocas de cultivo.

Para a característica comprimento de vagens, os tratamentos diferiram significativamente no cultivo da primavera, sendo que o maior comprimento de vagens do feijão-caupi (17,18 cm) foi obtido com o manejo da irrigação efetuado pelo irrigâmetro, e o menor com o manejo realizado com o *software* Irriplus (16,25 cm), o que se assemelha ao comprimento obtido em pesquisa realizada por Silva e Neves (2011). Já no outono, não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos para essa característica, que variou de 16,15 a 16,58 cm. Resultado similar foi encontrado por Oliveira et al. (2011b) estudando o comportamento do feijão-caupi cv. BRS Novaera, sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo, em Boa Vista, Roraima, que não perceberam diferença significativa, tanto no NGV quanto no CV. Bezerra et al. (2003), em Fortaleza, CE, também não verificaram diferença significativa em relação ao CV quando variaram graus de déficit hídrico nesta cultura.

Tabela 6. Valores médios de altura de plantas (AP), comprimento de vagens (CV), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), produtividade de grãos (PG), em gramas por planta, e eficiência do uso da água (EUA) em função das épocas e tecnologia de manejo da irrigação.

Trat.	AP		CV		NGV		NVP		PG		EUA	
	EP = 1	EP = 2	EP = 1	EP = 2	EP = 1	EP = 2	EP = 1	EP = 2	EP = 1	EP = 2	EP = 1	EP = 2
T1	77,07Aa	71,53Aa	17,03ABa	16,23Ab	14,82Aa	13,42Ab	13,58Aba	11,25Aa	17,34ABCa	12,42Ab	9,43ABa	7,83ABa
T2	67,58Aa	67,95Aa	16,71ABa	16,53Aa	14,17Aba	13,50Ab	11,82Aba	9,77Aa	14,63BCa	10,50Ab	9,65ABa	6,15Bb
T3	73,90Aa	59,99Ab	17,18Aa	16,31Ab	14,26Aba	12,83Ab	11,83Aba	8,93Ab	15,78ABCa	13,33Aa	10,25ABa	10,10Aa
T4	78,15Aa	70,98Aa	16,39ABa	16,15Aa	14,31Aba	13,10Ab	15,27Aa	10,60Ab	18,45ABa	11,35Ab	12,18Aa	7,40ABb
T5	79,62Aa	66,00Ab	16,63ABa	16,28Aa	14,41Aba	13,23Ab	16,10Aa	9,30Ab	19,60Aa	10,05Ab	12,63Aa	6,70ABb
T6	69,42Aa	68,80Aa	16,62ABa	16,58Aa	13,70Ba	13,56Aa	9,52Ba	9,45Aa	12,11Ca	10,32Aa	7,20Ba	6,05Ba
T7	68,03Aa	69,83Aa	16,25Ba	16,22Aa	13,49Ba	13,29Aa	12,18ABa	9,82Aa	15,14ABCa	10,91Ab	10,88ABa	6,90ABb

* As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

EP=1: Cultivo realizado na primavera; EP=2: Cultivo realizado no outono; T1: Determinação da umidade do solo com uso de micro-ondas; T2: Tanque Classe A; T3: Irrigâmetro; T4: Tensiometria; T5: Irrígrafo; T6: Balanço hídrico com o *software* Ref-ET; T7: Balanço hídrico com o *software* Irriplus.

Quando observado o comportamento dessa variável entre as épocas de cultivo, nota-se que apenas o manejo feito pelo balanço hídrico com uso do forno de micro-ondas e pelo irrigâmetro apresentaram diminuição significativa do comprimento de vagens no outono em relação à primavera. Estes valores foram inferiores aos obtidos por Ramos (2011), com a cultivar BRS Paraguaçu, em Teresina, PI, onde obteve 18,67 cm e, superiores aos encontrados por Vilarinho et al. (2006) com a cultivar BRS Novaera, em Roraima, que encontraram comprimento de vagem igual a 15,0 cm. Andrade Júnior et al. (2002), em Parnaíba, PI, obteve comprimento de vagem igual a 17,0 cm com a aplicação de 189,2 mm de irrigação, com a cultivar BR 17 Gurguéia.

Quanto ao número de grãos por vagem (NGV), o manejo da irrigação realizado pelo balanço hídrico com uso do forno de micro-ondas apresentou a maior média (14,82), embora tenha apresentado diferença estatística apenas para os tratamentos que utilizaram os *softwares* Ref-ET (13,70) e Irriplus (13,49), no cultivo da primavera. Resultado semelhante foi obtido por Alves et al. (2006), com variação de 10,0 a 15,7 grãos por vagem, quando trabalhou com competição de cultivares de feijão-caupi em Roraima. Andrade Júnior et al. (2005) também obtiveram valores similares, com 14 grãos por vagem de feijão-caupi sob a aplicação de 273,5 mm de irrigação, em Parnaíba, PI. Silva e Neves (2011), avaliando genótipos de feijão-caupi quanto ao potencial de rendimento e seus componentes, encontraram 16,9 grãos por vagem para a cultivar BR 17 Gurguéia em cultivo irrigado, em Teresina, PI. No outono, por sua vez, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, em relação a essa variável. Entre as épocas, percebeu-se que, exceto os tratamentos que usaram o Ref-ET e Irriplus, todos diferiram estatisticamente do número de grãos por vagem da primavera para o outono. Isto pode ser devido às diferenças nos fatores climáticos entre as épocas.

No que se refere ao número de vagens por planta (NVP), Andrade Júnior et al. (2002) e Nascimento et al. (2004) o identificaram como o componente de produção com maior relação positiva com a produtividade de grãos. Assim, pode-se visualizar (Tabela 6) que o manejo da irrigação conduzido pelo Ref-ET proporcionou a menor média (9,52) no cultivo da primavera, diferindo significativamente dos demais. Entretanto, no outono não houve diferença estatística entre os tratamentos quanto a esta característica. Lopes et al. (2011) também não verificaram diferença significativa para NVP entre os métodos do tanque classe A e tensiômetro.

Analisando-se entre as épocas de cultivo percebe-se uma diminuição do NVP da primavera para o outono, muito embora se tenha verificado diferença significativa apenas nos tratamentos conduzidos pelo Irrigâmetro, tensiometria e Irrígrafo. A maior média de NVP (16,10) obtida, assemelha-se ao resultado alcançado por Andrade Júnior et al (2002), onde obtiveram 15 vagens por planta. Ramos (2011) obteve 16 vagens por planta em experimento conduzido com as cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guaribas, em Teresina, PI.

No cultivo realizado na primavera, o manejo da irrigação efetuado com o tanque Classe A (14,63 g) e Ref-ET (12,11 g), apresentou as menores produtividades de grãos por planta (PG), apresentando diferença estatística com os demais tratamentos. Andrade Júnior et al. (2005) verificaram 31,0 g de grãos secos por planta, com a aplicação de 273,5 mm de irrigação, em Parnaíba, PI. No entanto, foi utilizada uma densidade de plantas por hectare inferior a 80.000; já esta pesquisa utilizou 166.666 plantas de feijão-caupi por hectare. Pavani et al. (2008) perceberam diferenças significativas entre os métodos de manejo da irrigação testados, sendo que obtiveram maiores produtividades de grãos de feijão comum no plantio convencional com irrigação manejada com tanque Classe A, sendo que no plantio direto sobressaiu-se a tensiometria.

No cultivo do outono, por seu turno, não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos, percebendo-se uma maior homogeneidade nos resultados gerados com a utilização das diferentes tecnologias de manejo da irrigação. Este resultado foi obtido por Gondim et al. (2000), utilizando os métodos de manejo da tensiometria, tanque Classe A e equação de Hargreaves. Lopes et al. (2011), em Aquidauana, MS, avaliaram o efeito sobre feijoeiro comum cultivado em sistema de plantio direto, decorrente da variação de doses de nitrogênio e manejo da irrigação realizado com o método do tanque Classe A, equação de Hargreaves-Samani e tensiometria. Concluíram que o manejo de irrigação realizado com uso do tanque Classe A proporcionou maior produtividade de grãos e número de grãos por vagem em relação ao manejo por tensiometria.

Carvalho (2009), em Botucatu, SP, avaliou os métodos de manejo de irrigação por tensiometria, Penman Monteith (PM) e tanque Classe A (TCA) com o feijoeiro comum, em sistemas de plantio direto e convencional. Verificou maior produtividade de grãos nas parcelas manejadas com o TCA, sob sistema convencional de plantio. Quando em plantio direto, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Comparando-se os cultivos, nota-se um decréscimo da PG da primavera em direção ao outono, sendo que apenas os valores obtidos com os tratamentos que utilizaram o Irrigâmetro e o Ref-ET não diferiram estatisticamente. Isto pode ser devido a variações climáticas (primavera para outono) e às consequentes interferências nas recomendações de lâminas de irrigação pelas diferentes tecnologias de manejo.

Conforme afirma Pinho et al. (2005), os fatores climáticos que mais influenciam a cultura são a temperatura, a radiação solar e a pluviosidade. Dentre estes fatores, a temperatura do ar não apresentou grande variação entre as épocas de cultivo, haja vista que a temperatura máxima média variou de 35°C para 32°C e a mínima média, de 24°C para 23°C. No entanto, houve uma redução na lâmina total de água aplicada na cultura, da primavera para o outono.

Autores como Carvalho et al. (2000), Andrade Júnior et al. (2002), Bezerra et al. (2003), Moura et al. (2009) e Oliveira et al. (2011b), dentre outros, relatam a diminuição da produtividade de grãos do feijão-caupi em relação à diminuição da lâmina de água aplicada, podendo alcançar 100% de perdas. Associado a isto, verificou-se uma maior demanda evapotranspirométrica durante o cultivo da primavera, pois além de maiores temperaturas do ar, a umidade relativa do ar foi menor (70%, em média) contra 76%, em média, no outono. Além disso, a radiação solar também foi mais intensa na primavera (média de 222,4 W m⁻²), quando comparada com o outono (média de 180,1 W m⁻²). Assim, para as condições edafoclimáticas na qual este trabalho foi conduzido, observou-se uma média do consumo hídrico variando de 4,0 a 4,9 mm d⁻¹ (primavera) e 2,3 a 3,5 mm d⁻¹ (outono).

Em uma situação de maior demanda evapotranspirométrica e sem ocorrências de déficit hídrico, há maior intensidade de transpiração vegetal, essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar, o que torna mais intensa a formação de fotoassimilados (BUCHANAN et al., 2000). No contrário, quando a transpiração foliar diminui, pode haver um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade de grãos (TAIZ & ZEIGER, 2004).

No tocante à variável eficiência do uso da água (EUA), o tratamento conduzido com o uso do Ref-ET apresentou a menor média (7,20 kg ha⁻¹ mm⁻¹) diferindo estatisticamente da tensiometria e do Irrígrafo, no cultivo realizado na primavera.

Para o outono, as menores médias foram obtidas com o tanque Classe A ($6,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e o Ref-ET ($6,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), diferindo significativamente do Irrigâmetro. A maior média ocorreu com o manejo da irrigação conduzido com o Irrigâmetro ($10,10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Quando comparadas as épocas de cultivo, percebe-se uma diminuição na EUA entre os cultivos da primavera para o outono, não havendo diferença estatística entre os tratamentos conduzidos com o forno de micro-ondas, Irrigâmetro e Ref-ET. Estes valores, em média, ficaram acima dos obtidos por Ramos (2011), em Teresina, PI, que alcançou $5,73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e $7,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guaribas, respectivamente. Andrade Júnior et al. (2005) relatam EUA variando de $5,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ a $7,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para diferentes lâminas de água. Lacerda et al. (2009) também obtiveram valores abaixo do encontrado nesta pesquisa, sendo igual a $5,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Essa diferença se deve à baixa necessidade de aplicação de lâminas de irrigação no ciclo da cultura associada à diferença na produtividade de grãos secos, que neste estudo alcançou valores elevados, como pode ser observado na Tabela 7.

Ainda pela Tabela 6, verifica-se que, à exceção da EUA, o plantio do feijão-caupi conduzido no outono não apresentou diferença significativa entre as tecnologias para as demais características analisadas, mostrando uma maior homogeneidade dos resultados alcançados com a utilização das diferentes tecnologias de manejo da irrigação, numa condição climática com precipitação pluvial relativamente superior.

De acordo com Pinho et al. (2005), a produtividade do feijão-caupi pode variar, no Oeste da África, de $88,0 \text{ kg ha}^{-1}$ a valores acima de 4.000 kg ha^{-1} . Andrade Júnior et al. (2005) observaram produtividade de grãos secos da variedade BR 17 Gurguéia igual a 2.631 kg ha^{-1} , em Parnaíba, PI, com lâmina de irrigação de $455,0 \text{ mm}$. Andrade Júnior et al. (2002), avaliando os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação sobre a produção de grãos nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, concluíram que a máxima produtividade de grãos (2.809 kg ha^{-1}) para a cultivar BR 17 Gurguéia foi obtida com a lâmina de irrigação correspondente a $449,1 \text{ mm}$.

Tabela 7. Produtividade de grãos secos do feijão-caupi irrigado por aspersão, em função de diferentes tecnologias de manejo da irrigação, em duas épocas de cultivo na região dos Cocais, MA, em 2010/2011.

Tecnologia	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Primavera	Outono
T1	2890,0	2070,0
T2	2438,3	1750,0
T3	2630,0	2221,7
T4	3075,0	1891,7
T5	3266,7	1675,0
T6	2018,3	1720,0
T7	2523,3	1818,3

T1: Determinação da umidade do solo com uso de micro-ondas; T2: Tanque Classe A; T3: Irrigâmetro; T4: Tensiometria; T5: Irrigrafo; T6: Balanço hídrico com o *software* Ref-ET; T7: Balanço hídrico com o *software* Irriplus.

As produtividades de grãos secos encontradas nesta pesquisa, mormente as relativas à primavera, estão superiores à maior parte dos trabalhos mencionados na bibliografia nacional (CARDOSO et al., 1995; SANTOS, 2000; ANDRADE JÚNIOR et al., 2002; LACERDA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011b). Porém, são inferiores aos obtidos nas regiões produtoras dos Estados Unidos (DADSON et al., 2005), onde se pode obter produções de cerca de 7.000 kg ha⁻¹ (SANDEN, 1993 *apud* DADSON et al., 2005). As elevadas produtividades nessas regiões devem-se, em parte, às menores temperaturas noturnas, haja vista que altas temperaturas nas noites durante a floração aumentam a abscisão de flores, sendo esse o principal fator para a redução no número de vagens por planta (NIELSEN & HALL, 1985). Além disto, essas diferenças podem estar associadas às variações nas condições edafoclimáticas, incluindo a duração do dia, e nas cultivares utilizadas, pois o feijão-caupi apresenta ampla variabilidade genética, podendo-se encontrar, nas vastas regiões do planeta, grandes diferenças nas produtividades das cultivares em função dos seus potenciais genéticos, das condições edafoclimáticas e das condições de cultivo (DADSON et al., 2005; FREIRE FILHO et al., 2005; AJEIGBE et al., 2006).

Para este estudo, o manejo da irrigação considerado padrão foi o balanço hídrico realizado com a utilização do *software* Ref-ET (T6), haja vista calcular a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith Padrão FAO.

Assim, utilizando-se o teste de Dunnett pôde-se observar o comportamento desta tecnologia de manejo em relação às demais tecnologias (Tabela 8).

Para as variáveis, altura de plantas (AP) e comprimento de vagens (CV), verifica-se (Tabela 8) que os tratamentos foram estatisticamente semelhantes ao padrão em ambas as épocas de cultivo. Já em relação ao número de vagens por planta (NVP), as tecnologias conduzidas com a tensiometria (T4) e o Irrígrafo (T5), na primavera, diferiram do padrão e foram estatisticamente superiores. Observando-se as duas épocas de cultivo da característica número de grãos por vagem (NGV), nota-se que a tecnologia que determinou a umidade do solo com uso de forno de micro-ondas (T1), na primavera, diferiu do padrão, apresentando-se estatisticamente superior.

No que diz respeito à produtividade de grãos (PG), nas duas épocas de cultivo, apenas a tecnologia T5, na primavera, mostrou-se estatisticamente superior ao padrão. As demais tecnologias não diferiram do controle (T6). Resultado similar em relação à T2 e T4, foi encontrado por Gondim et al. (2000), conduzindo um experimento com feijão-caupi em Pentecoste, CE. Para o cultivo realizado na primavera, em relação à eficiência do uso da água (EUA), as tecnologias T4 e T5 diferiram estatisticamente do controle e se mostraram significativamente superiores. Para o outono, todas as tecnologias não diferiram estatisticamente do tratamento padrão.

Carvalho (2009), avaliando os métodos de manejo de irrigação por tensiometria, tanque Classe A (TCA), e pela evapotranspiração estimada pela equação de Penman Monteith (PM), com o feijoeiro comum em sistemas de plantio direto e convencional, encontraram os métodos do tensiômetro e TCA com uma EUA superior à obtida com PM.

Tabela 8. Médias dos tratamentos em contraste com o controle (Balanço hídrico com o *software* Ref-ET – T6) para altura de plantas (AP), comprimento de vagens (CV), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), produtividade de grãos por planta (PG) e eficiência do uso da água (EUA), para as respectivas épocas de cultivo do feijão-caupi.

Tecnologias	Médias das tecnologias											
	AP		CV		NGV		NVP		PG		EUA	
	EP=1	EP=2	EP=1	EP=2	EP=1	EP=2	EP=1	EP=2	EP=1	EP=2	EP=1	EP=2
T1	77,07	71,53	17,03	16,23	14,82*	13,42	13,58	11,25	17,34	12,42	9,43	7,83
T2	67,58	67,95	16,71	16,53	14,17	13,50	11,82	9,77	14,63	10,50	9,65	6,15
T3	73,90	59,99	17,18	16,31	14,26	12,83	11,83	8,93	15,78	13,33	10,25	10,10
T4	78,15	70,98	16,39*	16,15	14,31	13,10	15,27*	10,60	18,45	11,35	12,18*	7,40
T5	79,62	66,00	16,63*	16,28	14,41	13,23	16,10*	9,30	19,60*	10,05	12,63*	6,70
T6	69,42	68,80	16,62	16,58	13,70	13,56	9,52	9,45	12,11	10,32	7,20	6,05
T7	68,03	69,83	16,25	16,22	13,49	13,29	12,18	9,82	15,14	10,91	10,88	6,90
DMS (Dunnett)	11,54	9,63	0,78	0,73	0,84	0,95	5,23	3,84	6,75	4,45	4,37	2,80

Médias seguidas por * diferem do tratamento controle (T6) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

EP=1: Cultivo realizado na primavera; EP=2: Cultivo realizado no outono; T1: Determinação da umidade do solo com uso de micro-ondas; T2: Tanque Classe A; T3: Irrigâmetro; T4: Tensiometria; T5: Irrígrafo; T6: Balanço hídrico com o *software* Ref-ET; T7: Balanço hídrico com o *software* Irriplus.

4.4 Análise econômica

Um dos objetivos deste trabalho foi analisar economicamente a produção de feijão-caupi irrigado sob diferentes tecnologias de manejo da irrigação, na Região dos Cocais, MA. A expectativa é que, sob condições climáticas distintas, a produtividade da cultura pode variar com as tecnologias de manejo da irrigação, com a recomendação de lâminas distintas, quantitativa e temporalmente. Variando-se o volume de água aplicado, variam os custos inerentes à irrigação. Outra expectativa é que podem haver variações na produtividade e na rentabilidade da cultura, haja vista que os preços dos produtos alteram-se nos períodos de safra e entressafra.

Para tanto, levantou-se o custo de investimento em um sistema de irrigação por aspersão convencional semiportátil capaz de irrigar uma área de 10 hectares. As características hidráulicas gerais do projeto de irrigação são: comprimento da linha lateral = 134 m; comprimento da linha principal = 350 m; comprimento da linha de recalque = 100 m; comprimento da linha de sucção = 5 m; vazão do sistema = 33,6 L s⁻¹; altura manométrica = 57,29 mca; potência da bomba = 40 cv; potência do motor elétrico = 45 cv. Assim, o valor estimado e considerado nesta pesquisa para o referido sistema ficou em R\$ 51.149,65. Entretanto, não fizeram parte deste valor as obras civis, os custos inerentes à elaboração do projeto de irrigação, mão de obra da instalação elétrica e componentes elétricos como: transformador, linha de alta tensão, cabos elétricos e quadro de proteção e partida do motor. Desta maneira, o investimento por hectare foi igual a R\$ 5.114,97 (US\$ 2,527.41)¹. Este valor está acima do estipulado por Souza (2001), citado por Frizzone e Andrade Júnior (2005), de US\$ 875.00 ha⁻¹.

Nesta análise, considerou-se a realização de apenas um cultivo ao ano, realizado na primavera ou outono, na mesma área, devido às implicações agronômicas, tal como doença de solo. No entanto, o produtor normalmente alterna a produção do feijão-caupi com outra cultura também irrigada, como o milho, com o fim de otimizar a utilização da área e do equipamento de irrigação, e manter e compensar o rendimento esperado caso houvesse outro plantio do caupi no período.

Na Tabela 9 são apresentados os custos básicos associados à produção (C_0), o custo de capital referente ao investimento no equipamento de irrigação (C_c), o custo operacional da irrigação (C_w), o custo referente à irrigação (C_i), os custos com a mão

¹ Cotação R\$ 2,0238, em 24/08/2012.

de obra (MO), os custos referentes à manutenção, conservação e reparos no equipamento de irrigação (CMCR), assim como o custo total de produção (CT) do feijão-caupi irrigado sob as diferentes tecnologias de manejo, para duas épocas de cultivo.

Os custos básicos com a produção do feijão-caupi (Co) foram constituídos pelos gastos com aquisição de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos, sementes, preparo do solo (uma aração e uma gradagem), mão de obra para o plantio, a aplicação de agrotóxicos e colheita manual (incluindo o ensacamento).

Tabela 9. Custos por hectare, em reais, para cultivo do feijão-caupi irrigado por aspersão convencional, no biênio 2010/2011, em Codó, MA.

Trat. Época	(R\$ ha ⁻¹)						
	Co ¹	Cc ²	Cw ³	Ci ⁴	CMCR ⁵	MO ⁶	CT ⁷
T1 P	957,00	552,76	138,77	691,53	153,45	232,50	2.034,47
O	957,00	552,76	72,68	625,44	153,45	232,50	1.968,38
T2 P	957,00	552,76	106,39	659,15	153,45	232,50	2.002,10
O	957,00	552,76	85,15	637,92	153,45	232,50	1.980,86
T3 P	957,00	552,76	108,59	661,35	153,45	232,50	2.004,29
O	957,00	552,76	65,80	618,56	153,45	232,50	1.961,50
T4 P	957,00	552,76	106,13	658,89	153,45	232,50	2.001,84
O	957,00	552,76	67,64	620,40	153,45	232,50	1.963,35
T5 P	957,00	552,76	117,73	670,49	153,45	232,50	2.013,43
O	957,00	552,76	64,23	616,99	153,45	232,50	1.959,94
T6 P	957,00	552,76	122,89	675,65	153,45	232,50	2.018,60
O	957,00	552,76	84,02	636,78	153,45	232,50	1.979,73
T7 P	957,00	552,76	93,67	646,43	153,45	232,50	1.989,38
O	957,00	552,76	72,20	624,96	153,45	232,50	1.967,91

1:Co – custos básicos associados à produção; 2:Cc – custo de capital referente ao investimento no equipamento de irrigação; 3:Cw – custo operacional da irrigação; 4:Ci – custo referente à irrigação; 5:CMCR – custo referente à manutenção, conservação e reparos no equipamento de irrigação; 6:MO – custo com mão de obra; 7:CT – custo total de produção; T1 – determinação da umidade do solo com uso do forno de micro-ondas; T2 – tanque Classe A; T3 – Irrigâmetro; T4 – tensiometria; T5 – Irrígrafo; T6 – balanço hídrico com software Ref-ET; T7 – Balanço hídrico com software Irriplus; P – primavera; O – outono.

O valor encontrado para Co de R\$ 957,00 ha⁻¹, é superior ao relatado por Cardoso et al. (1995) de US\$ 322.91 ha⁻¹. Mousinho (2005), avaliando a viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no estado do Piauí, também utilizou este

valor. No entanto, para a taxa vigente à época (US\$ 1.00 = R\$ 2,60) foi o equivalente a R\$ 839,57. Andrade Júnior (2002b) afirmou que o custo médio de produção do feijão-caupi, excetuando-se o custo da água de irrigação, foi US\$ 882.35 ha⁻¹, para condições de solo arenoso e de baixa fertilidade natural. Este valor, como verificado, está acima do encontrado nesta pesquisa. Estas diferenças podem ser atribuídas às constantes variações nos preços dos insumos agrícolas e serviços.

O custo de capital referente ao investimento no equipamento de irrigação (Cc) foi de R\$ 552,76 ha⁻¹ (Tabela 9). Este foi obtido partindo-se de um valor inicial de investimento igual a R\$ 5.114,97 ha⁻¹, com uma taxa de desconto de 6,75% ao ano e uma vida útil do equipamento de 15 anos. Valor mais baixo foi utilizado por Mousinho (2005), que em sua análise usou um custo de aquisição de um sistema de aspersão convencional de US\$ 1,600.00 ha⁻¹ (US\$ 1.00 = R\$ 2,60). Este aumento no custo obtido nesta pesquisa foi devido a alterações nos preços dos componentes. Além disto, há que se relatar que, normalmente, à medida que se aumenta a área do projeto de irrigação há uma tendência à diminuição do custo por hectare, devido à diluição dos custos fixos.

Os custos referentes à irrigação (Ci) variaram conforme a tecnologia de manejo da irrigação, sendo que, para o cultivo realizado na primavera, o manejo conduzido com a determinação da umidade do solo com o forno de micro-ondas (T1) obteve o maior valor (R\$ 691,53 ha⁻¹), e o menor custo com o manejo utilizando o *software* Irriplus (T7) – R\$ 646,43 ha⁻¹. No outono, o custo de irrigação variou de R\$ 616,99 ha⁻¹ com o Irrígrafo (T5) a R\$ 637,92 ha⁻¹ com o tanque Classe A (T2). Turco et al. (2009) também encontraram o manejo realizado com balanço hídrico climatológico utilizando o tanque Classe A com o maior consumo e custo de bombeamento, quando analisaram o consumo e o custo de energia elétrica na cultura do feijoeiro comum irrigado por pivô central, em relação ao manejo efetuado com o tensiômetro em sistema de plantio convencional. Contudo, não perceberam diferenças estatísticas quanto à produtividade de grãos.

O custo operacional da irrigação (Cw) foi calculado utilizando-se o preço da tarifa da energia elétrica igual a R\$ 0,24799 kWh⁻¹, conforme Resolução Homologatória 1.194 especificada em ANEEL (2011).

Para o cômputo do valor da mão de obra (MO), considerou-se apenas três meses de atividade ao ano, haja vista ser este o tempo necessário para o cultivo do feijão-caupi. O custo obtido para este item foi igual a R\$ 232,50 ha⁻¹.

Por fim, o custo total (CT) de produção do feijão-caupi, a exemplo do que ocorreu com o custo de irrigação, obteve valores maiores para a primavera e menores para o outono, com as tecnologias de manejo da irrigação: T1 (R\$ 2.034,47 ha⁻¹) e T7 (R\$ 1.989,38 ha⁻¹), respectivamente, com o maior e menor CT, na primavera e, T2 (R\$ 1.980,86 ha⁻¹) e T5 (R\$ 1.959,94 ha⁻¹), respectivamente, com o maior e menor CT, no outono. Observa-se que a amplitude entre os custos totais no outono foi menor em relação ao cultivo efetuado na primavera (Tabela 9), o que se deve às diferenças nas recomendações de lâminas de irrigação entre as épocas.

Estes valores estão um pouco acima dos obtidos por Mousinho (2005), que simulou cultivos irrigados do feijão-caupi em diferentes cidades do Piauí, e encontrou o custo de produção igual a R\$ 1.629,32 ha⁻¹ (US\$ 626.66, com taxa de câmbio de R\$ 2,60 US\$⁻¹) para São Raimundo Nonato, PI.

Andrade Júnior (2000), com o feijão-caupi irrigado nas condições edafoclimáticas de Parnaíba, PI, em diferentes combinações de épocas de semeadura, nível de manejo e nível de risco de 20%, encontrou, em termos médios, o custo total de produção igual a US\$ 759.01 ha⁻¹ (R\$ 1,85 US\$⁻¹). Ramos (2011), avaliando estratégias de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes em Teresina, PI, obteve um custo de produção em regime irrigado por aspersão convencional, igual a US\$ 882.00 (R\$ 1,70 US\$⁻¹).

No cultivo do feijão-caupi, independente da tecnologia de manejo da irrigação, o custo da energia elétrica variou de 4,7% a 6,8% e de 3,3% a 4,3% do custo total de produção, respectivamente, para os cultivos da primavera e outono. Estes percentuais aproximaram-se bastante da faixa de variação de 4,6 % a 6,2 % obtida por Andrade Júnior (2000), principalmente no que se refere à primavera.

Ressaltando-se as Equações 27 e 28, que retratam a função de custo total de produção, observa-se que o custo fixo (C_f) é obtido pela soma dos custos básicos associados à produção (C_o), custos de capital referente ao investimento no equipamento de irrigação (C_c), custo de manutenção, conservação e reparo dos equipamentos (CMCR) e, custos com mão de obra (MO). Assim, o custo fixo foi R\$ 1.895,71 ha⁻¹.

Com uso da Equação 29, obtém-se o custo da lâmina de irrigação (C_{wa}), que foi de R\$ 0,5954123 ha⁻¹ mm⁻¹. Desta maneira, utilizando-se a Equação 30, observou-se que o custo total por hectare da produção do feijão-caupi irrigado por aspersão

convencional, nas condições edafoclimáticas da região dos cocais maranhenses, obtidos neste estudo, pode ser expresso por:

$$CT (w) = 1.895,71 + 0,5954123 W \quad (38)$$

sendo W = lâmina de irrigação (mm).

4.4.1 Sob a ótica da renda e do custo

O estudo da rentabilidade do cultivo de feijão-caupi irrigado, sob a ótica da renda e do custo, foi analisado por meio dos indicadores econômicos: receita bruta, receita líquida, ponto de equilíbrio e índice de lucratividade, e estão expostos na Tabela 10.

Tabela 10. Indicadores econômicos da rentabilidade do feijão-caupi irrigado sob diferentes tecnologias de manejo, em duas épocas de cultivo, no biênio 2010/2011, em Codó, MA.

Tratamento	Época	Prod. (kg ha ⁻¹)	CT ¹ (R\$ ha ⁻¹)	Preço (R\$ kg ⁻¹)	RB ² (R\$ ha ⁻¹)	PE ³	RL ⁴	IL ⁵
T1	P	2.890,59	2.034,47	3,05	8.816,30	667,04	6.781,82	76,9
	O	2.070,73	1.968,38	2,10	4.348,53	937,33	2.380,15	54,7
T2	P	2.438,35	2.002,10	3,05	7.436,95	656,43	5.434,85	73,1
	O	1.749,19	1.980,86	2,10	3.673,30	943,27	1.692,44	46,1
T3	P	2.630,20	2.004,29	3,05	8.022,10	657,14	6.017,81	75,0
	O	2.221,70	1.961,50	2,10	4.665,57	934,05	2.704,07	58,0
T4	P	3.075,17	2.001,84	3,05	9.379,26	656,34	7.377,42	78,7
	O	1.892,37	1.963,35	2,10	3.973,98	934,93	2.010,63	50,6
T5	P	3.266,70	2.013,43	3,05	9.963,44	660,14	7.950,00	79,8
	O	1.674,20	1.959,94	2,10	3.515,82	933,30	1.555,89	44,3
T6	P	2.017,62	2.018,60	3,05	6.153,75	661,84	4.135,15	67,2
	O	1.720,74	1.979,73	2,10	3.613,56	942,73	1.633,83	45,2
T7	P	2.524,10	1.989,38	3,05	7.698,50	652,25	5.709,12	74,2
	O	1.818,65	1.967,91	2,10	3.819,17	937,10	1.851,26	48,5

1: CT – custo total de produção; 2: RB – receita bruta; 3: PE – ponto de equilíbrio; 4: RL – receita líquida; 5: IL – índice de lucratividade; T1 – determinação da umidade do solo com uso do forno de micro-ondas; T2 – tanque Classe A; T3 – Irrigâmetro; T4 – tensiometria; T5 – Irrígrafo; T6 – balanço hídrico com *software* Ref-ET; T7 – Balanço hídrico com *software* Irriplus; P – primavera; O – outono.

A receita bruta (RB) foi obtida como o produto da multiplicação da produtividade de grãos secos pelo preço unitário do feijão-caupi. A obtenção dos preços foi resultado de pesquisa realizada no município de Codó, MA, pertencente à região dos cocais, com aplicação de questionário semi-estruturado junto aos produtores rurais, comerciantes intermediários e varejistas, no período de 2010 a 2012, durante as safras e entressafras dos respectivos anos. O propósito dos questionários terem sido aplicados em três elos da cadeia produtiva do feijão-caupi foi, unicamente, para confrontar as informações acerca do preço do produto, não tendo o objetivo de estudar a cadeia como um todo. Desta forma, considerou-se os preços médios pagos ao produtor para o período em análise iguais a R\$ 3,05 kg⁻¹ na entressafra (primavera) e R\$ 2,10 kg⁻¹ na safra (outono). Embora elevados, estes preços estão abaixo dos valores médios encontrados por Alves et al. (2009), quando realizaram avaliação agroeconômica da produção consorciada do feijão-caupi e mandioca em Boa Vista, RR, que obtiveram preços médios iguais a R\$ 4,00 kg⁻¹.

O manejo da irrigação conduzido com o irrigrafo (T5) permitiu as maiores receitas bruta e líquida (RL) por hectare, no cultivo realizado na primavera. No entanto, foi a tecnologia que proporcionou as menores RB e RL no outono (Tabela 10). Na primavera, as menores receitas foram obtidas com o manejo realizado com o balanço hídrico com uso do *software* Ref-ET (T6) (ALLEN, 2000). Sendo que, no outono, as maiores RB e RL foram conseguidas com manejo conduzido com o irrigâmetro (T3). Ou seja, as recomendações efetuadas no manejo realizado pelo irrigrafo e irrigâmetro permitiram as melhores receitas líquidas para os cultivos realizados na primavera e outono, respectivamente.

Mousinho (2005), variando níveis de risco, capacidade de armazenamento de água no solo e datas de semeadura, no Piauí, encontrou renda líquida para o cultivo do feijão-caupi irrigado de US\$ 539.96 ha⁻¹, para plantio em fevereiro e risco de 75%. Esta receita foi menor que as encontradas neste trabalho.

Melo et al. (2006), trabalhando com o sistema de produção do consórcio de mamona e feijão-caupi, encontraram receita líquida com a comercialização de grão seco do feijão-caupi, que foi suficiente para cobrir o custo variável total do sistema do consórcio.

Vale ressaltar a grande variação da receita líquida nas épocas de cultivo do feijão-caupi obtida com o manejo da irrigação realizado com as diferentes tecnologias, sendo de 47,99% e 42,46% para os cultivos da primavera e outono,

respectivamente. Verificou-se uma redução média de 67,15% na receita líquida no outono em relação ao primeiro cultivo, sendo o irrigrafo (80,43%) a tecnologia que mais variou entre as épocas. O manejo realizado com o irrigâmetro permitiu a menor variação da receita líquida entre épocas (55,07%); mesmo assim, ainda é considerada elevada (Tabela 10).

Com o aumento das lâminas de irrigação há aumento dos custos com energia elétrica, que por sua vez majoram os custos totais de produção e, com isto, auxilia na diminuição da receita líquida. Entretanto, é importante mencionar que, neste trabalho, não houve coincidência das tecnologias que recomendaram maior lâmina total de água lograrem menores receitas brutas e líquidas, pois também houve variações na produtividade de grãos. Resultados diferentes foram encontrados por Franke & Dorfman (1998) e Mousinho (2005).

Isto se deve ao fato de ter sido variada a tecnologia de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi que, por suas características intrínsecas, recomendaram lâminas distintas em turnos de rega distintos. Portanto, ressalta-se a importância não apenas da lâmina total de água aplicada como também da frequência com que esta água foi aplicada, implicando em diferentes produtividades de grãos secos. Assim, tecnologias de manejo que recomendaram lâminas de irrigação com proximidade em magnitude proporcionaram diferentes produtividades.

Ainda pela Tabela 10, percebe-se a variação entre os pontos de equilíbrio (PE) das tecnologias. Este ponto representa a quantidade de produto que deve ser produzido e comercializado para que as receitas se igualem aos custos totais de produção. Nos dizeres de Horngren et al. (2004), este é o ponto a partir do qual todos os custos incorridos na produção serão cobertos.

Assim, verificou-se que o ponto de equilíbrio (PE) da tecnologia de manejo que utilizou o irriplus (T7) foi o menor para a primavera. Resultado do menor custo total de produção obtido entre as tecnologias e um bom preço do produto. Portanto, para que sejam cobertos os custos incorridos na produção do feijão-caupi irrigado com manejo efetuado com esta tecnologia, há a necessidade de se obter uma produtividade mínima de 652,25 kg ha⁻¹, dado o preço de mercado. Sendo que, para o maior ponto de equilíbrio observado (T1 – determinação da umidade do solo com micro-ondas), os custos totais de produção seriam cobertos desde que se obtivesse uma produtividade mínima de 667,04 kg ha⁻¹. Esta pequena variação de PE adveio das pequenas diferenças nos custos de produção do feijão-caupi com uso das

tecnologias de manejo da irrigação testadas. Essa análise é importante no sentido de identificar a produtividade mínima exigida da cultura, mantidos o nível de preço de venda e os custos de produção, a partir do que as receitas superam os custos totais de produção. Desse modo, independente da tecnologia de manejo adotada, nota-se que facilmente as produtividades de grãos secos superaram as quantidades assinaladas pelo ponto de equilíbrio.

Para o outono, o tratamento de menor ponto de equilíbrio foi o Irrígrafo (T5), apontando para uma produtividade mínima de 933,30 kg ha⁻¹. E o maior ficou por conta do tanque Classe A (T2), com 943,27 kg ha⁻¹. Este aumento do PE entre as épocas se deve ao fato do preço do produto ter sofrido uma diminuição de 31% (período de safra), ao passo que os custos totais de produção foram reduzidos, em média, em apenas 2%.

O índice de lucratividade (IL) mostra a taxa disponível de receita da produção de feijão-caupi após o pagamento de todos os custos. Da Tabela 10, pode-se verificar que, em média, o IL foi igual a 74,97% para a primavera e 49,61% para o outono. Sendo que os maiores índices de lucratividade foram obtidos com as tecnologias de manejo, Irrígrafo (79,8%) e Irrigâmetro (58,0%) para a primavera e outono, respectivamente. Já os menores IL advieram do uso dos manejos realizados com o Ref-ET (67,2% - primavera) e Irrígrafo (44,3% - outono). O fato de o Irrígrafo ter apresentado o menor índice de lucratividade no outono é devido à redução significativa na produtividade ocorrida no segundo plantio.

4.4.2 Sob a ótica da teoria de investimento

A análise de viabilidade econômica da produção de feijão-caupi irrigado com manejo realizado por diferentes tecnologias para as condições edafoclimáticas da região dos cocais, MA, em épocas de safra (outono) e entressafra (primavera), foi efetuada com base nos fluxos líquidos de caixa esperados (exibidos no APÊNDICE A). Estes foram construídos partindo-se de um investimento inicial no equipamento de irrigação de R\$ 5.114,97 ha⁻¹, por um horizonte temporal de 15 anos, a uma taxa de desconto igual a 6,75% ao ano. O valor residual foi considerado nulo, visto que o horizonte temporal do projeto e a vida útil do equipamento de irrigação terem coincidido para esta análise.

Os resultados das tecnologias de manejo da irrigação sobre a produção do feijão-caupi na análise da viabilidade econômica estão apresentados na Tabela 11. Como se vê, independente da tecnologia adotada e épocas de cultivo, os indicadores apontam para um investimento viável, considerando as condições edafoclimáticas da região dos cocais maranhenses. Resultado semelhante foi obtido por Mousinho (2005), indicando que a prática da irrigação garante a viabilidade econômica do cultivo do feijão-caupi, independentemente da época do ano. Andrade Júnior (2000) também apontou para a viabilidade da produção irrigada do feijão-caupi, independente da época de semeadura, desde que a irrigação fosse bem manejada. Ramos (2011) avaliou estratégias de irrigação do feijão-caupi para a produção de grãos verdes em Teresina, PI, e também encontrou viabilidade econômica do manejo de irrigação para produção de grãos verdes ou vagens verdes do feijão-caupi.

Tabela 11. Indicadores de viabilidade econômica do feijão-caupi irrigado em função de diferentes tecnologias de manejo, em duas épocas de cultivo, em Codó, MA.

Tratamento	Época de cultivo	Indicadores de viabilidade		
		VPL ¹ (R\$)	TIR ² (%)	B/C ³
T1	P	57.640,64	132,59	3,41
	O	16.909,78	46,38	1,72
T2	P	45.176,38	106,25	2,91
	O	10.546,01	32,61	1,45
T3	P	50.570,08	117,65	3,14
	O	19.907,12	52,77	1,86
T4	P	63.151,94	144,23	3,67
	O	13.490,38	39,03	1,58
T5	P	68.450,40	155,43	3,88
	O	9.282,36	29,81	1,40
T6	P	33.149,61	80,83	2,39
	O	10.003,67	31,41	1,43
T7	P	47.714,34	111,61	3,03
	O	12.015,65	35,83	1,52

1: VPL – Valor presente líquido; 2: TIR – taxa intera de retorno; 3: B/C – relação benefício custo; T1 – determinação da umidade do solo com uso do forno de micro-ondas; T2 – tanque Classe A; T3 – Irrigâmetro; T4 – tensiometria; T5 – Irrigrafo; T6 – balanço hídrico com software Ref-ET; T7 – Balanço hídrico com software Irriplus; P – primavera; O – outono.

O valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e a relação benefício custo (B/C) foram maiores com o manejo da irrigação realizado com o Irrígrafo (T5) e com o Irrigâmetro (T3) nos cultivos da primavera e outono, respectivamente. Os menores valores foram obtidos com os cultivos cuja irrigação foram manejados com o auxílio do *software* Ref-ET (T6), na primavera (entressafra), e o Irrígrafo, no outono (safra). As demais tecnologias tiveram valores intermediários.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 14, verifica-se que o valor do VPL para o Irrígrafo, na primavera, foi R\$ 68.450,40 ha⁻¹, ao passo que no outono foi de R\$ 9.282,61 ha⁻¹. Com o Ref-ET, o VPL, na entressafra, foi de R\$ 33.149,61 ha⁻¹ e, o Irrigâmetro, na safra, de R\$ 19.907,12 ha⁻¹. Assim, percebe-se que mesmo os menores valores de VPL sugerem bons retornos da atividade ao investidor. Ou seja, o produtor recuperaria seu capital, incrementando seu valor em um montante igual ao valor apresentado pelo VPL. A variação do VPL entre as tecnologias de manejo da irrigação no cultivo da primavera foi equivalente a 106,5%, ao passo que no outono foi de 114,5%. Quando se observa a redução entre cultivos, verifica-se uma variação média de 322,5% no segundo (outono) em relação ao primeiro plantio (primavera). Ou seja, uma grande diminuição da rentabilidade da cultura no cultivo efetuado no outono, pois além de ter proporcionado menores produtividades, os preços do produto foram menores.

A TIR calculada foi, em média, igual a 121,2% e 38,3% para os cultivos da primavera e do outono, respectivamente, havendo uma variação média entre as épocas de cultivo de 227,8%. No cultivo realizado na primavera, a TIR variou de 155,43% a 80,83%, sendo que no outono variou de 52,77% a 29,81%. Estas taxas mostraram-se muito atrativas, principalmente num cenário econômico como o atual, de queda da taxa de juros. Comparando-se a TIR com a taxa de desconto de 6,75% ao ano, nota-se que todos os tratamentos apresentam-se economicamente viáveis. Na primavera, o manejo da irrigação realizado com o irrígrafo permitiu uma TIR de 155,43%, apresentando maior retorno ao capital investido. Já o menor retorno, foi conseguido com o balanço hídrico utilizando-se do *software* Ref-ET (80,83%). No cultivo do outono, o irrígrafo possibilitou a TIR de 29,81%, classificando-o como a tecnologia com menor TIR, dentre as tecnologias de manejo da irrigação estudadas. Para esta época, o maior valor da TIR foi obtido com uso do irrigâmetro (52,77%). Estes valores da TIR classificam o investimento na produção de feijão-caupi irrigado

como bastante atrativo, independente da época de cultivo e da tecnologia de manejo da irrigação utilizada.

Há que se ressaltar que estes valores foram obtidos em uma análise na qual não se considerou o risco na atividade.

Corroborando mais uma vez os resultados, os valores do indicador relação benefício-custo (B/C) evidenciam que o manejo da irrigação realizado com o irrigrafo (3,88), para a primavera, e o irrigâmetro (1,86), para o outono, foram as tecnologias que proporcionaram a maior rentabilidade na produção de feijão-caupi. A média da B/C foi 3,2 e 1,6 para os cultivos da primavera e outono, respectivamente. Ou seja, para cada R\$ 1,00 investido, a atividade permitiu um retorno líquido de R\$ 3,20 ou R\$ 1,60, em média.

É importante ressaltar que os resultados econômicos originados desta pesquisa foram gerados por meio de fluxos de caixa determinísticos, ou seja, considerando-se todas as variáveis (receitas e custos) constantes ao longo do tempo. Além disto, não foi realizada análise de sensibilidade do VPL; isto é, não se analisou mudança no VPL ao se alterar parâmetros relevantes, tais como taxa de juros, preço do produto, custos, etc.

Valores de B/C superiores aos encontrados neste trabalho foram obtidos por Alves et al. (2009), quando avaliaram economicamente a produtividade de feijão-caupi em consórcio com mandioca, em Roraima, e achou valores iguais a 5,75.

Portanto, nesta pesquisa, verificou-se que mesmo a menor rentabilidade obtida com o cultivo do feijão-caupi irrigado na primavera (entressafra) ainda é superior à obtida no outono (safra), independentemente da tecnologia de manejo adotada. Pois, associado à maior produtividade de grãos secos, o preço do produto na época de entressafra foi mais atrativo (o que é comum) para o período em análise. Ou seja, visto que se considerou apenas um cultivo do feijão-caupi por ano, na mesma área, observou-se que a época da semeadura na primavera foi mais rentável, para as condições edafoclimáticas pesquisadas.

Embora a produção do feijão-caupi tenha se mostrado economicamente atrativa com uso de qualquer uma das tecnologias de manejo da irrigação estudadas, as tecnologias, além do irrigrafo e irrigâmetro, que permitiram maiores rentabilidades foram a tensiometria (primavera) e o balanço hídrico com determinação da umidade do solo com uso de forno de micro-ondas (para os cultivos da primavera e outono).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e, considerando as condições em que a pesquisa foi desenvolvida, pode-se concluir que:

- As diferentes tecnologias de manejo da irrigação recomendaram lâminas distintas temporal e quantitativamente nos cultivos do feijão-caupi;
- Diferenças significativas na produtividade de grãos secos de feijão-caupi entre as tecnologias foram verificadas no cultivo da primavera, não sendo percebida no outono;
- À exceção do manejo realizado pelo irrigômetro e balanço hídrico com o *software* Ref-ET, observou-se uma redução significativa na produtividade de grãos secos do feijão-caupi entre os cultivos da primavera e outono;
- O plantio conduzido no outono (safra) não apresentou diferença estatística entre as tecnologias de manejo da irrigação para as características analisadas, fazendo-se exceção à eficiência do uso da água;
- Quanto à produtividade de grãos secos do feijão-caupi, o irrigômetro e a tensiometria, na primavera (entressafra), apresentaram diferenças significativas em relação ao manejo da irrigação padrão (Ref-ET), mostrando-se superior;
- O investimento na produção do feijão-caupi irrigado por aspersão convencional, nas condições edafoclimáticas da região dos cocais maranhenses, mostrou-se viável independentemente da época de cultivo e/ou tecnologia de manejo adotada;
- Entre as épocas de cultivo, observou-se que o plantio conduzido na primavera foi mais rentável para todos os tratamentos;
- A maior rentabilidade foi obtida com o manejo da irrigação realizado com o irrigômetro, na primavera, e com o irrigômetro, no outono.

6 REFERÊNCIAS

ADEKALU, K.O., OKUNADE, D.A. Evaluation of crop yield models for cowpea in Nigeria. **Irrigation Science** 26: 385–393, 2008.

AGUIAR, J.V.de.; LEÃO, M.C.S.; SAUNDERS, L.C.U. Determinação do consumo de água pelo caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) irrigado em Bragança, PA. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, 23 (1/2): pág.33-37, 1992.

AJEIGBE, H.A.; MOHAMMED, S.G.; SINGH, B.B. Comparative assessment of yield potentials of improved cowpea breeding lines using performance index and ranking methods. **Journal of Food Agriculture and Environment**, Helsinki, v.4, n.1, p.95-98, 2006.

ALLEN, R. G. REF-ET: **Reference evapotranspiration calculator**, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 319p. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.

ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; 2, SILVA, A. J.; SILVA, L. C.; BARROS M. M. Competição de cultivares de feijão-caupi em área de cerrado no município de Boa Vista, Roraima. **Anais**. Congresso Nacional de Feijão-Caupi. Teresina PI. 2006.

ANDRADE JUNIOR, A.S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 2000.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. **Irrigação**. In: A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil. CARDOSO, M. J. (Org.) Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000, p. 127-154. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28).

ANDRADE JUNIOR, A.S.; RODRIGUES, B.H.N.; FRIZZONE, J.A.; CARDOSO, M.J.; BASTOS, E.A.; MELO, F.B. Níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.17-20, 2002.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108p. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2). Editor Técnico: Valdenir Queiroz Ribeiro.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. **Irrigação**. In: Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Editores técnicos: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.29-92, 2005.

ANEEL, **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução homologatória nº 1.194, de 23 de agosto de 2011.

ARÊDES, A. F. de. **Avaliação econômica da irrigação do cafeeiro em uma região tradicionalmente produtora**. Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Viçosa. 89 p. Viçosa – MG, 2006.

ARÊDES, A. F. de; PEREIRA, M. W. G.; GOMES, M. F. M.; RUFINO, J. L. S. Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia da UEG**, Anápolis – GO, Vol. 05, nº 01, 2009.

BASTOS, E.A. **Adaptação do modelo CROPGRO para simulação do crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*)**. 1999. 105 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BASTOS, E.A.; FERREIRA, V.M.; SILVA, C.R.; ANDRADE JUNIOR, A.S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguia, Piauí. **Revista Irriga, Botucatu**, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.

BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FERREIRA, V.M.; SILVA, C.R.; AGUIAR NETTO, A.O. **Crop coefficient of cowpea bean in Piauí State, Brazil**. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). Canadá, 2010.

BERNARDO, S. **Impacto Ambiental da Irrigação no Brasil**. In. II Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação (Winotec) & I Simpósio Brasileiro sobre o Uso Múltiplo da Água – Palestra, Fortaleza, CE, 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**, 8ª ed, Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, 144 p. 2006.

BEZERRA, A. A. de C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.10, p.1239-1245, out. 2009.

BEZERRA, F. M.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Vol. 34, Nº 1, 2003.

BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; DEUS, F. P.; MESQUITA, M. Diferentes sistemas de manejo do solo no consumo de água do feijoeiro irrigado em campinas-sp. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, nº. 3, p.143-152, 2011.

BLANCO, F. F.; MACHADO, C. C.; COELHO, R. D.; FOLEGATTI, M. V. Viabilidade econômica da irrigação da manga para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.153-159, 2004.

BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.5, p.524-530, 2011.

BNB, Banco do Nordeste do Brasil. **Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste**: FNE 2012, Programação Regional. Fortaleza, CE, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 399 p., 2009.

BRITO, L.T.de; CAVALCANTI, N.de B.; SILVA, A.de S. PEREIRA, L.A. **Produtividade da água de chuva em feijão-caupi em condições semi-áridas**. 7º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. 2009.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 226 p.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000.1408p.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B.; ROCHA, M. de M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, n. 2, p. 110-116, 2000.

CARDOSO, M.J.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MELO, F.B.; FROTA, A.B. **Avaliação Agroeconômica da produção de sementes de caupi sob irrigação**. Teresina: EMBRAPA/CPAMN, 1995, 6p. Comunicado Técnico, 62.

CARDOSO SOBRINHO, J. **Simulação e avaliação de sistemas de secagem de café**. Tese (Doutorado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 120 p., 2001.

CARVALHO, J. A.; PEREIRA, G. M.; ANDRADE, M. J. B.; ROQUE, M. W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Ciência agrotecnológica**, Lavras, MG, v.24, n.3, p.710-717, jul./set., 2000.

CARVALHO, J. J. **Comparação de métodos de manejo da irrigação no feijoeiro, nos sistemas plantio direto e convencional**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2009.

CARVALHO, J. F.; SILVA, E, F, F.; SANTOS, M. H. V. LIMA, N. S. et al. **Evapotranspiração do feijão-caupi estimado por métodos de evapotranspiração de referência**. X Jornada de ensino, pesquisa e extensão – Jepex– UFRPE: Recife, PE, 2010.

CASTRO, L.G. **Dinâmica da água em terraços de infiltração**. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 2001.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Revista Bahia Agrícola**, v.7, n.1, set. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Metodologia de cálculo dos custos de produção agrícola**. Brasília: CONAB, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 de novembro de 2009.

CONTIN, F.S. **Tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2008.

CUNHA, P. C. R. da. **Manejo da irrigação do feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária**. Dissertação (mestrado) – Escola de agronomia e engenharia de alimentos – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

DADSON, R.B.; HASHEM, F.M.; JAVAID, I.; JOSHI, J.; ALLEN, A.L.; DEVINE, T.E. Effect of water stress on the yield of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] genotypes in the Delmarva region of the United States. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Malden, v.191, n.2, p.210-217, 2005.

DAVIS, D.W.; OELKE, E.A.; OPLINGER, E.S.; DOLL, J.D.; HANSON, C.V.; PUTNAM, D.H. **Cowpea**. University of Minnesota, USA, 2011.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Software: Soil water retention curve**, versão 3.00, Piracicaba, SP, 2001.

DUARTE, J.A. L.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; MASCHIO, R.; SILVA, N.S. **Coefficiente de cultivo do feijão-caupi, cv. Brs Guariba, em Teresina, Piauí**. XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2009.

EHLERS, J.D., HALL, A.E. **Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Field Crops Research, Amsterdam, v.53, n.1-3, p.187-204, 1997.

ELLIS, R.H.; LAWER, R.J.; SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H.; CHAY, P.M.; BROUWER, J.B.; ROSE, J.L.; YEATES, S.J. Towards the reliable prediction on time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, v.30, p.17-29, 1994.

ESPÍNDULA NETO, D. **Resposta do mamoeiro a diferentes lâminas de irrigação, sistemas de microaspersão e manejo do solo utilizados na região norte do Espírito Santo**. Dissertação (mestrado) do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 133 p., 2007.

FANCELLI, A. L., DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. 2. ed. Piracicaba: Publique, 1997. 182p.

FARIA, M. T.; GUIRRA, A. P. P. M.; TURCO, J. E. P.; FERNANDES, E. J. **Desempenho produtivo do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado com dois manejos de irrigação**. Anais do XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011, Cuiabá - MT, 2011.

FAO (2010) FAO. FAOSTAT. **Crops. Cow peas, dry**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 04 de março de 2010.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo de irrigação em cultura de soja. **Revista Irriga**, Botucatu, SP, v. 8, n. 2, p 132-141, 2003.

FERREIRA, C.M.; PELOSO, M.J.D.; FARIA, L.C. **Feijão na economia nacional**. Documentos Embrapa, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. 47 p., 2002.

FERREIRA, V.M.; BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J.; MASCHIO, R.; SILVA, E.M. **Cowpea crop coefficient in Teresina, Piauí State, Brazil**. CIGR - International Conference of Agricultural Engineering. XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2008.

FIGUEIREDO, M. G.; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scien. Agronomica**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.

FRANKE, A. E. **Avaliação econômica da irrigação, sob condições de risco, nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio de Missões, RS**. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996, 116 p.

FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. Viabilidade econômica da irrigação sob condições de risco, em regiões de clima subtropical. I Cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 12, p. 2003-2013, 1998.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica. 2005, 519 p.

FRIZZONE, J. A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 15, único, p. 37-56, 2004.

FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ/LER, 2005. 371p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.1, n.1, p.24–49, Fortaleza, CE, 2007.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

FROTA, K.M.G.; SOARES, R.A.M.; ARÊAS, J.A.G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, São Paulo, 28(2), p 470-476, abr.-jun., 2008.

GABIEIRO, D. M.; DIAS, A. S. C.; MOURA, B. R.; MANTOVANI, E. C.; SANTOS, I. C. **Métodos de manejo da irrigação na cultura da alface em ambiente protegido e não protegido**. (Manuscrito), 2006.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1275-1284, 2009.

GIOVANELLI, L. B.; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, E. M.; MOREIRA, V.C.; OLIVEIRA, R. M. Estudo comparativo da tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto e convencional. XXXVIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2010a.

GIOVANELLI, L. B.; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, E. M.; MOREIRA, V.C.; OLIVEIRA, R. M. Estudo comparativo de desempenho do irrigâmetro com diversos métodos de manejo de irrigação, em condições de ambiente protegido. XXXVIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2010b.

GONDIM, R.S.; AGUIAR, J.V.; COSTA, R.N.T. Estratégia de manejo de água em caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.4, n.1, p.14-18, 2000.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. **Agronomy Journal**, vol. 93, march–april, 2001.

HORNGREN, C. T.; FOSTER, G.; DATAR, S. M. **Contabilidade de Custos**. 11 ed. Vols 1 e 2. São Paulo: Pearson-Prentice Hall, 2004.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 21, n. 12, p. 1-80, 2009.

JOBIM, C. I.; MATTUELLA, J.; LOUZADA, J. A. Viabilidade econômica da irrigação do feijão no Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista de gestão de água da américa latina**. Vol. 6, no. 1, p. 5-15, jan./jun. 2009.

LACERDA, C.F.; NEVES, A.L.R.; GUIMARÃES, F.V.V.; SILVA, F.L.B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.29, p.221-230, 2009.

LAM-SANCHEZ, A.; DURIGAN, J.F.; CAMPOS, S.L.de; SILVESTRE, S.R.; PEDROSO, P.A.P.; BANZATTO, D.A. Efeitos da época de semeadura sobre a composição química e características físico-químicas de grãos de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus angularis* (Willd), e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Revista Alim. Nutr.**, São Paulo, SP, 2, p. 35-44, 1990.

LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão-caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, p. 89-95, 2006.

LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 01, p. 89-100, 2004.

LOPES, A. S. **Manejo do solo e da irrigação na cultura do feijoeiro sob pivô central**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, 141 p., 2006.

LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; SOUTO FILHO, S. N.; GOES, R. J.; CAMACHO, M. A. Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 51-56, 2011.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2ª edição, Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, 358 p., 2007.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para controle de irrigação em hortaliças**. Circular Técnica nº 57. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF. 2008.

MATOS FILHO, C.H.A.; GOMES, R.L.F.; ROCHA, M.M.; FREIRE FILHO, F.R.; LOPES, A.C. de A. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.2, p.348-354, 2009.

MATOS, C. M. **Viabilidade e análise de risco de projetos de irrigação**: estudo de caso do Projeto Jequitaiá (MG). Viçosa, MG: UFV, 2002. 142 f. Tese (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

MELO, F. de B.; CARDOSO, M. J.; NEVES, A. C. das. **Avaliação agroeconômica do sistema de produção do consórcio de mamona e feijão-caupi**. In: Congresso Nacional de Feijão-caupi. Resumos. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2006.

MENDES, J.T.G. **Economia agrícola: princípios básicos e aplicações**. Curitiba, PR. Ed. ZNT Ltda, 2ª edição, 1998. 458 p.

MENDONÇA, T. G.; LÍRIO, V. S.; MOURA, A. D.; REIS, B. C.; SILVEIRA, S. F. R. Avaliação da viabilidade econômica da produção de mamão em sistema convencional e de produção integrada de frutas. **Revista econômica do nordeste**, v. 40, n. 04, 2009.

MORAIS, N. B. *et al.* Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 369-377, 2008.

MOURA, M.S.B. de; SOUZA, L.S.B. de; SILVA, T.G.F.; BRANDÃO, E.O.; SOARES, J. M. **Efeito da Lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semi-árido brasileiro.** XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Juazeiro-BA e Petrolina-PE, 2009.

MOUSINHO, F.E.P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no estado do Piauí.** Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, SP, 103 p, 2005.

NIELSEN, C.L.; HALL, A.E. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the field to high night air temperature during flowering. II. Plant responses. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v.10, p.181-196, 1985.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.437-443, 2001.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica.** Ed. Atlas, 2ª edição, 269 p., 1987.

OLIVEIRA, S.de. Novo grão no cerrado. **Revista Globo Rural**, São Paulo, SP, ano 26, nº 302, p. 46-49, dez. 2010.

OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, R. A.; PAULA, A. L. T.; BAPTESTINI, J. C. M.; CAIXETA, S. P.; GIOVANELLI, L. B. Desempenho do irrigâmetro no manejo da irrigação no Perímetro Irrigado do Jaíba, MG, Brasil. **Revista Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 157-164, 2011a.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M.; FERREIRA, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 42, n. 4, p. 872-882, out-dez, 2011b.

OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, R. M.; GIOVANELLI, L. B.; BAPTESTINI, J. C. M. **Desempenho do irrigâmetro comparativamente a outros métodos de manejo da irrigação do feijoeiro.** Anais do XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011, Cuiabá - MT, 2011c.

OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECOM, P. R. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.2, p.166–173, Campina Grande, PB, 2008.

OLIVEIRA, R.A.; RAMOS, M.M. **Manual do irrigâmetro.** 1ª edição, Viçosa, Minas Gerais, 2008.

PAVANI, L.C.; LOPES, A.S.; GALBEIRO, R.B. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, São Paulo, v.28, n.1, p.12-21, 2008.

PINHO, J. L. N. de; TÁVORA, F. J. A. F.; GONÇALVES, J.A. **Aspectos fisiológicos**. In: Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Editores técnicos: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.29-92, 2005.

RAMOS, H. M. M. **Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Agronomia/Produção Vegetal da Universidade Federal do Piauí. Teresina, 109 p, 2011.

RIBEIRO, V.Q.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E.A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo de feijão-caupi**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, Sistemas de Produção, 2003. Versão eletrônica. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/sistemaproducao/FeijaoCaupi/index.htm>>. Acesso em: 15 de agosto de 2010.

RIGBY, D.; ALCON, F.; BURTON, M. Supply uncertainty and the economic value of irrigation water. **European Review of Agricultural Economics**. Vol 37 (1), pp. 97–117, 2010.

ROCHA, I. B. **Produção da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada nas condições edafoclimáticas da região do Alto Paranaíba: avaliação econômica e determinação do coeficiente de cultura**. Tese (Doutorado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2003.

SANTOS, C.A.F.; ARAÚJO, F.P. de; MENEZES, E.A. Comportamento Produtivo de Caupi em Regimes Irrigado e de Sequeiro em Petrolina e Juazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2229-2234, nov. 2000.

SILVA, J. A. L. da; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, jul-set, 2011.

SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A. de; REIS, R. P.; SANTANA, M. J. de; MATTIOLI, W. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.1, p.200-205, jan./fev. 2007.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4, n.2, p.183-188, 2000.

SOUZA, J. L. M. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro**. 2001; 253 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

TAGLIAFERRI, C.; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, E. M. de; BAPTESTINI, J. C. B.; SANTOS, L. C. Desempenho do irrigâmetro no manejo da água de irrigação na cultura do feijoeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 23, n. 3, p. 110-117, 2010.

TAGLIAFERRI, C.; OLIVEIRA, R. A. de; SEDIYAMA, G. C.; CECON, R.; MATERÁN, F. J. V. Uso do irrigâmetro para estimar a evapotranspiração de referência com base no método do lisímetro de lençol freático constante. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, V.19 N.2, p. 152-163, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 719 p.

TAVARES, M.H.F.; CARDOSO, D.L.; GENTELINI, D.P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E.A. **Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo**. Semina: Ciência Agrárias, Londrina, v. 29, n.3, p. 529-538, 2008.

TURCO, J. E. P.; RIZZATTI, G. dos S.; PAVANI, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.311-320, abr./jun. 2009.

VAN GENUCHTEN, M. Th; NIELSEN, D. R. A closed – form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VILARINHO, A. A. *et al.* **Recomendação do cultivar de feijao-caupi BRS Novaera para cultivo em Roraima**. Boa Vista, 2006. 5 p. (Comunicado Técnico, 15.)

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JUNIOR, J. A. de; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Revista Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 781-788, jul./ago., 2011.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração e análise**. São Paulo: Atlas, 1996. 294 p.

APÊNDICE

Fluxos de Caixa esperados para o investimento na produção de feijão-caupi irrigado com aspersão convencional e conduzido por diferentes tecnologias de manejo da irrigação, nas condições edafoclimáticas da região dos cocais maranhenses.

Tratamento 1 – Balanço hídrico com determinação da umidade do solo com o forno de micro-ondas.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		8.816,30	8.816,30	...	8.816,30
	2		4.348,53	4.348,53	...	4.348,53
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		2.034,47	2.034,47	...	2.034,47
	2		1.968,38	1.968,38	...	1.968,38
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	6.781,82	6.781,82	...	6.781,82
	2	-5.114,97	2.380,15	2.380,15	...	2.380,15

Tratamento 2 – Balanço hídrico com uso do Tanque Classe A.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		7.436,95	7.436,95	...	7.436,95
	2		3.673,30	3.673,30	...	3.673,30
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		2.002,10	2.002,10	...	2.002,10
	2		1.980,86	1.980,86	...	1.980,86
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	5.434,85	5.434,85	...	5.434,85
	2	-5.114,97	1.692,44	1.692,44	...	1.692,44

Tratamento 3 – Irrigâmetro.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		8.022,10	8.022,10	...	8.022,10
	2		4.665,57	4.665,57	...	4.665,57
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		2.004,29	2.004,29	...	2.004,29
	2		1.961,50	1.961,50	...	1.961,50
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	6.017,81	6.017,81	...	6.017,81
	2	-5.114,97	2.704,07	2.704,07	...	2.704,07

Tratamento 4 – Tensiometria.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		9.379,26	9.379,26	...	9.379,26
	2		3.973,98	3.973,98	...	3.973,98
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		2.001,84	2.001,84	...	2.001,84
	2		1.963,35	1.963,35	...	1.963,35
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	7.377,42	7.377,42	...	7.377,42
	2	-5.114,97	2.010,63	2.010,63	...	2.010,63

Tratamento 5 – Irrígrafo.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		9.963,44	9.963,44	...	9.963,44
	2		3.515,82	3.515,82	...	3.515,82
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		2.013,43	2.013,43	...	2.013,43
	2		1.959,94	1.959,94	...	1.959,94
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	7.950,00	7.950,00	...	7.950,00
	2	-5.114,97	1.555,89	1.555,89	...	1.555,89

Tratamento 6 – Balanço hídrico com uso do *software* Ref-ET.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		6.153,75	6.153,75	...	6.153,75
	2		3.613,56	3.613,56	...	3.613,56
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		2.018,60	2.018,60	...	2.018,60
	2		1.979,73	1.979,73	...	1.979,73
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	4.135,15	4.135,15	...	4.135,15
	2	-5.114,97	1.633,83	1.633,83	...	1.633,83

Tratamento 7 – Balanço hídrico com uso do *software* Irriplus.

Descrição	Época	2009	2010	2011	...	2024
A – Entrada						
Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	1		7.698,50	7.698,50	...	7.698,50
	2		3.819,17	3.819,17	...	3.819,17
B – Saída						
Investimento (R\$ ha ⁻¹)	1	-5.114,97			...	
	2	-5.114,97			...	
Custo total (R\$ ha ⁻¹)	1		1.989,38	1.989,38	...	1.989,38
	2		1.967,91	1.967,91	...	1.967,91
C – Fluxo Líquido (R\$ ha ⁻¹)						
	1	-5.114,97	5.709,12	5.709,12	...	5.709,12
	2	-5.114,97	1.851,26	1.851,26	...	1.851,26