

VÁGNA DA COSTA PEREIRA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA PRODUTIVA DA VIDEIRA
“SYRAH” NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

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

T

P436e
2014

Pereira, Vágna da Costa, 1989-
Evapotranspiração e eficiência produtiva da videira "Syrah"
no submédio do vale do São Francisco / Vágna da Costa Pereira.
– Viçosa, MG, 2014.
xiv, 75f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Uva - Cultivo. 2. Videira. 3. Evapotranspiração.
4. Razão de Bowen. 5. Modelo de Penman-Monteith.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia
Agrícola. II. Título.

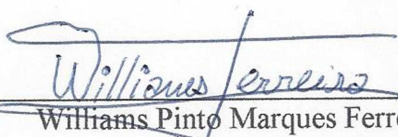
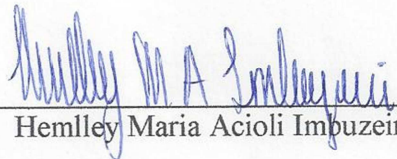
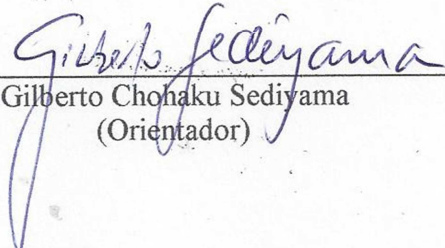
CDD 22. ed. 634.8

VÁGNA DA COSTA PEREIRA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA PRODUTIVA DA VIDEIRA
“SYRAH” NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

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

APROVADA: 21 de fevereiro de 2014.

 Williams Pinto Marques Ferreira	 Hemlley Maria Acioli Imbuzeiro
 Gilberto Chohaku Sedyama (Orientador)	

Com todo amor e carinho em especial aos meus queridos pais, Cicero Joaquim da Costa Neto e Francisca Maria da Costa pelo incentivo, força, dedicação, ensinamentos e por sempre acreditarem em meus sonhos e ao meu irmão, Vagner Pereira, que tanto amo pela amizade e companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida que me concedeu, pela saúde, sabedoria e pela maravilhosa família.

Aos meus queridos Pais, Cicero e Francisca, que sempre me incentivaram a traçar o caminho do bem e por me ensinarem que as conquistas dependem do nosso próprio esforço.

Ao meu querido irmão Vagner pela amizade, estímulo e por sempre acreditar em meus sonhos e no meu potencial.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola pela oportunidade e crescimento profissional

Ao meu Orientador Prof. Dr. Gilberto Chohaku Sedyama pela orientação, ensinamentos, amizade e confiança depositada.

À pesquisadora da Embrapa Semiárido Dr^a Magna Soelma Beserra de Moura, pela oportunidade, coorientação, profissionalismo, receptividade, ensinamentos, confiança, amizade e empenho na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva, pela coorientação, profissionalismo, dedicação e por todos os conhecimentos transmitidos.

À Prof^a. Luciana Sandra Bastos de Souza pela valiosa contribuição doada, aprendizados advindos do convívio com sua sabedoria, força e amizade.

À Embrapa Seminário e Fazenda Ouro verde pela estrutura oferecida e compartilhamento dos dados durante a realização desse experimento.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa e auxílio financeiro concedido durante toda a pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade do curso.

Ao Prof. Dr. José Espínola Sobrinho e Dr^a Alexandra Duarte de Oliveira, por todos os ensinamentos concedidos, pela força, oportunidades e amizade durante a minha graduação que me serviram como base para seguir esta trajetória acadêmica.

À minha grande amiga de Mossoró-RN, Rita Aguiar por todo acolhimento e incentivo, ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Roney Meziat, Angelo Rafael, Angélica Sanielly, Annabel Barra, Ana Luiza Ferreira e Daiana Cristina pela amizade, torcida e alegrias compartilhadas.

Aos meus amigos de Jardim de Piranhas-RN, Irene, Junior, Dona Terezinha, Cirilo, Anderson, madrinha Dasneves e padrinho Dedé, pela grande torcida e incentivo.

À Família Linhaus, em especial a Sthefane Linhaus, Lúcia Linhaus e Luiz Linhaus pelo acolhimento em Minas Gerais, carinho, amizade e companheirismo durante esta jornada.

Aos amigos da Embrapa Semiárido, Gilson, Leide, Francisco, Rômulo e Joabe pela amizade, compartilhamento de dados e atenção dedicada ao trabalho em campo.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em especial a Graça, Natália, Thomé, Mariana, Emily, Maria Gabriela, Manuel, João Victor, Almir, Victor, Davi, Aline, Ana Paula, Poliana, Evandro e a todos os demais que de forma direta ou indireta estiveram presentes durante a minha trajetória do mestrado.

Aos grandes amigos Jaiza e Jorge pelo acolhimento, e por serem sempre prestativos e companheiros.

À família Saraiva em especial a Sueli, Idalino, Juliana, Hugo e Clóvis pela torcida e por sempre acreditarem no meu empenho e dedicação durante a minha trajetória acadêmica.

Aos primos João Maria, Ana Lúcia, Valmir, Salete e tio Pedro por toda a ajuda concedida, força e incentivo.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o meu crescimento pessoal e profissional, sempre dando força e estímulo para seguir em frente durante a minha trajetória no mestrado, deixo aqui os meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigada!

“É preciso força pra sonhar e perceber que a estrada vai além do que se vê”.

(Los Hermanos)

BIOGRAFIA

Vágna da Costa Pereira, filha de Francisca Maria da Costa e Cicero Joaquim da Costa Neto, nasceu em 23 de março de 1989, na cidade de Jardim de Piranhas, Rio Grande do Norte.

Em março de 2008 iniciou o curso de Agronomia, pela Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada na cidade de Mossoró no Rio Grande do Norte. Durante quatro anos, participou de atividades de iniciação científica e projetos de pesquisa na qualidade de bolsista, na área de agrometeorologia. Graduou-se no segundo semestre de 2012.

Em novembro de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de mestrado, submetendo-se à defesa de tese em (21 de fevereiro de 2014).

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
α	Albedo da superfície	Adimensional
β	Razão de Bowen	Adimensional
γ	Coefficiente psicrométrico	kPa °C ⁻¹
ΔT	Diferença de temperatura acima do dossel	°C
Δe	Diferença de pressão parcial de vapor de água acima do dossel	kPa
C_p	Calor específico do ar seco	J kg ⁻¹ K ⁻¹
λ	Calor latente de vaporização da água	MJ kg ⁻¹
P_a	Pressão atmosférica	kPa
ϵ	Erro absoluto da Razão de Bowen	Adimensional
BERB	Balanco de Energia pela Razão de Bowen	-
K_h	Coefficiente de transferência turbulenta de calor	m ² s ⁻¹
K_w	Coefficiente de transferência turbulenta de vapor d'água	m ² s ⁻¹
u_2	Velocidade do vento	m s ⁻¹
e_s	Pressão do vapor de saturação	kPa
e_a	Pressão parcial do vapor	kPa
Δ	Declividade da curva de pressão do vapor	kPa
A_f	Área foliar da cultura	m ²
BOC	Balanco de ondas curtas	W m ⁻²
BOL	Balanco de ondas longas	W m ⁻²
BR-FL	Brotação-floração	-
CV	Coefficiente de variação	%
DAP	Dias Após a Poda	-

DF	Duração da Fase	dias
DPV	Déficit de pressão de vapor	kPa
ET	Evapotranspiração	mm d ⁻¹
ETc _{BERB}	Evapotranspiração da cultura determinada pelo BERB	mm d ⁻¹
ETc/ETo	Relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência	Adimensional
ET _o	Evapotranspiração de referência	mm d ⁻¹
FL-MT	Floração-Maturação	-
G	Fluxo de calor no solo	W m ⁻²
GDA	Graus-dia acumulados	°C
gr	Condutância de referência	mm s ⁻¹
H	Fluxo de calor sensível	W m ⁻²
IAF	Índice de área foliar	m ² m ⁻²
LE	Fluxo de calor latente	W m ⁻²
MT-CO	Maturação–Colheita	-
PA	Produtividade de água	kg m ⁻³
PA _{ET}	Produtividade de água com base na evapotranspiração	kg m ⁻³
PA _{TR}	Produtividade de água com base na transpiração	kg m ⁻³
PO-CO	Poda-Colheita	-
R ²	Coefficiente de determinação da regressão linear	Adimensional
r _a	Resistência aerodinâmica a difusão de vapor	s m ⁻¹
r _f	Resistência da cobertura a difusão de vapor	s m ⁻¹
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel	W m ⁻²
Rg	Radiação Solar Global	MJ m ⁻² d ⁻¹
Rn	Saldo de radiação	W m ⁻²
Rnf	Saldo de radiação efetivo da copa	MJ m ⁻² d ⁻¹

Rr	Radiação solar refletida	$W m^{-2}$
T _{ar}	Temperatura do ar	$^{\circ}C$
Tb	Temperatura basal inferior da cultura	$^{\circ}C$
Tm	Temperatura média do dia	$^{\circ}C$
TR-PM	Transpiração máxima da cultura com base no modelo de Penman-Montheit	$L d^{-1} m^{-2}$
UR _{ar}	Umidade relativa do ar	%
US	Umidade do solo	$cm^{-3} cm^{-3}$
η	Razão entre as resistências aerodinâmicas ao transporte de calor latente e calor sensível	Adimensional
ρ	Densidade do ar	$kg m^{-3}$

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO.....	1
REFERÊNCIAS.....	5
CAPÍTULO I.....	8
BALANÇO DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM VINHEDO IRRIGADO NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS.....	31
CAPÍTULO II.....	35
EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PARA A VIDEIRA “SYRAH” NO SUBMÉDIO VALE DO SÃO FRANCISCO.....	35
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
ANEXOS.....	74

RESUMO

PEREIRA, Vágna da Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Evapotranspiração e eficiência produtiva da videira “Syrah” no Submédio do Vale do São Francisco.** Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Coorientadores: Magna Soelma Beserra de Moura e Thieres George Freire da Silva.

A determinação do consumo de água pela videira é de crucial importância para obtenção de produtividades satisfatórias para elaboração de bons vinhos, redução de custos de produção e, principalmente, para o manejo sustentável dos recursos hídricos regional. Neste sentido, com este trabalho objetivou-se analisar os valores da evapotranspiração da cultura da uva para elaboração de vinhos, determinada por duas metodologias (balanço de energia com base no método da razão de Bowen (BERB) e o modelo de Penman-Monteith), e a eficiência do uso da água da cultura para as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco (SVSF). O experimento foi conduzido em uma área comercial da Fazenda Ouro Verde (09°16’S; 40°51’O e 444 m) no primeiro semestre do ano de 2010, que fica localizada na região semiárida do município de Casa Nova, Bahia. A área de 9 hectares selecionada foi plantada com a videira (*Vitis vinífera* L.), variedade “Syrah”, enxertada sobre o porta-enxerto IAC 766, com três anos de plantio, e irrigada por gotejamento. A poda de produção foi realizada no dia 08 de março de 2010 e a colheita no dia 19 de julho de 2010, totalizando o ciclo produtivo de 133 dias. Com base nos resultados observou-se que durante a análise de consistência física do método BERB, 69,5% dos dias avaliados foram considerados válidos para a determinação da densidade de fluxos de energia em escala diária. O saldo de radiação e a radiação refletida representaram aproximadamente 73 e 16%, respectivamente, da radiação solar incidente no parreiral. Ao longo do ciclo produtivo da videira, os valores médios diários do fluxo de calor latente (LE) representaram cerca de 70% do saldo de radiação (Rn), enquanto 30% foi destinado ao aquecimento do ar atmosférico, representado por meio do fluxo de calor sensível (H). Entretanto, não houve energia destinada ao aquecimento do solo (G) durante quase todas as fases fenológicas, exceto na fase final quando a relação G/Rn representou aproximadamente 4%. Em relação aos graus-dia acumulados (GDA), foram necessários 1.819 GDA para a videira “Syrah” completar o seu ciclo produtivo, correspondendo ao total de 133 dias para poda no primeiro semestre do ano. A evapotranspiração de referência (ET_o) e a

evapotranspiração da cultura determinada por meio do método BERB ($ET_{c_{BERB}}$) durante o ciclo da cultura foram de 474,0 e 376,4 mm, respectivamente, com valor médio diário de 3,9 e 3,1 mm. A transpiração máxima estimada pelo método de Penman-Monteith oscilou entre 9,2 a 3,0 $L\ d^{-1}\ m^{-2}$, com volume total de 614,7 $L\ m^{-2}$, aproximadamente 204,9 mm. A razão $ET_{c_{BERB}}/E_{To}$ atingiu valores médios de 0,70; 0,85 e 0,66, respectivamente, para as fases fenológicas de Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita. A produtividade média da videira “*Syrah*”, para elaboração de vinhos finos, foi de 4.400 $kg\ ha^{-1}$, enquanto a média da produtividade de água com base na evapotranspiração e transpiração total da cultura determinada por meio do método BERB e Penman-Monteith foi de 1,17 $kg\ m^{-3}$ e 2,15 $kg\ m^{-3}$, respectivamente.

ABSTRACT

PEREIRA, Vágna da Costa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Evapotranspiration and productive efficiency of the vine "Syrah" in the Valley São Francisco River.** Adviser: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-advisers: Magna Soelma Beserra de Moura and Thieres George Freire da Silva.

The determination of water consumption by the grape vine becomes crucial to obtain satisfactory yields for the preparation of fine wines, reduction of production costs, and mainly for the sustainable management of regional water resources. Thus, this study aimed to examine the values of grape winemaking crop evapotranspiration, determined by two methods (energy balance based on the Bowen ratio (BERB) method and the Penman-Monteith model), and the crop efficiency of water use to the climatic conditions of SVSF. The experiment was conducted in a commercial area of *Fazenda Ouro Verde* (09°16'S, 40°51'W and 444 m) in the first half of 2010, located in the semiarid region of the municipality of Villa Nova, Bahia. The selected area of 9 hectares was planted with the grape vine (*Vitis vinifera* L.), variety "Syrah", grafted onto the rootstock IAC 766, with three years of planting and drip irrigated. Pruning production was held on March 8, 2010 and harvest on July 19, 2010, totaling a production cycle of 133 days. The results showed that, during the analysis of physical consistency of BERB method, 69.5 % of days evaluated were considered valid for determining the density of energy flows in daily scale. The net radiation and reflected radiation represented about 73 and 16% respectively of the incident solar radiation in the vineyard. Throughout the production cycle of the vine, the daily average values of the latent heat flux (LE) accounted for approximately 70% of net radiation (Rn), while 30% was used for heating of atmospheric air, represented by the flow sensible heat (H). However, no energy for heating the ground (G) for almost all phenological stages, except the final stage when the G/Rn ratio represented approximately 4%. Regarding the degree-days (GDA), 1.819 degrees were necessary for the grapevine "Syrah" to complete its production cycle, corresponding to a total of 133 days for pruning in the first half of the year. The reference evapotranspiration (ET_o) and crop evapotranspiration determined by the method BERB (ET_{c_{BERB}}) during the crop cycle were 474.0 and 376.4 mm, respectively, with a daily average of 3.9 and 3.1 mm. The maximum estimated by Penman-Monteith method ranged from 9.2 to 3.0 L d⁻¹ m⁻², respectively, with a total volume of 614.7 L m⁻², about 204.9 mm. The ET_{c_{BERB}}/ET_o

ratio reached average values of 0.70, 0.85 and 0.66 for the phenological stages of sprouting-flowering, flowering, ripening and maturation to harvest. The average productivity of the vine "*Syrah*" to crafting fine wines was 4.400 kg ha^{-1} , while the average productivity of water based on the total evapotranspiration and transpiration particular culture through BERB and Penman - Monteith method was 1.17 kg m^{-3} and 2.15 kg m^{-3} , respectively.

INTRODUÇÃO

Em algumas regiões brasileiras, o cultivo da videira tem se destacado tanto para consumo da uva *in natura* quanto para a elaboração de sucos e vinhos. A região do Submédio do Vale do São Francisco, localizado no Semiárido brasileiro, vem desde a década de 80 apresentando condições favoráveis à implantação da vitivinicultura. A expansão da área colhida, que passou de 1.759 ha em 1990 (AGRIANUAL, 1997) para 11.034 ha em 2010 (AGRIANUAL, 2011), tem possibilitado o desenvolvimento da agroindústria local, e projetado o Submédio do Vale do São Francisco em posição de destaque no cenário agrícola nacional e internacional, o que faz dessa região a principal produtora e exportadora de uvas de mesa do Brasil e, atualmente, se consolida como o segundo pólo produtor de vinhos finos de excelente qualidade.

Segundo Soares et al. (2009), o Submédio do Vale do São Francisco vem apresentando vinhedos com excelente desempenho produtivo e qualitativo sob condições irrigadas, característica essa, que contribui para o seu diferencial em relação ao cenário vitivinícola mundial. No ambiente semiárido, localizado entre 9° e 10° de latitude Sul, essa região produtora de vinhos torna-se a mais próxima da linha do Equador em todo mundo, decorrente da adaptação e do comportamento fisiológico diferenciado de diversas cultivares às suas condições edafoclimáticas (FREUND, 2007).

O cultivo da videira nessa região ocorre sob condições climáticas que possibilitam a obtenção de até duas safras e meia durante o ano ou cinco safras durante dois anos produtivos. Além disso, o escalonamento da produção de uvas possibilita ao produtor obter maiores rendimentos com a realização de colheitas em períodos de preços mais elevados (TEIXEIRA et al., 2007).

A vitivinicultura tem evoluído no sentido de aprimorar a aplicação de práticas agrônômicas que visam melhorar a qualidade da produção vinícola, uma vez que a composição da uva é um fator determinante para a qualidade dos vinhos dessa região, os quais estão conquistando, cada vez mais, o mercado brasileiro e europeu (SANTOS, 2012).

Dentre as cultivares *Vitis vinífera* mais plantadas na região do Submédio do Vale do São Francisco, destinada à produção de vinhos tintos finos, destaca-se a “*Syrah*”, uma cultivar precoce que se caracteriza por apresentar ciclo em torno de

130 dias, ser muito vigorosa, produtiva, a qual em climas quentes responde bem à poda curta (SANTOS, 2012). A maturação pode ser caracterizada por um curto período, sendo esta cultivar bastante sensível à podridão do cacho no final desse estágio. Devido a esta sensibilidade, é que na região Sul do Brasil, maior produtora de uvas e vinhos, a “*Syrah*” é pouco explorada. Entretanto, nas condições semiáridas do Submédio do Vale do São Francisco tem mostrado ótimo desempenho (CAMARGO, 2009). A “*Syrah*” origina vinhos de coloração intensa, aromáticos, finos e complexos, aptos ao envelhecimento e de grande qualidade (FAVERO, 2007). Todavia, o desenvolvimento da vitivinicultura nesta região tornou-se objetivo de várias pesquisas que buscam de forma mais precisa, aprimorar práticas de manejo adequadas, que associadas ao clima local, possam contribuir para o rendimento da cultura, visando obter o equilíbrio entre a biomassa e produtividade, que favorece a qualidade das uvas produzidas.

O manejo eficiente dos recursos hídricos, principalmente no que concerne ao fator irrigação, torna-se de fundamental importância, devendo-se considerar a aplicação da menor quantidade possível de água que possa promover boa produção e conservação do solo, garantindo a sustentabilidade destes recursos e, possivelmente, reduzindo a sua escassez. Atualmente, as pesquisas sobre o consumo de água pelas culturas vêm avaliando a “rentabilidade”, na qual considera-se o montante do produto comercializável (em peso ou valor econômico) que é obtido por unidade de água aplicada ou consumida na sua produção, fatores estes que são capazes de explicar a eficiência do uso de água pela cultura (AHMAD et al., 2009; SAKAR et al., 2010; CAI et al., 2011).

A aplicação de água depende de fatores relacionados à planta, ao solo e ao clima, que se refletem na evapotranspiração (ET) e no coeficiente de cultivo das espécies (Kc). Em geral, os produtores têm adotado valores de Kc obtidos em condições distintas dessa região de produção, fazendo alguns ajustes dos mesmos. Neste contexto, a determinação do consumo de água pela videira torna-se de crucial importância para a obtenção de maiores produtividades, redução de custos de produção e principalmente para o manejo sustentável dos recursos hídricos. Para isso, necessário se faz conhecer a evapotranspiração (ET) da cultura. Li et al. (2008), trabalhando em um vinhedo, afirmaram que a estimativa precisa da evapotranspiração da cultura fornece base científica para o desenvolvimento de

estratégias de manejo de irrigação. Diante disso, existem desafios que consistem na utilização de tais estratégias de forma mais precisa, uma vez que os recursos hídricos limitados podem afetar a sustentabilidade da produção do vinhedo na região (DU et al., 2005). Portanto, o conhecimento por parte do produtor do parâmetro evapotranspiração é de fundamental importância, pois favorece a economia de água e energia, além de assegurar o melhor desempenho da cultivar em termos de produtividade e qualidade dos frutos.

Existem vários métodos que podem ser empregados para determinação da evapotranspiração de uma cultura, com destaque para aqueles baseados no balanço de massa por lisimetria e para os métodos micrometeorológicos. No caso destes últimos, há que se destacar o uso da técnica das correlações de vórtices turbulentos e do método da razão de Bowen para determinação dos fluxos de calor latente e sensível, que associados aos outros componentes do balanço de energia permitem a determinação do consumo de água pelas culturas. No caso do balanço de energia baseado na Razão de Bowen (BERB), verifica-se que o mesmo tem sido bastante utilizado em função de sua relativa simplicidade e precisão nos resultados (ZHANG et al., 2013; HOLLAND et al., 2013; UDDIN et al., 2013; TEIXEIRA & BASTIAANSEN, 2012; SOUZA et al., 2012; ALLEN et al., 2011; KAR & KUMAR, 2010; SILVA et al., 2007). A utilização do BERB permite resolver a equação do balanço de energia por meio de medições de gradientes simples da temperatura do ar e da pressão parcial de vapor na camada próxima à superfície evaporante (ALLEN et al., 2011).

Outro método importante para o cômputo da quantidade de água requerida pela cultura é o modelo da unicamada – “folhona” (“big leaf model”) ou da transpiração máxima para plantas isoladas com base no modelo de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965). Seu uso tem ampliado, principalmente para cultivos irrigados por micro-aspersão e gotejamento e para fruteiras que não cobrem totalmente o terreno. Esse método vem sendo objeto de vários estudos em diferentes tipos de culturas, principalmente quando se considera o plantio em renques (ANGELOCCI, 1996; MARIN et al., 2003; WHITEHEAD & BEADLE, 2004), uma vez que esse modelo pode contribuir para a obtenção de informações para reposição da água perdida pela cultura e também para minimizar ou mesmo evitar que a aplicação seja feita nas entrelinhas do plantio.

Os dados de evapotranspiração da cultura determinados por meio destas técnicas podem ser relacionados com a evapotranspiração de referência (ET_o) obtida pelo método de Penman-Monteith (PM) (ALLEN et al., 1998), para determinação do coeficiente de cultura (K_c), considerado fator importante na determinação do seu consumo de água, utilizado no manejo de irrigação (SILVA et al., 2011). Entretanto, para que os valores de K_c's sejam coerentes para uma localidade, é de fundamental importância, que o solo se encontre sob condições hídricas ideais, uma vez que, muitos dos coeficientes de cultura utilizados não refletem as condições locais. Contudo, diante de limitações hídricas, essa razão apenas revela a resposta da ET_c às condições do ambiente local (ARAÚJO PRIMO, 2013).

Pesquisas relacionadas ao conhecimento do consumo de água pelas culturas, por meio de diferentes metodologias, são essenciais, sobretudo para aplicações diretas no manejo de água em regiões semiáridas. No entanto, estudos nesse sentido relacionados à cultura da videira para produção de vinhos são limitados, principalmente no pólo produtor localizado na região do Submédio do Vale do São Francisco, onde a maioria das pesquisas voltadas para o manejo do vinhedo ainda estão em desenvolvimento.

Dessa forma, considerando-se a importância da vitivinicultura nessa região, a busca por um conjunto de técnicas adequadas de manejo para a videira é de fundamental importância, pois pode contribuir para o avanço tecnológico, assim como pode fornecer informações importantes para a tomada de decisão pelos produtores no que se refere à otimização do uso da água na propriedade agrícola. Além disso, estas informações podem contribuir para a busca por melhores desempenhos da cultura, objetivando-se atingir maior produtividade e melhor qualidade das uvas e vinhos produzidos nessa região.

Diante desse contexto objetivou-se com esse trabalho analisar os valores da evapotranspiração e eficiência produtiva da cultura da uva “*Syrah*” para a produção de vinho, determinada por duas metodologias distintas: o balanço de energia com base no método da razão de Bowen e o modelo de Penman-Monteith modificado, para as condições climáticas da região do Submédio do Vale do São Francisco.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 1997. p. 424-435, 1997.
- AGRIANUAL. **Anuário estatístico da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2011. p. 505-520, 2011.
- AHMAD, M. D.; TURRAL, H.; NAZEER, H. Diagnosing irrigation performance and water productivity through satellite remote sensing and secondary data in a large irrigation system of Pakistan. **Agricultural Water Management**, v.96, p.551-564, 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting. I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v.98, p.899-920, 2011.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. In: United Nations FAO, Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 1998.
- ANGELOCCI, L.R. **Estimativa da transpiração máxima em macieiras (Malus spp) em pomares pelo método de Penman-Monteith**.1996. 95f. Tese (Livro-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2013.
- CAI, X.; YANG, Y.E.; RINGLER, C.; ZHAO, J.; YOU, L. Agricultural water productivity assessment for the Yellow River Basin. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1297-1306, 2011.
- CAMARGO, U. A. Variedades de uva. In: GUERRA, C. G. et al. **Conhecendo o essencial sobre uvas e vinhos**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2009. 69 p.
- DU, T.S.; KANG, S.Z.; XIA, G.M.; YANG, X.Y. Response of grapevine growth and water use to different partial root-zone drying patterns under drip irrigation. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v.21, n.11, p.43-48, 2005.
- FAVERO, A. C. **Viabilidade de produção de videira ‘Syrah’ em ciclos de verão e inverno no Sul de Minas Gerais**. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- FREUND, M. **Vinho no Sertão: vinicultura no Vale do São Francisco, Pernambuco: Brasília, DF: SENAI, 2007. 121 p.**

HOLLAND, S.; HEITMAN, J. L.; HOWAR, A.; SAUER, T. J.; GIESE, W.; BENGAL, A.; AGAM, N.; KOOL, D.; HAVLIN, J. Micro-Bowen ratio system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.177, p.93- 100, 2013.

KAR, G.; KUMAR, A. T Energy balance and crop water stress in winter maize under phenology-based irrigation scheduling. **Irrigation Science**, v.28, p.211-220, 2010.

LI, H.; ZHENG, L.; LEI, Y.; LI, C.; LIU, Z.; ZHANG, S. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain 130 using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, v.95, p.1271-1278, 2008.

MARIN, F.R.; SANTIAGO, A.V.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R.; MAGGIOTTO, S.R.; PEZZOPANE, J.R.M. Solar radiation interception and its relation with transpiration in different coffee canopy layers. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.1-6. 2003.

MONTEITH, J.L. **Evaporation and the environment**. In: The state and movement of water in living organisms, XIXth Symp. Soc. for Exp. Biol. Cambridge Univ. Press, Swansea, pp. 205–234, 1965.

SAKAR, S.; BISWAS, M.; GOSWAMI, S. B.; BANDYOPADHYAY, P. K. Yield and water use efficiency of cauliflower under varying irrigation frequencies and water application methods in Lower Gangetic Plain of India. **Agricultural Water Management**, v. 97, p.55-1662, 2010.

SANTOS, C. M. G. **Fisiologia e metabolismo da videira cv. Syrah no submédio do vale do São Francisco sob três estratégias de irrigação. 2012. 145 f. Tese (Doutorado em horticultura) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, Botucatu, 2012.**

SILVA, T. G. F. da.; MOURA, M. S. B. de.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; SOUZA, L. S. B.; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 139-147, 2011.

SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. Surface energy balance and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. **Agronomy Journal**. V. 99, p.1391–1396, 2007.

SOARES, J. M. & LEÃO, P. C. de S. **A Vitivinicultura no Semiárido Brasileiro**. Brasília, DF; Petrolina, PE: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Semiárido, 2009. 756p.

SOUZA, P. J. de. O. P. de.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P. da.; FARIAS J. R. B.; SOUZA, E. B. de. Sazonalidade no balanço de energia em áreas de cultivo de soja na Amazônia. **Bragantia**, v.71, n.4, p. 548–557, 2012.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSSEN, W.G.M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-splinker-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, v.30, p.13-28, 2012.

TEIXEIRA, A.H.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; BASSOI, L.H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.94, p.31–42, 2007.

UDDIN, J.; HANCOCK, N.H.; SMITH, R. J.; FOLEY, J. P. Measurement of evapotranspiration during sprinkler irrigation using a precision energy budget (Bowen ratio, eddy covariance) methodology. **Agricultural Water Management**. v.116, 89-100, 2013.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 193, p.113-140, 2004.

ZHANG, C.; YAN, H.; SHI, H.; SUGIMOTO, H. T. Study of crop coefficient and the ratio of soil evaporation to evapotranspiration in an irrigated maize field in an arid area of Yellow River Basin in China. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.121, p.207-214, 2013.

CAPÍTULO I

BALANÇO DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM VINHEDO IRRIGADO NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

RESUMO: O objetivo principal com o presente trabalho foi analisar a variabilidade dos componentes do balanço de radiação e energia obtidos durante o cultivo da uva para elaboração de vinhos tintos finos (variedade “*Syrah*”). O experimento foi conduzido no primeiro semestre de 2010 em uma área comercial da Fazenda Ouro Verde (09°16’S; 40°51’O e 444 m), localizada na região do semiárido do Submédio do Vale do São Francisco. Para obtenção dos dados micrometeorológicos, foi instalada uma torre no centro da área experimental equipada com um sistema de aquisição de dados *datalogger*, ao qual foram conectados os sensores para o monitoramento dos elementos meteorológicos dentro do parreiral. Para a determinação do balanço de radiação, acima do dossel vegetativo da videira “*Syrah*”, foram utilizados os componentes medidos: saldo de radiação (R_n), radiação refletida (R_r), radiação solar global (R_g) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) como parâmetros de entrada para o cálculo do balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL). O método do balanço de energia, baseado na razão de Bowen, foi utilizado na obtenção dos fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) durante o período experimental. A análise de consistência física do método BERB para a videira “*Syrah*”, demonstrou que 69,5% dos dias avaliados foram considerados válidos para a determinação da densidade de fluxos de energia (LE e H) em escala diária. A relação R_n/R_g e R_r/R_g ao longo do ciclo da videira “*Syrah*” representaram cerca de 73 e 16%, respectivamente. O fluxo de calor latente representou uma fração de 70% da energia disponível, enquanto 30% foi destinado ao aquecimento do ar atmosférico (H). Entretanto, não houve energia destinada ao aquecimento do solo (G) durante quase todas as fases fenológicas, exceto na fase final em que a relação G/R_n representou aproximadamente 4%.

Palavras-chave: semiárido, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, razão de Bowen.

RADIATION AND ENERGY BALANCE IN THE VINE CROP AT LOWER BASIN OF THE SÃO FRANCISCO VALLEY

ABSTRACT: The main objective of this study was to analyze the variability of the radiation and energy balance components obtained during cultivation of the grape vine (variety "Syrah") for production of fine red wines. The experiment was conducted in the first half of 2010 in a commercial area of *Fazenda Ouro Verde* (09°16'S , 40°51'W and 444 m), located in the semiarid region of the Lower Basin of the São Francisco Valley region. To obtain the micrometeorological data, a tower was mounted in the center of the experimental area equipped with a *datalogger* acquisition systema connected to sensors for monitoring the meteorological elements within the vineyard. For determining the radiation balance above the canopy of the grape vine "Syrah", the following measured values were used: net radiation (Rn), reflected radiation (Rr), global radiation (Rg) and photosynthetically active radiation (PAR) as input parameters for the calculation of the shortwaves balance (BOC) and the long waves balance (BOL). The method of energy balance, based on the Bowen ratio (BREB), was used to obtain the latent heat flux (LE) and sensible (H) during the experimental period. The analysis of physical consistency of BREB method for grape vine "Syrah", showed that 69.5% of the assessed days were considered valid for determining the energy density fluxes (H and LE) on the daily scale. The Rn/Rg and Rr/Rg along the grape vine "Syrah" cycle ratio represented about 73 and 16 %, respectively. The latent heat flux represented a fraction of 70 % of the available energy, while 30% was used for heating the air (H). Therefore, no energy for heating the ground (G) for almost all phenological stages except in the final stage in which the G/Rn ratio represented approximately 4 %.

Keywords: semiarid, latent heat flux, sensible heat flux, Bowen ratio.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Nordeste ocupa a segunda posição como maior região produtora de vinhos tintos finos do Brasil, sendo superado apenas pela região Sul. Naquela região, mais especificamente no Submédio do Vale do São Francisco, localiza-se um pólo de fruticultura irrigada, com destaque para os estados de Pernambuco e Bahia, onde sob condições bem particulares, se concentram os vinhedos e as vinícolas tropicais do Brasil. Nesse ambiente de clima tropical semiárido, caracterizado pela alta disponibilidade de radiação solar, intensidade de luz e baixa precipitação pluvial (GONÇALVES, 2011), a videira apresenta comportamento fenológico distinto daquele que ocorre nas regiões tradicionais de cultivo, marcadamente regiões de clima temperado. Dessa forma, a interação entre o dossel vegetativo e os fatores ambientais locais, que resultam no microclima do vinhedo, poderão ocasionar alterações em alguns aspectos fisiológicos da videira e afetar significativamente o crescimento vegetativo, a fotossíntese, a evapotranspiração e a produtividade do vinhedo, bem como a qualidade da uva e do vinho (NORBERTO et al., 2009; TEIXEIRA, 2009).

Dentre os elementos meteorológicos que contribuem para o desenvolvimento e eficiência fisiológica da videira destaca-se a radiação solar, que é responsável por vários processos físicos, químicos e biológicos, sendo a principal fonte de energia utilizada no aquecimento do ambiente e na dinâmica dos ecossistemas terrestres, contribuindo também para desencadear os demais processos naturais como: evaporação, transpiração e fotossíntese (MARIN et al., 2008). A quantidade potencial dessa energia que alcança a superfície terrestre pode variar dependendo de alguns fatores como a localidade e época do ano, considerando-se as diferentes posições do sol.

O conhecimento das características fisiológicas de uma cultivar é fundamental para se otimizar o uso dos recursos naturais que afetam a cultura, sobretudo quando as exigências por água, nutrição e fitossanidade são satisfeitas (FERREIRA JUNIOR et al., 2014; ASSUNÇÃO et al., 2008). A interação da radiação solar com as plantas influencia diretamente a abertura dos estômatos, órgãos responsáveis pelas trocas gasosas entre a folha e o meio ambiente, bem como, pelo estímulo ao nível dos cloroplastos (SANTOS, 2012). A videira é uma “planta de sol” que realiza a fixação do CO₂ atmosférico segundo o metabolismo C₃ (TAIZ &

ZEIGER, 2009). Na ausência de fatores limitantes, a videira apresenta uma resposta da fotossíntese caracterizada por duas fases, sendo a primeira a fase de aumentos proporcionais e a segunda a fase de aumentos decrescentes, até atingir a taxa fotossintética máxima correspondente ao ponto de saturação (FERNANDES, 2009).

Com isto, torna-se importante a quantificação das trocas de radiação e energia em superfícies vegetadas, para que se possa obter conhecimento mais detalhado da interação planta-ambiente, assim como entender a partição da densidade de fluxos de energia e suas possíveis alterações decorrentes de mudanças ambientais e climáticas (BALDOCCHI et al., 2004; HAO et al., 2007).

Do total de radiação solar disponível cerca de 15% é absorvida por constituintes atmosféricos e 30% é refletido para o espaço sideral por meio da atmosfera, enquanto a fração restante, ou seja, 55% da energia radiante que atinge a superfície terrestre, 5% é refletida para a atmosfera e 50% representa o balanço de ondas curtas (MARIN, et al., 2008).

O balanço de radiação ou saldo de radiação (R_n) à superfície é a contabilização de toda a energia radiante absorvida e emitida no sistema solo-atmosfera, o que permite quantificar a energia disponível para os processos biológicos e físicos que ocorrem junto à superfície (MARIN et al., 2008; GALVANI et al., 2001). A interação da densidade de fluxos de radiação ocorre na forma da reflexão, refração e absorção. A determinação do R_n é dado pela soma algébrica entre o balanço de ondas curtas (energia absorvida pela superfície) e longas (energia emitida pela superfície). Desse modo, vários estudos vêm justificando a importância do R_n na interação planta-ambiente em diversas culturas e ecossistemas tais como: cana-de-açúcar e sorgo (CEOTTO et al., 2013), vegetação natural (HOUSPANOSSIAN et al., 2013), videira (RADÜNZ et al., 2013), batata (HELDWEIN et al., 2012) e soja (SAUER et al., 2007).

Entretanto, após as trocas radiativas, ocorre o balanço de energia que explica o destino dado à fração de energia disponível para o sistema, sendo o (R_n) distribuído entre os fluxos não-radiativos a superfície do solo. Com isto, o R_n é destinado principalmente para o aquecimento do ar atmosférico, por meio do fluxo de calor sensível (H) que descreve o transporte turbulento de calor para a superfície, para o aquecimento do solo, por meio do fluxo de calor no solo (G) que é baseado na transferência de calor molecular e é proporcional ao gradiente de temperatura e,

finalmente, destinado à evaporação da água, por meio do fluxo de calor latente (LE) que descreve o transporte vertical de vapor de água e de calor necessário para evaporação da superfície terrestre. Além desses fluxos, pode-se desprezar a energia armazenada no dossel da cultura e a energia utilizada no processo fotossintético, visto que representam menos de 3% de Rn (PEREIRA et al., 2013).

O conhecimento dos componentes do balanço de energia à superfície é imprescindível para interpretar corretamente o balanço de água e o microclima local (HERNANDEZ-RAMIREZ et al., 2010), com ampla aplicação nos estudos de agricultura, hidrologia, silvicultura, modelagem atmosférica e sensoriamento remoto (FRITSCHEN & FRITSCHEN, 2005).

Segundo Rodrigues (2011), o sistema Solo-Planta-Atmosfera está dinamicamente acoplado a um processo físico construído no transporte de energia térmica e massa de água de uma superfície vegetada. Estes fatores são fundamentais, pois explicam a importância da utilização de pesquisas relacionadas ao uso de métodos micrometeorológicos em sistemas de cultivos agrícolas.

Dentre os métodos micrometeorológicos utilizados para a determinação da densidade de fluxos de energia, o método do Balanço de Energia com base na Razão de Bowen - BERB têm se destacado como o mais utilizado por vários autores (FERNÁNDEZ-PACHECO et al., 2014; KOOL et al., 2014; HOLLAND et al., 2013; UDDIN et al., 2013; BEZERRA et al., 2012; SILVA et al., 2011), em diversos ambientes e culturas agrícolas, para medição contínua dos elementos micrometeorológicos e da evapotranspiração em superfícies homogêneas extensas, por ser um método relativamente prático e confiável.

Estudos relacionados à determinação do balanço de radiação e energia em superfícies de culturas agrícolas na região semiárida do Nordeste brasileiro ainda são limitados. Desse modo, com base no exposto, objetivou-se com o presente trabalho analisar o comportamento sazonal dos fluxos de radiação e energia em um vinhedo com a cultivar “*Syrah*” irrigada sob as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área comercial da Fazenda Ouro Verde (Figura 1) (Latitude: 09°16'S; Longitude: 40°51'O e Altitude: 444 m), no primeiro semestre do ano de 2010. A área está localizada na região semiárida do município de Casa Nova, Bahia, Submédio do Vale do São Francisco, onde de acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo BSw^h, semiárido muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, compreendida entre os meses de janeiro e abril, com precipitação média de 548,7 mm, temperatura média elevada da ordem de 26°C e umidade relativa em torno de 50% (MOURA et al., 2007).

A área de 9 hectares selecionada foi plantada com a videira (*Vitis vinífera* L.), variedade “Syrah”, enxertada sobre o porta-enxerto IAC 766, com três anos de plantio e irrigada por gotejamento. O parreiral foi implantado no espaçamento de 3,0 m x 1,0 m conduzido no sistema de espaldeira, sendo as plantas formadas a 0,6 m acima do solo, com 1,2 m de comprimento de ramo.

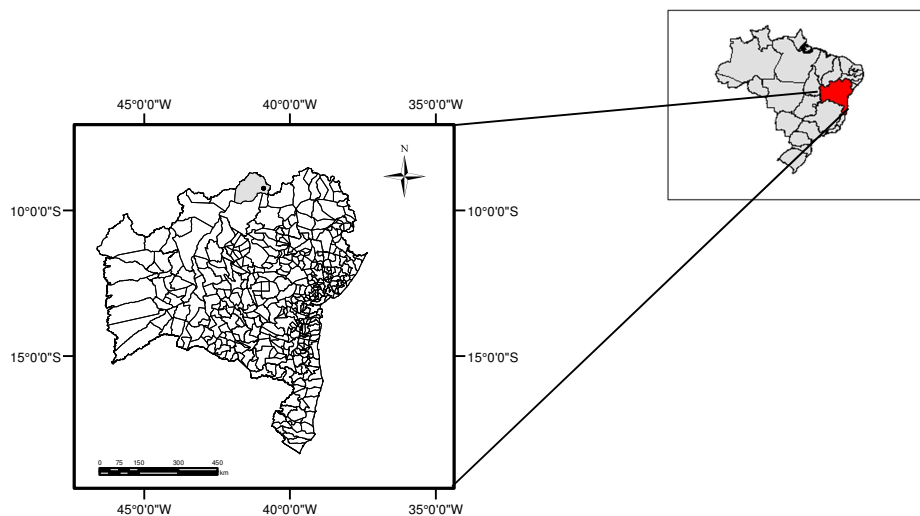


Figura 1. Localização da área experimental na Fazenda Ouro Verde no município de Casa Nova – BA, 2010.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico Plíntico (EMBRAPA, 2013). O resultado da análise química do solo nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m para fins de fertilidade do solo pode ser verificada em anexo (Tabela 1). A poda de produção para o primeiro

semestre de 2010 foi realizada no dia 08 de março de 2010 e a colheita no dia 19 de julho de 2010, totalizando o ciclo produtivo de 133 dias após a poda.

Os dados micrometeorológicos foram obtidos no período de 20/03/2010 a 19/07/2010 por meio de uma estação agrometeorológica instalada no centro da área experimental, equipada com sistema de aquisição de dados programado para fornecer leituras a cada 30 segundos e médias a cada 15 minutos, ao qual foram conectados os sensores para o monitoramento dos elementos meteorológicos dentro do parreiral. Foram instalados dois piranômetros (modelo: CM3, Kipp & Zonen Inc.; USA) para medição da radiação solar global (Rg) e refletida pela cultura (Rr); um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (Rn) (modelo: NR LITE, Kipp & Zonen Inc.; USA); um sensor quântico para medição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (modelo: Li-190, Li-Cor Inc.; USA); dois psicrômetros com termopares tipo T (cobre-constantan), instalados em dois níveis acima do dossel da cultura (2,0 e 3,0 m), com a finalidade de medir as temperaturas do ar em bulbo seco e em bulbo molhado; um anemômetro (modelo: 03101-L, Michigan) para medir a velocidade do vento, em um nível, na mesma altura do primeiro psicrômetro; e dois fluxímetros (modelo: HFP01SC, Campbell Scientific INC.; Logan, Utah, USA) nas profundidades de 0,02 e de 0,08 m para medida do fluxo de calor no solo.

As fases fenológicas da videira “*Syrah*” foram divididas em 5 subperíodos: Poda-Brotação (PO-BR), Brotação-Floração (BR-FL), Floração-Maturação (FL-MT), Maturação-Colheita (MT-CO) e Poda-Colheita (PO-CO), como descrito na Tabela 1. Desse modo, com base nestes subperíodos foi realizada análise dos componentes do balanço de radiação e energia em escala diária e sazonal.

Tabela 1. Subperíodos fenológico da videira “*Syrah*” no primeiro ciclo de produção, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010

Subperíodos fenológico						
Ano. Semestre		PO-BR*	BR-FL	FL-MT	MT-CO	PO-CO
2010.1	DAP	1-9	10-30	31-77	78-133	1-133
	DF (dias)	9	21	47	55	133

*Poda-brotação (PO-BR), brotação-floração (BR-FL), floração-maturação (FL-MT), maturação-colheita (MT-CO), poda-colheita (PO-CO), dias após a poda (DAP), duração da fase (DF).

Para a determinação do balanço de radiação, acima do dossel vegetativo da videira “*Syrah*”, foram utilizados os componentes medidos (Rn, Rr, Rg e RFA) como

parâmetros de entrada para o cômputo do balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL). O BOC foi obtido e analisado tanto em escala horária ($W m^{-2}$) das 6h00 às 16h00, como em escala diária ($MJ m^{-2} d^{-1}$), por meio da seguinte equação (1):

$$BOC = R_g - R_r \quad (1)$$

em que: “ R_g ” é a radiação solar global medida; “ R_r ” é a radiação solar refletida pela cultura, medida, todos em $W m^{-2}$.

Com a determinação do BOC, foi possível obter o BOL, utilizando-se a diferença entre o R_n e o BOC, como segue a equação (2):

$$BOL = R_n - BOC \quad (2)$$

em que: “ R_n ” é o saldo de radiação medido; “BOC” é o balanço de ondas curtas, todos em $W m^{-2}$.

Além da determinação destes componentes, foi obtido também o percentual de reflectância da superfície vegetada, ou seja, o albedo “ α ” (%), por meio da fração entre os dados medidos de R_g e R_r , conforme segue a equação (3):

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \times 100 \quad (3)$$

Considerando-se que a energia armazenada no dossel da cultura e o fluxo de energia utilizada nos processos fotossintéticos representam menos de 3% do saldo de radiação e podem ser desprezadas (PEREIRA et al., 2013), a equação do balanço de energia pode ser expressa pelas médias dos fluxos de calor e massa, conforme equação 4 (FOKEN, 2008):

$$R_n = LE + G + H \quad (4)$$

em que: “Rn” é o saldo de radiação, “LE” é o fluxo de calor latente, “G” é o fluxo de calor no solo e “H” é o fluxo de calor sensível, todos em W m⁻².

As estimativas do LE e do H foram derivadas a partir da equação do balanço de energia (equação 4) e do conceito da razão de Bowen (equação 7) (ALLEN et al., 2011), de acordo com as equações 5 e 6, respectivamente.

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (5)$$

$$H = \frac{\beta(Rn - G)}{1 + \beta} \quad (6)$$

Sendo “β” a razão de Bowen, definida como segue as equações 7, 8 e 9:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (7)$$

$$\lambda = 2,501 - 2,361 \times 10^{-3} T_a \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{C_p P_a}{0,622 \lambda} \quad (9)$$

em que: “ΔT” ou (T₁ - T₂) é a diferença de temperatura (°C) em dois níveis; “Δe” ou (e₁ - e₂) é a diferença de pressão parcial de vapor de água (kPa), em dois níveis; “γ” é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); “C_p” é o calor específico do ar seco a pressão constante (J kg⁻¹ K⁻¹); “λ” é o calor latente de vaporização da água (MJ kg⁻¹); “P_a” é a pressão atmosférica (kPa); “T_a” é a temperatura do ar (°C).

A análise de consistências dos dados do BERB foi realizada conforme os critérios estabelecidos por Perez et al. (1999). Diante desses critérios, são descartados os dados considerados fisicamente inconsistentes, incluindo os casos que se encontram fora dos limites de resoluções instrumentais. Dessa forma, as

estimativas de LE e H devem ser coerentes com as relações fluxo-gradiente. Nesse trabalho, os valores de Rn e G foram considerados positivos quando os fluxos ocorreram na direção da superfície (período diurno), entretanto, ocorre o inverso com os valores de LE e H, que só poderão assumir valores positivos quando se encontram em direção oposta a do ΔT e Δe . Diante disso, considerando-se os critérios anteriores, a relação entre o somatório dos gradientes ΔT e Δe com $(Rn - G)$, deverá sempre ser maior do que zero (equação 10). Contudo, para que os valores de LE e H possam ser considerados consistentes, os dados de β não podem estar contidos nos intervalos de rejeição do método do BERB (equação 11).

$$\frac{\Delta e}{LE} = \gamma \frac{\Delta t_{ar}}{H} = \frac{\Delta e + \Delta t_{ar}}{Rn - G} > 0 \quad (10)$$

$$(-1 - |\partial \epsilon|) \leq \beta \leq (-1 + |\partial \epsilon|) \quad (11)$$

em que: “ $\partial \epsilon$ ” é o erro absoluto de “ β ”.

$$\epsilon = \frac{\partial \Delta e - \gamma \partial \Delta t_{ar}}{\Delta e} \quad (12)$$

em que: “ $\partial \Delta e$ ” e “ $\partial \Delta t_{ar}$ ” são os limites de resolução dos gradientes de pressão de vapor d’água (kPa) e de temperatura (°C), respectivamente.

Sabendo-se que os erros (ϵ) de estimativa do método do BERB podem ser positivos ou negativos, com isso, foram considerados valores fixos de ΔT e Δe iguais a $|0,02|$ kPa e $|0,05|$ °C, respectivamente (PEREZ et al., 1999). Uma exigência do BERB está relacionada com a precisão dos sensores utilizados nos critérios de resolução e medição, em particular, o sensor de bulbo molhado (equação 11). Dessa forma, por meio das condições descritas anteriormente, considerou-se que apenas duas combinações são possíveis para que valores de LE e H sejam fisicamente consistentes:

- a) Quando $(R_n - G) > 0$ e $\beta > -1$, o valor de LE (equação 5) sempre deverá ser positivo; enquanto que H (equação 6), pode ser positivo ($\beta > 0$) ou negativo ($-1 < \beta \leq 0$). Quando $(R_n - G) > 0$ e $\beta < -1$, somente os casos $LE < 0$ e $H > 0$ são possíveis.
- b) Quando $(R_n - G) < 0$ e $\beta < -1$, somente os casos $LE > 0$ e $H > 0$ são possíveis. Quando $(R_n - G) < 0$ e $\beta > -1$, LE sempre deverá ser negativo, enquanto que H pode ser negativo ($\beta > 0$) ou positivo ($-1 < \beta \leq 0$).

O método BERB pode ainda apresentar falhas na ausência dessas condições acima descritas. Sendo assim, foram considerados os erros frequentes apresentados por Perez et al. (1999) para a análise de consistência física dos dados. Os erros são dos tipos A, B, C e D (Tabela 2), sendo considerado também o erro tipo E que corresponde aos valores de $\beta < -0,75$, que pode gerar valores de LE e H fisicamente inconsistentes (MARIN, 2003; ORTEGA-FARIAS et al., 1996).

As estimativas de LE e H em intervalos de 15 minutos foram consideradas, apenas quando havia energia disponível no sistema (fotoperíodo) das 6h00 às 16h00, respectivamente, ou seja, quando $(R_n - G)$ apresentaram valores positivos. Durante a análise de consistência física dos dias avaliados ao longo do ciclo da videira “*Syrah*”, estes foram considerados como dias “válidos” quando os dados médios de 15 minutos apresentaram 80% dos valores de LE e H fisicamente consistentes, conforme os critérios estabelecidos por Perez et al. (1999). Contudo, os 20% referente aos dados descartados do fotoperíodo, considerados fisicamente inconsistentes, foram submetidos a uma interpolação assumindo que os valores de LE e H eram iguais a zero, quando o primeiro valor de $(R_n - G)$ foi negativo (INMAN-BAMBER & MCGLINCHEY, 2003; MARIN, 2003).

Tabela 2. Resumo dos erros do método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB), segundo Perez et al. (1999)

Tipo de Erro	Condição
A	$(R_n - G) > 0, \Delta e > 0, \beta < -1 + e $
B	$(R_n - G) > 0, \Delta e < 0, \beta < -1 - e $
C	$(R_n - G) < 0, \Delta e > 0, \beta < -1 - e $
D	$(R_n - G) < 0, \Delta e < 0, \beta < -1 + e $
E	$\beta < -0,75$ (Mudanças rápidas de “t” e “e”)

$R_n - G$: energia disponível, Δe : diferença da pressão de vapor entre o primeiro e segundo níveis de medição, β : razão de Bowen, “t” e “e”: temperatura e pressão de vapor, respectivamente, e $|e|$: intervalo de exclusão de dados de β em torno de -1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, pode-se observar a variação horária dos fluxos de radiação (radiação solar global incidente, R_g ; radiação refletida, R_r ; saldo de radiação, R_n ; radiação fotossinteticamente ativa, RFA; balanço de ondas curtas; BOC; e balanço de ondas longas, BOL), enquanto na Tabela 3 encontra-se as frações diárias da R_g , particionada nas diferentes fases fenológicas da videira “*Syrah*” nas condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

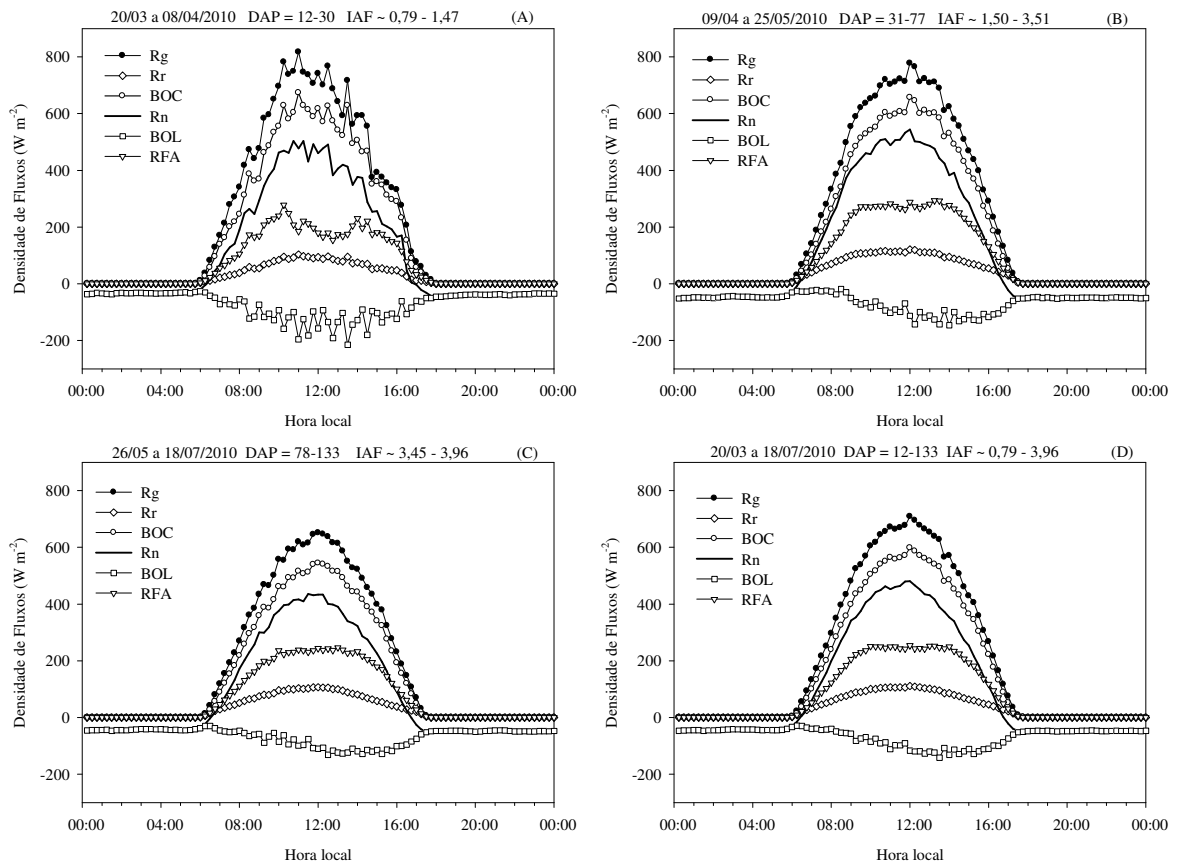


Figura 2. Variação horária dos componentes do balanço de radiação durante o ciclo da videira irrigada (Cultivar “*Syrah*”), distribuídos nas diferentes fases fenológicas, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Tabela 3: Valores médios e partição dos componentes do balanço de radiação nas diferentes fases fenológicas do primeiro ciclo da videira “Syrah” no Submédio do Vale do São Francisco, 2010

Parâmetros	Fases Fenológicas			Ciclo
	BR-FL	FL-MT	MT-CO	
DAP	12-30	31-77	78-133	12-133
IAF	1,09	2,46	3,80	2,46
Rn/Rg	0,68	0,73	0,72	0,73
Rr/Rg	0,11	0,17	0,17	0,16
RFA/Rg	0,32	0,41	0,41	0,40

BR = brotação; FL = floração; MT = maturação; CO = colheita; DAP = Dias após a poda; IAF = índice de área foliar médio da fase ($m^2 m^{-2}$).

Unidades de medidas: Rn/Rg, Rr/Rg, RFA/Rg, adimensional.

*Frações obtidas apenas no intervalo das 9 às 16 horas.

Observa-se que na fase de Brotação-Floração (Figura 2A), que compreende o período de 20/03 a 08/04/2010 (DAP = 12-30), os componentes do balanço de radiação sofreram interferência das condições atmosféricas local, principalmente, no que se refere à ocorrência de nebulosidade durante esta fase. Verifica-se ainda, que a radiação global incidente (Rg) apresentou valor máximo de $817 W m^{-2}$ ocorrido às 11h00. Estes valores foram superiores aos encontrados na fase de Floração - Maturação (Figura 2B), no período compreendido entre 09/04 a 25/05/2010 (DAP = 31-77) onde a Rg atingiu valor máximo de $777 W m^{-2}$ (às 12h00). Na fase de Maturação - Colheita que ocorreu no período de 26/05 a 19/07/2010 (DAP = 78-133) (Figura 2C) a Rg apresentou a mesma tendência da fase anterior, sendo que os valores continuaram a decrescer coincidindo com o solstício de inverno, com o valor máximo observado de $651 W m^{-2}$ (às 12h00). Ao longo de todo o ciclo da videira “Syrah” no período de 20/03 a 19/07/2010 (DAP = 12-133) (Figura 2D), a Rg atingiu valor máximo de $709 W m^{-2}$ (às 12h00), com média de $459 W m^{-2}$. Estes resultados podem estar associados a menor disponibilidade de radiação solar global incidente nesta região durante esta época do ano, favorecida pela mudança da estação de outono para inverno.

A distribuição dos padrões médios horários do saldo de radiação (Rn) podem ser observados na Figura 2. Os valores máximo e mínimo de Rn ocorreram na fase de Floração-Maturação (Figura 2B), variando de 544 a $17 W m^{-2}$ (entre às 12h00 e 06h30), representando assim cerca de 73% da Rg (Tabela 3). Neste período, o aumento do IAF, que passou de 1,50 para $3,51 m^2 m^{-2}$ nesta fase, com média de $2,46 m^2 m^{-2}$, associado aos reduzidos valores de Rg, contribuíram para valores do BOL

(Figura 2B) menos negativos, apresentando extremos de -19 a -146 W m^{-2} (entre às 8h45 e 14h00), enquanto o BOC foi superior ao R_n , que variou de 657 a 3 W m^{-2} (entre às 12h00 e 6h00). Na fase anterior de Brotação-Floração (Figura 2A), o R_n representou cerca de 68% da R_g quando foram verificados valores de 503 e 5 W m^{-2} (entre às 10h45 e 06h30). No entanto, ainda neste período, foram observados valores do BOL mais negativos variando de -26 a -215 W m^{-2} que ocorreram entre às 6h00 e 13h30, em decorrência de baixos valores de IAF ($1,09 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e R_g (443 W m^{-2}) que associados a uma menor cobertura do solo, contribuiu para que maior parte dessa energia tenha sido emitida em direção à atmosfera a partir da superfície do solo, o que resultou em baixos valores do BOL. Enquanto isso, os valores do BOC permaneceram superiores ao R_n , variando de 673 a 7 W m^{-2} (entre às 11h00 e 6h00).

Na fase de Maturação-Colheita (Figura 2C), os valores de R_n decresceram de acordo com o aumento do IAF (de $3,45$ para $3,96 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), ocasionando uma menor penetração da radiação através do dossel vegetativo, que variou de 436 a 18 W m^{-2} (entre às 11h30 e 6h45), passando a representar 72% de R_g (Tabela 3). Neste período, constatou-se valores do BOL que variaram de -29 a -131 W m^{-2} (entre às 6h30 e 12h30) e do BOC entre 544 W m^{-2} (às 12h00) e 7 W m^{-2} (às 6h15). Durante a análise horária de todo o ciclo da videira “*Syrah*” (Figura 2D) observa-se que o R_n atingiu valor máximo de 481 W m^{-2} , correspondendo em média 73% do total de radiação solar global incidente sobre o dossel vegetativo da cultura. Estes resultados, foram superiores aos obtidos por Yunusa et al. (2004), que quantificando os componentes do balanço de radiação e energia para a videira, verificaram valores médios de R_n/R_g em torno de 60%. No entanto, Teixeira et al. (2008), trabalhando com videiras para vinho e mesa, sob as mesmas condições climáticas deste trabalho, verificaram que a relação R_n/R_g foi de 46 e 55%, respectivamente.

A partir dos resultados de R_g e R_n foi possível obter as partições diárias do balanço de radiação (R_r) e energia (H, LE, G) (Figura 3). Ainda na Figura 2A pode-se verificar que nos primeiros dias após a poda, a R_r atingiu valor máximo de $103 \pm 28 \text{ W m}^{-2}$ e média de 56 W m^{-2} correspondendo a 11% da relação R_r/R_g (Tabela 3). Isto deve-se ao baixo desenvolvimento vegetativo da videira e maior exposição do solo o que proporciona um menor poder refletor da cultura durante a fase inicial. Resultados superiores foram obtidos por Radünz et al. (2013) que encontraram relação R_r/R_g máxima correspondendo a 33% trabalhando com o efeito da época de

poda e da desfolha na interceptação de radiação solar em vinhedo com a cultivar Bordô, sob sistema de condução pérgola. De acordo com Norberto et al. (2009), em razão das características inerentes a cada sistema de condução da videira, como a distribuição e a orientação da folhagem dentro do dossel, a captação e a penetração da radiação solar realizam-se de forma diferenciada. Com isso, à medida que a planta foi ganhando biomassa e aumentou o IAF, a relação R_r/R_g se manteve constante até o final do ciclo da videira “*Syrah*”, com valores máximos de $121 \pm 31 \text{ W m}^{-2}$ (Figura 2B) e $107 \pm 30 \text{ W m}^{-2}$ (Figura 2C), com média de 85 e 70 W m^{-2} , respectivamente, correspondendo a um albedo em torno de 17%. Quando foram considerados os dados médios horários de todo o ciclo (Figura 2D), os valores de R_r variou entre 111 W m^{-2} e 9 W m^{-2} (às 12h00 e 6h00), com média de 75 W m^{-2} , que correspondeu a 16% da relação R_r/R_g (Tabela 3).

Na Figura 2 também são apresentados os valores horários da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente sobre o vinhedo. Observa-se que na fase de Brotação-Floração (Figura 2A), quando o IAF da cultura atingiu valor máximo de $1,47 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, aos 30 DAP, a RFA atingiu valor médio de 161 W m^{-2} , com máximo de 278 W m^{-2} (às 10h15), correspondendo a 32% da radiação solar incidente ao longo desta fase. No entanto, nas fases subsequentes (Figura 2B e 2C), ocorreu um pequeno acréscimo da RFA, sendo este aumento influenciando possivelmente pelas condições atmosféricas locais, uma vez que, a RFA foi medida acima do dossel da cultura. Contudo, após a Brotação-Floração os valores médios de RFA estabilizaram, e atingiram em média 207 e 171 W m^{-2} , respectivamente, durante as fases de Floração-Maturação e Maturação-Colheita, contribuindo para que cerca de aproximadamente 41% da R_g em ambas as fases fenológicas, fosse utilizada para os processos fotossintéticos da cultura. Ao longo de todo o ciclo da videira “*Syrah*” a RFA atingiu valor médio horário de $184 \pm 79 \text{ W m}^{-2}$, que representou 40% do total de R_g incidente sobre o dossel vegetativo da cultura.

Os resultados da análise de consistência física dos dados micrometeorológicos para o método BERB, conforme os critérios estabelecidos por Perez et al. (1999) são apresentados na Tabela 4. Neste trabalho foram descartados os valores da razão de Bowen (β) inferiores a -0,75, considerados fisicamente inconsistentes (PEREZ et al., 1999). Desse modo, constatou-se que cerca de 83,4% dos dados analisados (4838 dados, médias de 15 minutos) ao longo do período

diurno (entre 6h00 e 16h00) durante todo o ciclo da videira “*Syrah*” foram considerados fisicamente consistentes.

Tabela 4: Consistência física dos dados da razão de Bowen (β), durante as diferentes fases fenológicas do primeiro ciclo da videira “*Syrah*” no Submédio do Vale do São Francisco, 2010

FASE	Tipo de Erro (%)*				$\beta < -0,75$	(-1- ϵ) $< \beta <$ (1+ ϵ)	PDC** (%)	PDV** (%)
	A	B	C	D				
BR-FL*	7,4	11,4	37,8	8,1	0,6	41,2	63,4	57,9
FL-MT*	2,3	5,0	46,4	4,8	0,7	11,8	87,5	82,2
MT-CO*	1,2	3,6	54,7	0,4	3,1	5,4	87,1	79,6
CICLO	2,6	5,4	48,8	3,3	1,8	13,6	83,4	69,5

*BR = brotação; FL = floração; MT = maturação; CO = colheita;

**PDC = percentual de dados consistentes; PDV = percentual de dias válidos;

***Tipo de Erro: “**A**”: $(R_n - G) > 0, \Delta e > 0; \beta < -1+|\epsilon|$; “**B**”: $(R_n - G) > 0, \Delta e < 0; \beta < -1-|\epsilon|$; “**C**”: $(R_n - G) < 0, \Delta e > 0; \beta < -1-|\epsilon|$; “**D**”: $(R_n - G) < 0, \Delta e < 0; \beta < -1+|\epsilon|$.

Total de dados medidos a cada 15 minutos: 11328

Total de dados medidos a cada 15 minutos no período diurno: 4838

Total de dias avaliados: 118

Verifica-se na Tabela 4 que durante todas as fases fenológicas analisadas o Percentual de Dados Consistentes (PDC) variou entre 87,5% (Floração-Maturação) e 63,4% (Brotação-Floração), respectivamente. Estes resultados foram superiores ao encontrados por Silva et al. (2011) para a cana-de-açúcar irrigada no nordeste brasileiro, os quais observaram que em média 62,7% dos dados analisados com aplicação do método BERB foram considerados fisicamente consistentes, apresentando oscilações entre 77,1 e 52,4% durante as fases de crescimento da cultura. Entretanto, Perez et al. (1999) verificaram percentuais de dados consistentes ainda menores, em torno de 56 e 70%, para estudos realizados em localidades situadas em regiões semiáridas. Há de se destacar que poucos estudos apresentam essa análise de dados, essencial para melhor confiabilidade dos resultados alcançados.

Na Tabela 4, verifica-se que os erros mais frequentes entre todas as fases da videira “*Syrah*” analisadas, foram do tipo “C” que em média ao final do ciclo representou cerca de 48,8%, atingindo seu percentual máximo de ocorrência de 54,7% durante a fase de Maturação-Colheita e mínimo de 37,8% na fase de Brotação-Floração. O erro tipo “C” ocorre com maior frequência durante o período

noturno, quando não há energia disponível no sistema e $(R_n - G)$ torna-se negativo. Alguns autores como Perez et al. (1999) afirmam que ao longo do período noturno é possível verificar o maior número de dados considerados inconsistentes quando os valores de β são rejeitados. Isto ocorre uma vez que, sob condições de atmosfera estável, os valores dos gradientes de temperatura (ΔT) e pressão de vapor (Δe) tornam-se pequenos e aproximam-se da faixa de resolução dos sensores.

Do total de erros observados neste trabalho, aqueles relacionados à ocorrência de β dentro da faixa de rejeição dos dados, apresentou o segundo maior percentual entre as fases fenológicas da videira, onde pela Tabela 4, verifica-se uma média de 13,6%, sendo constatadas oscilações em torno de 41,2% (Brotação-Floração) e 5,4% (Maturação-Colheita). Estes resultados foram superiores aos verificados por Silva et al. (2011) que encontraram para este tipo de erro um percentual médio em torno de 12,9% para a cana-de-açúcar, sob as mesmas condições climáticas deste trabalho. Quando foram descartados os valores de $\beta < -0,75$, considerados como dados inconsistentes (MARIN, 2003), observou-se que este apresentou percentual de ocorrência mínima em relação aos outros tipos de erros estabelecidos por Perez et al. (1999), com valor médio de 1,8% durante todo o ciclo, máximo de 3,1% na fase de Maturação-Colheita e mínimo de 0,6% na fase de Brotação-Floração.

Ainda na Tabela 4, observa-se que o erro tipo “B” correspondeu em média a 5,4% do total de dados considerados inconsistentes ao longo do ciclo da cultura. Na fase de Brotação-Floração este erro atingiu percentual máximo de 11,4%, em virtude do maior número de dados que foram descartados durante o fotoperíodo e atingiu percentual mínimo de 3,6% na fase de Maturação-Colheita. Entretanto, verificou-se também, quando havia energia disponível no sistema ($R_n - G > 0$), a ocorrência do erro tipo “A” que representou um percentual médio de 2,6% durante todas as fases fenológicas analisadas, atingiu valor máximo de 7,4% (Brotação-Floração) e mínimo de 1,2% (Maturação-Colheita). Silva et al. (2011) afirmam que a ocorrência deste erro é favorável, especialmente, após eventos de irrigação ou precipitação, que podem contribuir para a obtenção de valores de H menores que zero, quando os valores dos gradientes são negativos e os fluxos estão ocorrendo em direção a superfície do solo. Verifica-se o inverso com o erro tipo “D” que semelhante ao “C” ocorre apenas durante o período noturno quando $(R_n - G) < 0$. Observa-se na Tabela

4, que o erro tipo “D” correspondeu em média a 3,3% do total de dados considerados fisicamente inconsistentes, e assim como os erros “A” e “B”, apresentou percentual máximo de 8,1% durante a fase de Brotação-Floração e mínimo de 0,4% na fase de Maturação-Colheita.

Com a análise de consistência física dos dias avaliados ao longo do ciclo da videira “*Syrah*” verificou-se que o percentual de dias válidos (PDV) representou em média 69,5% dos 118 dias monitorados, quando os dados médios de 15 minutos durante o fotoperíodo apresentaram 80% das estimativas de LE e H fisicamente consistentes. Segundo Silva et al. (2011) este tipo de análise é de fundamental importância, uma vez que, um maior número de dados inconsistentes relacionado ao método BERB podem ocorrer durante o nascer e pôr-do-sol, quando são verificadas as inversões térmicas. Observa-se ainda na Tabela 4 que o PDV variou entre 82,2% (Floração-Maturação) e 57,9% (Brotação-Floração). Em relação aos 20% dos dados considerados fisicamente inconsistentes do fotoperíodo, foram atribuídos valores interpolados, considerando que os valores de LE e H eram substituídos por zero, quando nos primeiros instantes do dia ocorreram mudanças da diferença ($R_n - G$) de negativa para positiva (SILVA et al. 2011; MARIN, 2003). Com isto, constatou-se que o balanço de energia baseado no método da razão de Bowen para a videira “*Syrah*”, apresentou inconsistência física em parte dos dias avaliados, fazendo com que fossem rejeitados cerca de 30,5% dos 118 dias monitorados.

O comportamento horário dos componentes (R_n , LE, H e G) do balanço de energia nas diferentes fases fenológicas da videira “*Syrah*” obtidos por meio do método BERB é apresentado na Figura 3. A curva horária de todos os componentes segue o padrão da radiação solar incidente à superfície, sendo que suas variações devem estar associadas às variações horárias de nebulosidade na região, ao desenvolvimento da cultura e aos horários e frequências de irrigação.

Observa-se que o R_n durante o início do ciclo (Figura 3A) apresentou, no período diurno, valores médios superiores àqueles observados durante a fase final da cultura (Figura 3C), tendo em vista que o período final coincide com o solstício de inverno, que ocasiona menor incidência de radiação solar na região. As frações diárias do R_n particionado nas diferentes fases fenológicas da videira “*Syrah*” podem ser verificadas na Tabela 5.

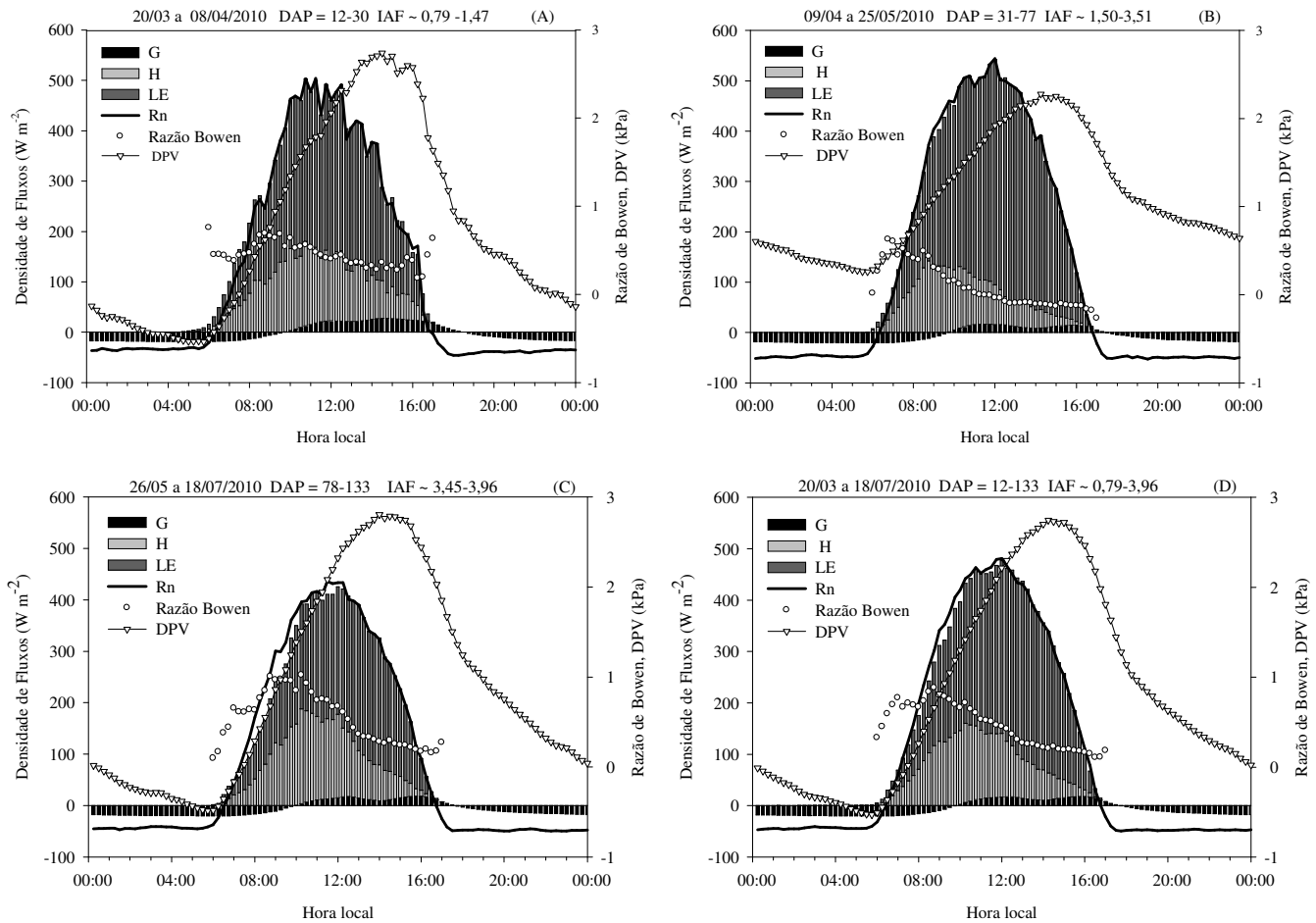


Figura 3. Variação horária dos componentes do balanço de energia durante o ciclo da videira irrigada (Cultivar “Syrah”), distribuídos nas diferentes fases fenológicas, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Tabela 5: Valores médios e partição dos componentes do balanço de energia nas diferentes fases fenológicas do primeiro ciclo da videira “Syrah” no Submédio do Vale do São Francisco, 2010

Parâmetros	Fases Fenológicas			Ciclo
	BR-FL	FL-MT	MT-CO	
DAP	12-30	31-77	78-133	12-133
IAF	1,09	2,46	3,80	2,46
DPV	0,96	1,10	0,95	1,01
β	0,38	0,33	0,53	0,43
LE/Rn	0,70	0,80	0,60	0,70
H/Rn	0,30	0,20	0,32	0,30
G/Rn	0,00	0,00	0,04	0,00
FE	0,71	0,81	0,62	0,72

BR = brotação; FL = floração; MT = maturação; CO = colheita; DAP = Dias após a poda; IAF = índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$); DPV = déficit de pressão de vapor d'água (kPa).

Unidades de medidas: β , LE/Rn, H/Rn, G/Rn, adimensional.

*FE = fração evaporativa, LE/(Rn-G).

**Valores diurnos obtidos apenas no intervalo das 6 às 16 horas.

Ao analisar os fluxos de energia (LE, H e G) durante o período diurno ao longo do ciclo vegetativo da videira “*Syrrah*”, observou-se com base nos resultados que na fase inicial (Figura 3A), quando o IAF da cultura variou entre 0,79 e 1,47 m² m⁻², o LE utilizou cerca de 70% da energia disponível no sistema (300 W m⁻²), que contribuiu para uma fração evaporativa (FE) em média de 71% (Tabela 5), favorecendo principalmente os processos de evaporação da água da superfície do solo e transpiração das plantas. Estes resultados podem estar associados, aos altos valores de déficit de pressão de vapor (DPV) que foram observados no final da tarde durante todo o ciclo da videira “*Syrrah*”, que possivelmente pode ter ocasionado um incremento na demanda evapotranspirativa da cultura. A energia utilizada para aquecer o ar atmosférico (H) correspondeu a cerca de 30% de Rn durante a fase inicial, da brotação à floração, enquanto o fluxo de calor no solo (G) foi praticamente nulo, apesar de ter apresentado valores mais altos entre 11 e 16h00, e mais baixos quando não havia energia disponível no sistema ($R_n - G < 0$), uma vez que o G é altamente influenciado pela cobertura e pela umidade do solo, e durante esta fase fenológica, com a área foliar em pleno desenvolvimento, os valores de G tornaram-se reduzidos, e a relação média G/Rn foi de 0%. Considerando-se as contribuições dos fluxos de LE e H, verificou-se ainda nesta fase que a razão de Bowen (β) variou entre 0,76 (6h00) e 0,28 (16h00), sendo que em outros horários, o β tornou-se menos pronunciado, com valores muito baixos, em torno de zero.

Na fase seguinte (Figura 3B), quando a videira apresentou IAF que variou entre 1,50 e 3,51 m² m⁻² o LE continuou a ser o componente mais importante do balanço de energia, sendo os valores máximos verificados entre às 10 e 14h00, e mínimos durante o nascer e pôr-do-sol. Com isso, o percentual da relação LE/Rn foi superior a fase de Brotação-Floração e o LE representou cerca de 80% de Rn (336 W m⁻²), que contribuiu para o máximo valor de FE observado entre as fases, que correspondeu a 81% (Tabela 5). Nesta fase o H passou a ser menos evidenciado e seus valores foram reduzidos em média 27% em relação à fase anterior, representando a relação H/Rn cerca de 20%. Souza et al. (2008) apontam como principais causas do decréscimo da relação H/Rn o baixo conteúdo de água no solo, em virtude da ausência de chuvas ou de irrigações frequentes, que pode alterar a disponibilidade hídrica no solo para as plantas, como resultado de uma maior demanda energética. Entretanto, muitos trabalhos com balanço de energia em

culturas anuais e perenes concluíram que a maior porção do saldo de radiação é transformada em fluxo de calor latente (HOLLAND et al., 2013; TEIXEIRA & BASTIAANSEN, 2012; TAKAGI et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2007; 2008).

O fluxo de calor no solo (G) na fase FL-MT apresentou tendência semelhante à fase anterior (Figura 3A), sendo observado um decréscimo dos valores em torno de 40%. Verifica-se na Figura 3B que os valores máximos de G ocorreram entre às 10 e 13h00, sendo os mínimos observados durante o nascer e pôr-do-sol. Durante este período o G correspondeu a 0% de Rn. O aumento do IAF nesta fase fenológica impediu que uma parte da radiação solar incidente sobre o dossel atingisse a superfície do solo, contribuindo assim para que os valores de G se tornassem reduzidos ou negativos, favorecendo o fechamento do balanço de energia durante o período diurno, em que se constatou que o somatório de todos os fluxos, aproximou-se de Rn. Resultados semelhantes também foram observados por Teixeira et al. (2008), que afirmam como causas de valores de G negativos no fotoperíodo, o crescente desenvolvimento vegetativo da cultura e irrigações intermitentes. Observa-se ainda na Figura 3B que os valores de β apresentaram algumas oscilações durante o amanhecer e em seguida verifica-se um decréscimo que se estende até o pôr-do-sol. Ao longo desta fase fenológica o β variou entre 1,04 e 0,09 (às 7h00 e 16h00), respectivamente.

Quando o IAF variou entre 3,45 e 3,96 m² m⁻², caracterizando a fase de Maturação – Colheita (Figura 3C), ocorreu um decréscimo de 38% no fluxo de LE em relação à fase de Floração-Maturação (Figura 3B). Os valores máximos de LE para esta fase ocorreram entre às 10 e 15h00, sendo reduzidos no amanhecer e entardecer. A demanda evapotranspirativa representou 60% de Rn (272 W m⁻²) e a FE atingiu o seu mínimo que correspondeu a 62% (Tabela 5). Ao longo desse período o H passou a ser mais pronunciado, atingindo o percentual máximo de energia disponível utilizada para o aquecimento do ar, cerca de 32%. Constatou-se ainda que entre às 9 e 13h00 ocorreram as maiores oscilações nos valores de H, havendo um decréscimo a medida que a energia disponível se tornou reduzida e logo tendeu a zero durante o nascer e pôr-do-sol. Verifica-se ainda na Figura 3C, que o G apresentou valores negativos entre às 6 e 10h00 da manhã, sendo evidenciado que durante parte do período diurno, os fluxos de energia foram direcionados para a atmosfera. Entretanto, ocorreu o inverso entre às 11 e 16h00, em que G assumiu

valores positivos, sendo parte da energia disponível direcionada para o aquecimento da superfície do solo. Diante disso, o G passou a ser mais pronunciado e representou em média 4% de Rn. Na Figura 3C, pode-se observar ainda que β atingiu os valores máximos entre às 9 e 10h00 da manhã, havendo um decréscimo em seguida que se estendeu até o entardecer, onde o β atingiu valores em torno de zero. Os valores médios horários da Razão de Bowen ($\beta \sim 0,56$) durante este período foram superiores, em média 39%, em relação aos observados na fase de Floração-Maturação ($\beta \sim 0,34$).

Ao analisar a densidade de fluxos horários de energia ao longo de todo o ciclo da videira “*Syrah*”(Figura 3D), constatou-se que os valores máximos de LE ocorreram entre às 11 e 14h00, quando também foram verificadas as maiores taxas de DPV que atingiu valores máximo e mínimo absolutos de $2,06 \pm 0,26$ kPa entre o nascer e pôr-do-sol. Desse modo, com as contribuições do DPV, os fluxos de LE se tornaram mais pronunciados e o processo de evapotranspiração representou em média 70% de Rn (293 W m^{-2}), que correspondeu a uma FE de 72% (Tabela 5) ao final de todo o ciclo vegetativo da cultura. Alguns autores como Teixeira et al. (2007), que trabalhando com a cultivar “*Syrah*” no semiárido do nordeste, encontraram que a relação LE/Rn representou cerca de 83% e a média de FE esteve em torno de 81%, respectivamente, ao longo de todo o ciclo da cultura. No entanto, Silva et al. (2011) estudando a demanda dos fluxos de energia na cultura da cana-de-açúcar irrigada sob as mesmas condições climáticas observaram que LE correspondeu em média a 69% de Rn no período diurno. Enquanto Holland et al. (2013) verificaram que sob duas condições de solo (com e sem vegetação) no interior de um vinhedo, esta demanda variou entre 89 e 77%.

Observa-se ainda na Figura 3D que os maiores fluxos de H ocorreram entre às 9 e 12 h00, sendo menos evidenciado quando atingiu valores mínimos ao nascer e pôr-do-sol. Em média o fluxo de calor sensível utilizou cerca de 30% de toda a energia disponível no sistema. Mais recentemente, Holland et al. (2013) encontraram que a relação H/Rn variou entre 26 e 40%, respectivamente, em um vinhedo com e sem cobertura de solo nas entrelinhas de plantio. O fluxo de calor no solo (G) apresentou valores mais altos durante o meio da manhã e tarde, entre às 11 e 16h00 e mais baixos quando não havia energia disponível no sistema ($R_n - G < 0$). No entanto, analisando a média de G para todo o ciclo de crescimento, constatou-se que

este correspondeu a 0% de Rn. Verificou-se que esta taxa decresceu em função do aumento do IAF e da altura da planta que favoreceu o crescimento do nível de cobertura do solo. Dessa forma, em virtude dos valores negativos de G observados durante o período diurno, estes forçaram o fechamento do balanço de energia quando LE+H superou os valores de Rn, fazendo com que o somatório de todos os fluxos (LE+H+G) seja conseqüentemente igual a Rn.

Analisando a razão de Bowen (β) em todo o ciclo de crescimento da videira “Syrah” (Figura 3D), constatou-se que β atingiu valor médio de 0,47 e apresentou ainda oscilações de 0,88 a 0,16 (entre às 9h00 e 16h00). Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Li et al. (2008) que verificaram ao final do ciclo da videira para vinho o valor médio de β igual a 0,42.

CONCLUSÕES

1. Os componentes do balanço de radiação sofreram interferência das condições local, principalmente, no que se refere à ocorrência de nebulosidade.
2. Os menores valores de radiação solar global ocorreram durante a fase final da cultura, a qual coincidiu com o solstício de inverno, que ocasiona menor incidência de radiação solar global na região.
3. A Radiação Fotossinteticamente Ativa representou 40% do total de radiação global incidente sobre o dossel vegetativo da videira “Syrah”.
4. O saldo de radiação e a radiação refletida representaram cerca de 73 e 16% respectivamente, da radiação solar incidente.
5. O fluxo de calor latente representou uma fração de 70% da energia disponível (Rn – G), na interação da videira “Syrah” com o ambiente, enquanto 30% foi destinado ao aquecimento do ar atmosférico (H). Durante quase todas as fases fenológicas da cultura não houve energia destinada ao aquecimento do solo (G), exceto na fase final quando a relação G/Rn representou aproximadamente 4%.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting. I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v.98, p.899–920, 2011.
- ASSUNÇÃO, H. F.; ESCOBEDO, J. F.; CARNEIRO, M. A. C. Eficiência de uso da radiação e propriedades óticas da cultura do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 215-222, 2008.
- BALDOCCHI, D. D.; XU, L.K.; NANCY, K. How plant functional type, weather, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy fluxes of an oakgrass savanna and an annual grassland. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 123, p. 13-39, 2004.
- BEZERRA, B. G. ; SILVA, B. B. ; BEZERRA, J. R. C. ; SOFIATTI, V. ; SANTOS, C. A. C. . Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigated cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 107, p. 86-93, 2012.
- CEOTTO, E.; CANDILO, M. Di.; CASTELLI, F. C.; BADECK, F.; RIZZA, F.; SOAVE, C.; VOLTA, A.; VILLANI, G.; MARLETTO, V. Comparing solar radiation interception and use efficiency for the energy crops giant reed (*Arundo donax* L.) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Field Crops Research**, v.149, p.159–166, 2013.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.
- FERNANDES, P. A. de C. **Comportamento agrônomico e enológico das castas Touriga Nacional e Syrah em seis regiões portuguesas**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Viticultura e Enologia)-Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- FERNÁNDEZ-PACHECO, D.G.; ESCARABAJAL, D.; RUIZ-CANALES, A.; CONESA, J. AND MOLINA-MARTÍNEZ, J.M. A new digital image processing based methodology for determining Kc in lettuce crops in the Southeast of Spain. **Biosystems Engineering**, v.117, p.23-24, 2014.
- FERREIRA JUNIOR, R. L.;SOUZA, J. L. de.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, R. C. de.; ARAÚJO NETO, R. A. de. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.322–328, 2014.
- FOKEN, Thomas. **Micrometeorology**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 306 p.
- FRITSCHEN, L. J. & FRITSCHEN, C. L. Bowen Ratio Energy Balance Method. In: VINEY, M. K. (ed.). **Micrometeorology in Agricultural Systems**. **Agronomy**

Monograph nº 47. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2005. 584p.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 139-147, 2001.

GONÇALVES, S. de O. **Influência de manejos de irrigação sobre aspectos de ecofisiologia e de produção da videira cv. Syrah/paulsen 1103.** 2011. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

HAO, Y.; WANG, Y.; HUANG, X.; CUI, X.; ZHOU, X.; WANG, S.; NIU, H.; JIANG, G. Seasonal and interannual variation in water vapor and energy exchange over a typical steppe in Inner Mongolia, China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 146, p.57-69, 2007.

HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; BOSCO, L. C.; TRENTIN, G. ; GRIMM, E. L.; RADONS, S. Z. ; LUCAS, D. D. P. Saldo de radiação diurno em dosséis de batata como função da radiação solar global. **Revista ciência agrônômica**, v. 43, p. 96-104, 2012.

HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H.; SAUER, T. J. Energy balance and turbulent flux partitioning in a corn-soybean rotation in the Midwestern US. **Theoretical and Applied Meteorology**, v.100, p.79-92, 2010.

HOLLAND, S.; HEITMAN, J. L.; HOWAR, A.; SAUER, T. J.; GIESE, W.; BEN-GAL, A.; AGAM, N.; KOOL, D.; HAVLIN, J. Micro-Bowen ratio system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.177, p.93- 100, 2013.

HOUSPANOSSIAN J.; NOSETTO M.; JOBBAGY E. G. Radiation budget changes with dry forest clearing in temperate Argentina. **Global Change Biology**, V. 19, p. 1211–1222, 2013.

INMAN-BAMBER, N. G.; MCGLINCHEY, M. G. Crop-coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, v.83, p.125–138, 2003.

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN,J.L.; SAUER, T.J.; AND BEN-GAL, A.: A review of approaches for evapotranspiration partitioning, **Agricultural and Forest Meteorology**, v.184, p.56-70, 2014.

LI, S.E.; KANG, S.Z.; LI, F.S.; ZHANG, L.; ZHANG, B.Z. Vineyard evaporative fraction based on eddy covariance in an arid desert region of Northwest China. **Agricultural Water Management**, v.95, p.937–948, 2008.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; PILAU, F. G. **Clima e ambiente: introdução a climatologia para ciências ambientais**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008. p. 97-104.

MARIN, F.R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 134 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARIN, F.R.; SANTIAGO, A.V.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R.; MAGGIOTTO, S.R.; PEZZOPANE, J.R.M. Solar radiation interception and its relation with transpiration in different coffee canopy layers. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.1-6. 2003.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no semi-árido**. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 2, p. 37-59.

NORBERTO, P. M.; REGINA ALBUQUERQUE, M. de.; NAGIB, N.; CHALFUN, J.; SOARES, A. M. Efeito do sistema de condução em algumas características ecofisiológicas da videira (*Vitislabrusca* L.) **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 721-726, 2009.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.81, p.131-143, 1996.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. 2. ed. PIRACICABA: FUNDAG/USP, 2013. v. 1. 323p .

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, p.141-150, 1999.

RADÜNZ, A. L. ; SCHOFFEL, E. R. ; HALLAL, M. O. C. ; BRIXNER, G. F. . Efeito da época de poda e da desfolha na interceptação de radiação solar na videira bordo. **Bragantia**, São Paulo, v. 72, p. 14-21, 2013.

RODRIGUES, T. R. **Variabilidade interanual da sazonalidade de fluxos de energia e matéria em área de cerrado na baixada cuiabana**. 2011. 71 f. Dissertação (mestrado Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

SANTOS, C. M. G. **Fisiologia e metabolismo da videira cv. Syrah no Submédio do Vale do São Francisco sob três estratégias de irrigação**. 2012. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

SAUER, T.J.; SINGER, J.W.; PRUEGER, J.H.; DESUTTER, T.M.; HATFIELD, J.L. Radiation balance and evaporation partitioning in a narrow-row soybean canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.145, p.206-214, 2007.

SILVA, T. G. F. da ; MOURA, M. S. B. de ; ZOLNIER, S. ; SOARES, J. M. ; SOUZA, L. S. B. ; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 139-147, 2011.

SOUZA, C. B. de; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. DE P. R. da. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.400-407, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

TAKAGI, K.; KIMURA, R.; SAYLAN, L. Variability of surface characteristics and energy flux patterns of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) under well-watered conditions. **Theoretical and Applied Meteorology**, v.96, p.261-273, 2009.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSEN, W.G.M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-splinker-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, v.30, p.13-28, 2012.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region**. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2009, 226p.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v.362, p.110-127, 2008.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.94, p.31-42, 2007.

UDDIN, J.; HANCOCK, N.H.; SMITH, R. J.; FOLEY, J. P. Measurement of evapotranspiration during sprinkler irrigation using a precision energy budget (Bowen ratio, eddy covariance) methodology. **Agricultural Water Management**. v.116, 89-100, 2013.

YUNUSA, I. A. M.; WALKER, R. R.; LU, P. Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlysimetry techniques for an irrigated vineyard in inland Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.127, p.93- 107, 2004.

CAPÍTULO II

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PARA A VIDEIRA “SYRAH” NO SUBMÉDIO VALE DO SÃO FRANCISCO

RESUMO: Com esse trabalho objetivou-se analisar a variação sazonal e diária dos valores da evapotranspiração nas diferentes fases fenológicas da cultura da uva para vinho, determinada por duas metodologias (balanço de energia com base no método da razão de Bowen e o modelo de Penman-Monteith modificado), a eficiência do uso da água pela cultura e a razão ET_c/ET_o , para as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco. O experimento foi conduzido em uma área comercial da Fazenda Ouro Verde (Latitude: 09°16'S; Longitude: 40°51'O e Altitude: 444 m), no primeiro semestre do ano de 2010, localizada na região semiárida do município de Casa Nova, Bahia. A área de 9 hectares selecionada foi plantada com a videira (*Vitis vinifera* L.), variedade “Syrah”, enxertada sobre o porta-enxerto IAC 766, com três anos de plantio, e irrigada por gotejamento. A poda de produção foi realizada no dia 08 de março de 2010 e a colheita no dia 19 de julho de 2010, totalizando o ciclo produtivo de 133 dias. Para obtenção dos dados micrometeorológicos, foi instalada uma estação agrometeorológica no centro da área experimental equipada com um sistema de aquisição de dados *datalogger*, ao qual foram conectados os sensores para o monitoramento dos elementos meteorológicos dentro do parreiral no período de 20/03/2010 a 19/07/2010. Com base nos resultados observou-se que foram necessários 1.819 graus-dia acumulados (GDA) para a videira “Syrah” completar o seu ciclo, correspondendo ao total de 133 dias para poda no primeiro semestre do ano. A evapotranspiração de referência (ET_o) e a evapotranspiração da cultura determinada por meio do método BERB ($ET_{c_{BERB}}$) total durante o ciclo da cultura foram de 474,0 e 376,4 mm, respectivamente, com valor médio diário de 3,9 e 3,1 mm. A transpiração máxima estimada pelo método de Penman-Monteith oscilou entre 9,2 e 3,0 $L\ d^{-1}\ m^{-2}$, com volume total de 614,7 $L\ m^{-2}$, aproximadamente 204,9 mm. A razão $ET_{c_{BERB}}/ET_o$ atingiu valores médios de 0,70; 0,85 e 0,66, respectivamente, para as fases fenológicas de Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita. A produtividade de água média de todo o ciclo

estudado com base no total de água consumida e transpirada foi de $1,17 \text{ kg m}^{-3}$ e $2,15 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

Palavras-chave: semiárido, evapotranspiração, razão de Bowen, transpiração máxima.

GRAPE VINE "SYRAH" WATER USE EFFICIENCY AT LOWER BASIN OF THE SÃO FRANCISCO VALLEY

ABSTRACT: This work was carried out to evaluate the seasonal and daily variation of the values of evapotranspiration in different phenological stages of grape vine, determined by two methods (energy balance based on the Bowen ratio method/BREB - and modified Penman-Monteith equation), the water use efficiency by the crop and the ratio ET_c/ET_o for the climatic conditions of the Lower Basin of the São Francisco Valley. The experiment was carried out in a commercial area of *Fazenda Ouro Verde* (Latitude: 09°16'S, Longitude: 40°51'W and Altitude: 444 m), located in the semiarid region of *Casa Nova, Bahia*, during the first half of 2010. The selected area of 9 hectares was planted with grape vine (*Vitis vinifera* L.), "Syrah" variety, grafted on rootstock IAC 766, with three years of planting and drip irrigated. The pruning production was held on March 8, 2010 and the harvest on July 19, 2010, totaling a production cycle of 133 days. To obtain the micrometeorological data, a weather station was installed in the center of the experimental area, equipped with a *datalogger* acquisition system, which were connected to sensors for monitoring of meteorological elements within the vineyard from 03/20/2010 to 07/19/2010. Based on the results, it was shown that 1,819 degree-days (GDA) were needed for the grape vine "Syrah" to complete its cycle, corresponding to a total of 133 days for pruning in the first half of the year. The reference evapotranspiration (ET_o) and the crop evapotranspiration determined by BREB method ($ET_{c_{BREB}}$) during the crop cycle were 474.0 and 376.4 mm, respectively, with a daily average of 3.9 and 3.1 mm. The Penman-Monteith maximum transpiration rate ranged between 9.2 and 3.0 $L\ d^{-1}\ m^{-2}$, with a total volume of 614.7 Lm^{-2} , corresponding to about 204.9 mm. The $ET_{c_{BREB}}/ET_o$ ratio reached average values of 0.70; 0.85 and 0.66, respectively, for the phenological phases of Sprouting-flowering, flowering, ripening to harvest. The whole average water productivity for the grape vine cycle studied based on the total amount of water transpired was 1.17 $kg\ m^{-3}$ and 2.15 $kg\ m^{-3}$, respectively.

Keywords: semiarid, evapotranspiration, Bowen ratio, maximum transpiration.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o desenvolvimento da vitivinicultura se destaca principalmente nas regiões Sul e Nordeste, onde se concentra aproximadamente 85 e 15% da produção de vinhos finos tintos de todo o país. O cultivo da videira para produção de vinho no Nordeste brasileiro está localizado na região do Submédio do Vale do São Francisco, onde atualmente, são produzidos cerca de 6 milhões de litros de vinhos tintos finos por ano (PEREIRA, 2013).

A variedade “*Syrah*” é uma das mais utilizadas para a elaboração de vinhos tintos finos no Submédio do Vale do São Francisco e representa cerca de 65% da produção vinícola daquela região (PEREIRA, 2013; MOURA et al., 2007).

A vitivinicultura naquela região ocorre, sobretudo, diante de condições edafoclimáticas, que contribuiu para a quebra de um paradigma da enologia mundial, que considerava impossível a obtenção de vinhos de excelente qualidade em regiões tropicais de clima quente, como o semiárido brasileiro (FARIAS, 2011; PEREIRA et al., 2009). As altas temperaturas e índice de insolação exercem forte influência sobre a videira e favorecem o rápido desenvolvimento da cultura, acelerando o seu metabolismo, possibilitando ao produtor fazer o escalonamento da produção de uvas para vinhos ao longo do ano, com menores custos de investimentos em relação às regiões produtoras tradicionais no mundo (PEREIRA, 2013). Além disso, o potencial hídrico da bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta grande importância econômica, com aproveitamento do volume de água transportado nos pólos produtores dos estados de Pernambuco e Bahia, que possibilita a prática da irrigação e, conseqüentemente, o desenvolvimento da vitivinicultura na região semiárida.

Nesse ambiente semiárido, o uso da irrigação tornou-se prática comum, sobretudo como meio eficaz para a regulação da disponibilidade de água e nutrientes para a videira, a fim de propiciar o desenvolvimento da uva, produção e maturação dos frutos (ETCHEBARNE et al., 2009). Com a disponibilidade de água em abundância naquela região e estando os recursos hídricos cada vez mais escassos, é de fundamental importância o planejamento mais eficaz, no que concerne ao manejo adequado durante o aproveitamento da água para o vinhedo. Desse modo, a busca pela eficiência do uso da água na irrigação, com base no desenvolvimento de metodologias que permitam estimar volumes cada vez mais precisos, que possibilitam obter o equilíbrio entre a biomassa e produtividade da cultura vinífera é

imprescindível para a qualidade da uva produzida sob as condições climáticas daquela região, sendo assim necessário o conhecimento da evapotranspiração da cultura. A evapotranspiração (ET) é proveniente de dois processos que ocorrem simultaneamente em uma superfície vegetada, a evaporação (E) da água do solo e a transpiração (T) das plantas (PEREIRA et al., 2013; THORNTHWAITE, 1944). Segundo Ding et al. (2013), a ET é o componente principal do balanço de água, que consome mais de 90% do uso deste recurso na agricultura. Além disso, Huo et al. (2013) afirmam que a ET é um componente importante no ciclo hidrológico da água, que integra demandas atmosféricas e condições da superfície do solo, permitindo que se torne um fator climático determinante em regiões áridas e semiáridas. Assim, as estimativas da ET poderão contribuir, principalmente, para minimizar o desperdício da água, por meio do manejo eficiente de irrigação (KANG et al., 2008; YAN & OUE 2011; YAN et al., 2012a), promovendo reduções de riscos e de custos na produção do vinhedo.

As estimativas da evapotranspiração, normalmente são realizadas utilizando dados meteorológicos e algoritmos que descrevem a energia da superfície e características aerodinâmicas (ALLEN et al., 2011). Em condições ideais de disponibilidade de água no solo, é possível determinar o coeficiente de cultura (K_c), fator que expressa os efeitos morfológicos (área foliar), fisiológicos (intensidade metabólica) e fenológicos (fase de desenvolvimento) da cultura sobre o seu consumo de água (PEREIRA et al., 2013), variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento e, conseqüentemente, da variação da cobertura do solo (ALLEN et al., 1998). Nestas condições o K_c pode ser determinado por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), quando há disponibilidade de dados meteorológicos na região (ALLEN & PEREIRA et al., 2009). Muitos dos coeficientes de cultura utilizados, que incorporam as características da planta e do solo variando ao longo do ciclo fenológico, não refletem as condições do local de interesse, uma vez que foram determinados em regiões distintas. Entretanto, segundo Araújo Primo (2013), sob condições de restrições hídricas, a razão ET_c/ET_o corresponde apenas à variação de ET_c em relação às condições ambiente do local.

Existem muitas técnicas disponíveis para as estimativas da ET no campo, em escala temporal e espacial, sendo avaliadas e recomendadas por muitos autores

para diversas culturas. Entre as metodologias utilizadas destacam-se aquelas baseadas na conservação de energia por meio da determinação do fluxo de calor latente e sensível, tais como os métodos micrometeorológicos da Razão de Bowen e correlações de vórtices turbulentos (KOOL et al., 2014; HOLLAND et al., 2013; UDDIN et al., 2013; MAUDER et al., 2013; TEIXEIRA & BASTIAANSSEN, 2012), a técnica com sensoriamento remoto (PAUL et al., 2014; ANDERSON et al., 2012; CARRASCO-BENAVIDES et al., 2012; GALLEGUILLOS et al., 2011), a conservação de massa por lisimetria (ZHANG et al., 2013; LÓPEZ-URREA et al., 2012) e o método de Penman–Monteith modificado para plantas isoladas (GENTIL, 2010; WHITEHEAD & BEADLE, 2004). Contudo, Allen et al. (2011) afirmam que, para se obter medidas precisas de ET, necessário se faz utilizar sistemas com boa calibração e manutenção e, em muitos casos, buscar conhecimento dos fenômenos físicos que governam o método de medida.

O método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB) vem apresentando resultados precisos quando relacionado com as demais metodologias. A sua utilização para estimativas do fluxo vertical de calor latente e sensível, em vinhedo irrigado, tem sido avaliado, principalmente em regiões de clima semiárido (ZHANG et al., 2011a; LI et al., 2009; GAVILÁN & BERENGENA, 2007; TEIXEIRA et al., 2007).

Dentre outros, o método clássico de Penman–Monteith modificado ou modelo da grande folha (“big leaf model”) (MONTHEIT, 1965) para estimativa da transpiração máxima em plantas isoladas foi utilizado também em algumas pesquisas incluindo: vegetação natural (LABAKI et al., 2011), *Eucalyptus* (GENTIL, 2010) e pomar de pêra (FERNÁNDEZ et al., 2007). Entretanto, essas informações ainda são escassas, tornando-se necessário a realizações de pesquisas locais, permitindo a avaliação deste modelo, sobretudo, para o manejo de irrigação localizada.

A quantidade de água a ser aplicada em uma área de vinhedo comercial depende da estratégia racional do manejo de irrigação e da qualidade da uva a ser produzida. No entanto, a maior parte dos estudos sobre a videira para vinho estão focados no efeito das limitações de água pela cultura (COSTA et al., 2012; ROMERO et al., 2012; TOMÁS et al., 2012). Como consequência disso, a avaliação e melhoria da eficiência do uso da água (EUA) é um importante tema de pesquisa para a cultura da videira (TOMÁS et al., 2012; FLEXAS et al., 2010; CHAVES et

al., 2007). Dessa forma, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos aplicando-se índices de produtividade e uso da água com a finalidade de avaliar o manejo da irrigação e seus efeitos na produtividade das culturas (SAKAR et al., 2010; ZWART et al., 2010; CAI et al., 2011). Segundo os autores Immerzeel et al. (2008) e Li et al. (2008), a produtividade de água (PA) pode ser determinada por meio da relação entre a produção e a evapotranspiração da cultura. A determinação da PA com base na evapotranspiração é recomendada, principalmente por este parâmetro incluir aporte de água além da irrigação, tal como chuva, elevação capilar e mudanças na umidade do solo (TEIXEIRA et al., 2009; ZWART et al., 2010).

Com base no exposto, e considerando a necessidade de informações sobre a eficiência do uso da água para a cultura da uva para vinho na região semiárida do nordeste brasileiro, objetivou-se com esse trabalho analisar os valores da evapotranspiração da videira “*Syrah*”, determinada por duas metodologias: o balanço de energia com base no método da razão de Bowen e o modelo de Penman-Monteith modificado, para as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área comercial da Fazenda Ouro Verde (Figura 1) (Latitude: 09°16’S; Longitude: 40°51’O e Altitude: 444 m), no primeiro semestre do ano de 2010. A área está localizada na região semiárida do município de Casa Nova, Bahia, a qual de acordo com a classificação climática de Köppen, apresenta clima do tipo BSw^h, semiárido, com estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e abril, com precipitação média de 548,7 mm, temperatura média elevada da ordem de 26°C e umidade relativa em torno de 50% (MOURA et al., 2007).

A área de 9 hectares selecionada foi plantada com a videira (*Vitis vinífera* L.), variedade “*Syrah*”, enxertada sobre o porta-enxerto IAC 766, com três anos de plantio, e irrigada por gotejamento. O parreiral foi implantado no espaçamento de 3,0 m x 1,0 m conduzido no sistema de espaldeira, sendo as plantas formadas a 0,6 m acima do solo, com 1,2 m de comprimento de ramo.

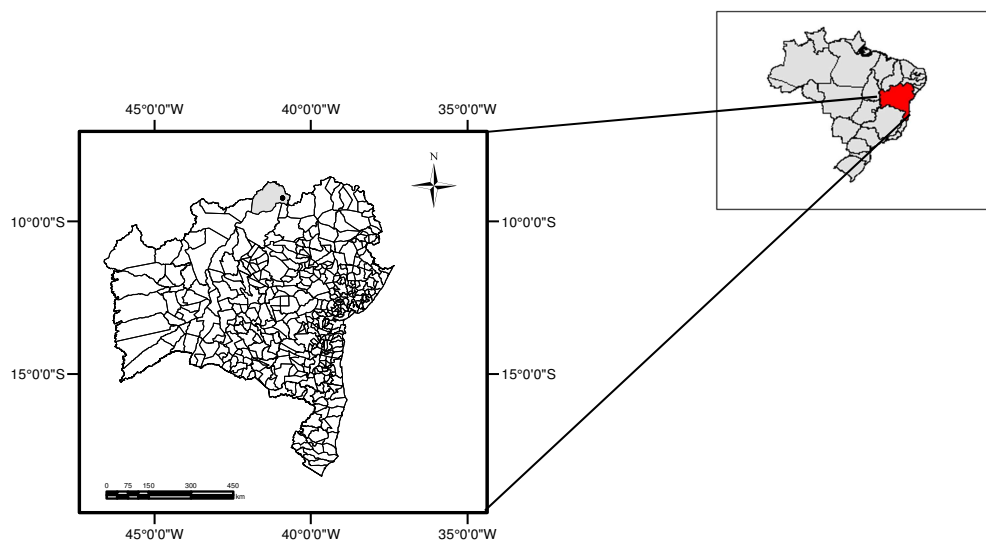


Figura 1. Localização da área experimental na Fazenda Ouro Verde no município de Casa Nova – BA, 2010.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico Plíntico (EMBRAPA, 2013). O resultado da análise química do solo nas profundidades de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m para fins de fertilidade do solo pode ser observada em anexo (Tabela 1). A poda de produção para o primeiro semestre de 2010 foi realizada no dia 08 de março de 2010 e a colheita no dia 19 de julho de 2010, totalizando um ciclo produtivo de 133 dias após a poda.

Os dados micrometeorológicos foram obtidos no período de 20/03/2010 a 19/07/2010 por meio de uma estação agrometeorológica instalada no centro da área experimental, equipada com sistema de aquisição de dados programado para fornecer leituras a cada 30 segundos e médias a cada 15 minutos, ao qual foram conectados os sensores para o monitoramento dos elementos meteorológicos dentro do parreiral. Foram instalados um piranômetro (modelo: CM3, Kipp & Zonen Inc.; USA) para medição da radiação solar global (R_g); um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (R_n) (modelo: NR LITE, Kipp & Zonen Inc.; USA); dois psicrômetros com termopares tipo T (cobre-constantan), instalados em dois níveis acima do dossel da cultura (2,0 e 3,0 m), com a finalidade de medir as temperaturas do ar em bulbo seco e em bulbo molhado; um anemômetro (modelo: 03101-L, Young) para medir a velocidade do vento, em um nível, na mesma altura do primeiro psicrômetro; e dois fluxímetros (modelo: HFP01SC, Campbell Scientific Inc.; USA) nas profundidades de 0,02 e de 0,08 m para medida do fluxo de calor no solo. O monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado com auxílio de uma sonda FDR (CS615,

Campbell Scientific Inc.; USA), com registro de leituras na camada de 20 cm de profundidade. Esses dados foram utilizados para caracterização microclimática do parreiral, bem como para aplicação das metodologias de determinação da evapotranspiração e transpiração máxima da cultura.

As estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o) e graus-dia acumulados (GDA) (equações 1 e 2), foram realizadas utilizando os dados disponibilizados pelo Setor de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido. As variáveis meteorológicas monitoradas foram: temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (MJ m⁻² d⁻¹) e velocidade do vento (m s⁻¹).

A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada pelo método de Penman-Monteith, de acordo com a equação 1, proposta por Allen et al. (1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que: “ET_o” é a evapotranspiração de referência (mm d⁻¹), “R_n” é o saldo de radiação à superfície de cultura (MJ m⁻² d⁻¹), “G” é a densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻² d⁻¹), “T” é a temperatura do ar média diária a 2 m de altura (°C), “u₂” é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹), “e_s” é a pressão do vapor de saturação (kPa), “e_a” é a pressão parcial do vapor (kPa), (e_s - e_a) é o déficit de pressão do vapor de saturação (kPa), “Δ” é a declividade da curva de pressão do vapor (kPa °C⁻¹) e “γ” é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

O índice de área foliar foi determinado com o auxílio de um ceptômetro (Accupar, Decagon Devices, USA). As leituras foram realizadas ao longo de todo o ciclo da cultura em intervalos consecutivos de 15 dias. Em cada campanha, eram feitas três leituras de maneira perpendicular à fileira, e em três plantas distintas, totalizando 9 leituras. Os valores de IAF medidos no ceptômetro foram correlacionados com os graus-dia acumulados e o ajuste do modelo foi realizado utilizando o *software* Sigmaplot, v.10.1.

Os graus-dia acumulados (GDA), por sua vez, foram determinados nas diferentes fases fenológicas da cultura, da poda até a colheita (Tabela 1), a partir dos

dados de temperatura média do ar e basal inferior da cultura, de acordo com a equação 2, proposta por Arnold (1969):

$$GDA=(T_m-T_b) \quad (2)$$

em que: “GDA” são os graus-dias acumulados desde a poda até a colheita, em °C dia; “T_m” é a temperatura média do dia e “T_b” é a temperatura basal inferior da cultura, ambas em °C .

As fases fenológicas da videira “*Syrah*” foram divididas em 5 subperíodos: Poda-Brotação (PO-BR), Brotação-Floração (BR-FL), Floração-Maturação (FL-MT), Maturação-Colheita (MT-CO) e Poda-Colheita (PO-CO), como descrito na Tabela 1. Desse modo, com base nestes subperíodos foi realizada análise dos dados em escala diária e sazonal.

Tabela 1. Subperíodos fenológico da videira “*Syrah*” no primeiro ciclo de produção, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010

Subperíodos fenológico						
Ano. Semestre		PO-BR*	BR-FL	FL-MT	MT-CO	PO-CO
2010.1	DAP	1-9	10-30	31-77	78-133	1-133
	DF (dias)	9	21	47	55	133

*Poda-brotação (PO-BR), brotação-floração (BR-FL), floração-maturação (FL-MT), maturação-colheita (MT-CO), poda-colheita (PO-CO), dias após a poda (DAP), duração da fase (DF).

Desprezando a energia armazenada no dossel da cultura e o fluxo de energia utilizada nos processos fotossintéticos, uma vez que representam menos de 3% do saldo de radiação (PEREIRA et al., 2013), a equação do balanço de energia pode ser expressa pelas médias dos fluxos de calor e massa, conforme equação 3 (FOKEN, 2008):

$$R_n = LE + G + H \quad (3)$$

em que: “R_n” é o saldo de radiação, “LE” é o fluxo de calor latente, “H” é o fluxo de calor sensível e “G” é o fluxo de calor no solo, todos em W m⁻².

As estimativas do LE e do H foram derivadas da equação do balanço de energia (equação 3) e do conceito da razão de Bowen (equação 6) (ALLEN et al., 2011), de acordo com as equações 4 e 5, respectivamente.

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (4)$$

$$H = \frac{\beta(Rn - G)}{1 + \beta} \quad (5)$$

Sendo “ β ” a razão de Bowen, definida como segue na equação 6:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (6)$$

em que: “ ΔT ” ou $(T_1 - T_2)$ é a diferença de temperatura ($^{\circ}C$) em dois níveis; “ Δe ” ou $(e_1 - e_2)$ é a diferença de pressão parcial de vapor de água (kPa), em dois níveis; “ γ ” é o coeficiente psicrométrico ($kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$);

$$\gamma = \frac{C_p P_a}{0,622 \lambda} \quad (7)$$

em que: “ C_p ” é o calor específico do ar seco à pressão constante ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); “ λ ” é o calor latente de vaporização da água ($MJ \text{ kg}^{-1}$); “ P_a ” é a pressão atmosférica (kPa).

O uso do método da razão de Bowen apresenta algumas particularidades, dentre elas, considera a hipótese de igualdades dos coeficientes de transferência turbulenta de calor (K_h) e de vapor d’água (K_w), quando verificadas condições advectivas no ambiente de monitoramento dos dados (GAVILÁN & BERENGENA, 2007). Outra exigência do BERB está relacionada com a precisão dos sensores utilizados, em particular, o sensor de bulbo molhado. O valor da razão de Bowen (β) pode aproximar-se de -1, o que, conseqüentemente, irá favorecer inconsistências nos valores dos fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE). Além disso, o método do BERB apresenta outras exigências para que os seus resultados sejam considerados satisfatórios, dentre elas está o requerimento quanto ao tamanho da bordadura - *fetch* (f) e da altura de instalação dos psicrômetros em dois níveis (h), sendo que, quanto maior a altura dos psicrômetros, maior será a área da bordadura.

Pesquisadores como Perez et al. (1999) sugerem que a relação h/f seja de 1:100 para se obter a consistência durante as estimativas dos valores dos fluxos.

Com base nos dados de LE, a evapotranspiração da cultura da videira “Syrah” pelo método do BERB ($ET_{c_{BERB}}$, mm d⁻¹), foi obtida dividindo-se o fluxo de calor latente da equação 4, pelo valor do calor latente de vaporização da água ($\lambda = 2,45.10^6$ J kg⁻¹) e integrando os resultados para o período diurno em que houve energia disponível no sistema, ou seja, quando $R_n - G > 0$ (PEREZ et al., 1999). A determinação da $ET_{c_{BERB}}$ em escala sazonal para todo o ciclo produtivo da videira, foi realizada considerando-se as fases fenológicas de Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita, como descritas na Tabela 1.

A estimativa diária da transpiração máxima da cultura da videira para vinho foi obtida por meio do modelo de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), adaptado para plantas em renques e hipoestomáticas, como segue a equação 8:

$$\lambda TR = Af \frac{s R_{nf} + 2\eta \rho c_p Da / r_a}{s + \gamma \left(j + \frac{r_f}{r_a} \right) \eta} \quad (8)$$

em que: “TR” é a transpiração máxima da videira (L d⁻¹); “Af” é a área foliar da videira (m²); “s” é declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹); “R_{nf}” é o saldo de radiação efetivo da copa (MJ m⁻² d⁻¹); “r_a” é a resistência aerodinâmica a difusão de vapor (s m⁻¹); “r_f” é a resistência da cobertura das folhas a difusão de vapor (s m⁻¹); “ρ” é a densidade do ar (kg m⁻³); “c_p” é o calor específico do ar seco (J kg⁻¹ K⁻¹); “λ” é o calor latente de vaporização da água (MJ kg⁻¹); “γ” é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); “Da” é o déficit de pressão de vapor do ar (kPa); “j” depende do tipo da folha, sendo j =1 para folhas anfiestomáticas (estômatos nas duas faces da folha) e j = 2 para folhas hipoestomáticas (estômatos apenas na face inferior da folha, que é o caso da videira); “η” é a razão entre as resistências aerodinâmicas ao transporte de calor latente e calor sensível (η = 0,93).

O saldo de radiação efetivo da copa, que expressa à energia por unidade de área foliar (R_{nf}) foi obtido conforme a equação 9, proposta por Landsberg et al. (1975) e Butler (1976). No presente estudo a área projetada pelo dossel da videira em

um espaço de 1,0 m x 3,0 m, correspondeu a aproximadamente 1,10 m². Com isto, a fração do Rnf foi tomada como sendo 20% do saldo de radiação (Rn) medido acima do dossel da cultura:

$$Rnf = 0,2 * Rn \quad (9)$$

em que: “Rnf” é o saldo de radiação efetivo da copa (MJ m⁻² de área foliar) e “Rn” é o saldo de radiação medido (MJ m⁻² d⁻¹).

A resistência aerodinâmica (r_a) ao transporte de momentum entre a vegetação e o nível acima dela para plantas de videira, foi determinada por meio da relação empírica sugerida por Landsberb & Powell (1973), como segue a equação 10:

$$r_a = 58 p^{0,56} \left(\frac{d}{u} \right)^{0,5} \quad (10)$$

em que: “r_a” é a resistência aerodinâmica a difusão de vapor (s m⁻¹); “d” é a dimensão característica das folhas (m); “u” é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); “p” é uma medida da densidade foliar “vista” pelo vento, que corresponde a aproximadamente a 20% da área foliar da cultura (p = 0,2 Af).

A estimativa da condutância a difusão de vapor d’água (r_f) foi determinada por meio do modelo descrito por Thorpe et al. (1980) (equação 11), tendo em vista que medidas porométricas são laboriosas e difíceis de serem executadas em condições de campo.

$$r_f = gr \left(\frac{1 - \alpha Da}{1 + \beta / RFA_f} \right) \quad (11)$$

em que: “r_f” é a resistência da cobertura das folhas a difusão de vapor (s m⁻¹); “gr” é condutância de referência (mm s⁻¹); “Da” é o déficit de pressão de vapor do ar (kPa); “RFA_f” é a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura (mmol m⁻² s⁻¹); “α” e “β” são coeficientes de ajuste.

Nesse trabalho, foram adotados valores de $g_r = 10 \text{ mm s}^{-1}$, α entre 0,2 e 0,3 kPa e β entre 59 e 79 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, como sugeridos por Angelocci (1996), que atingiram as melhores estimativas da transpiração máxima em macieiras utilizando esses coeficientes.

A razão ET_{CBERB}/ET_o foi obtida por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura determinada pelo método BERB e a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada como descrita no boletim 56 da FAO, para as fases de Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita da videira “*Syrah*”.

A produtividade de água pela videira “*Syrah*” foi computada com base na relação entre a quantidade de água evapotranspirada e transpirada, e os dados de produtividade da videira na área, como segue as equação 12 e 13:

$$PA_{ET} = \frac{\text{Prod}}{ET_{\text{período}}} \quad (12)$$

$$PA_{TR} = \frac{\text{Prod}}{TR_{\text{período}}} \quad (13)$$

em que: “PA” é a produtividade de água (kg m^{-3}); “Prod” é o valor da produção de vinhedo (kg); “ $ET_{\text{período}}$ ” é a evapotranspiração total da cultura (m^3), determinada por meio do BERB; “ $TR_{\text{período}}$ ” é a transpiração total da cultura (m^3), estimada por meio do modelo de Penman-Monteith modificado para plantas isoladas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações médias diárias dos elementos meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global, déficit de pressão de vapor, DPV; velocidade do vento e precipitação pluvial, P), evapotranspiração de referência (ET_o – FAO 56) e da umidade do solo (US) ao longo do ciclo da videira “*Syrah*” na região do Submédio do Vale do Rio São Francisco são apresentados na Figura 2 e Tabela 2 (Anexo).

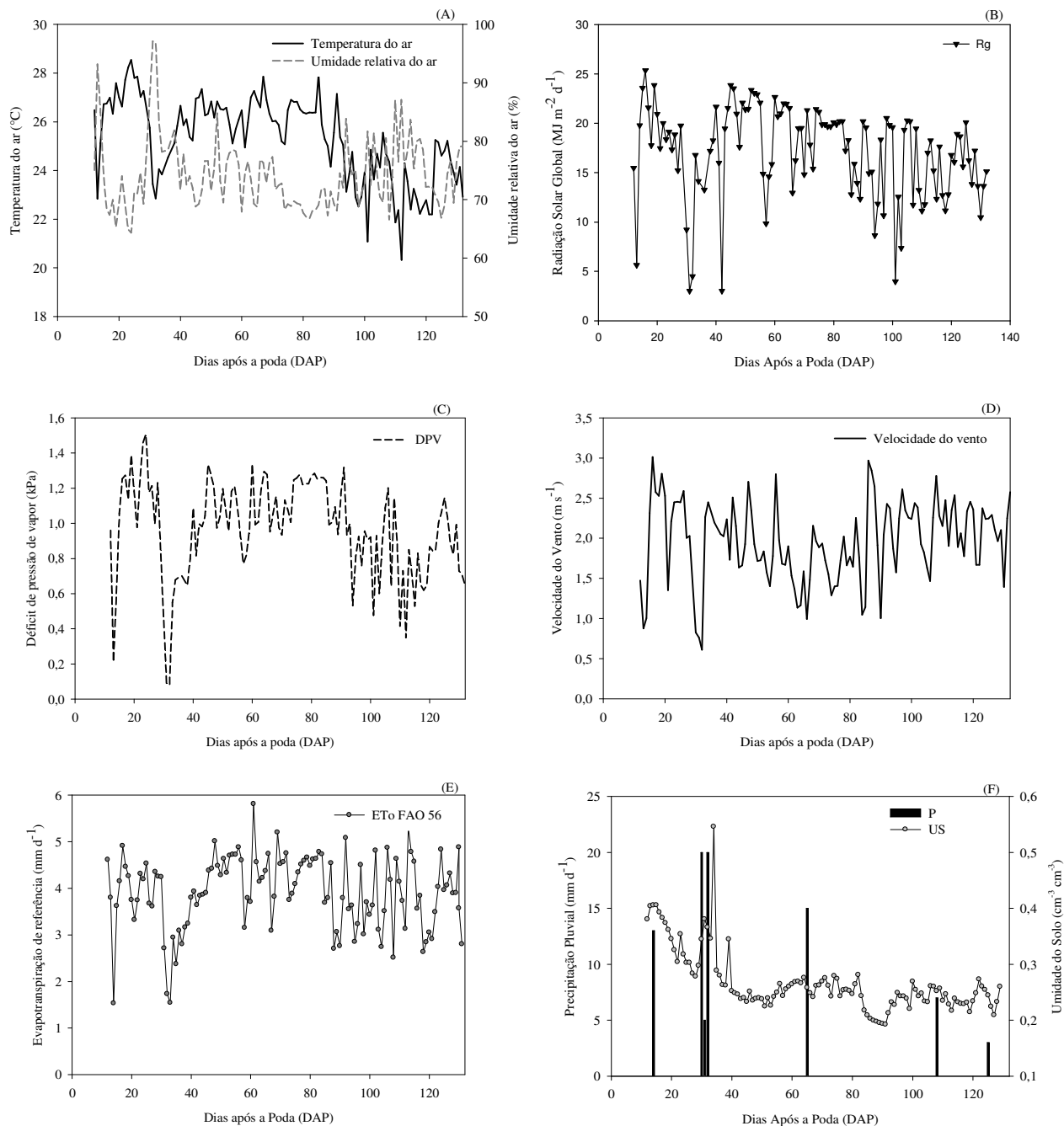


Figura 2. Variação diária dos elementos meteorológicos, da evapotranspiração e da umidade do solo, referente ao primeiro ciclo de produção da videira “Syrah”, na região do Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Verifica-se que durante a fase fenológica de Brotação-Floração (BR-FL) dos 12 aos 30 (DAP), os valores máximos e mínimos absolutos atingidos pela temperatura (T_{ar}) e umidade relativa do ar (UR_{ar}) (Figura 2A), foram de 28,5 e 22,8°C e 93,2 e 64,3%, respectivamente, que ocorreram aos 24 e 13 (DAP), com média diária de 26,8°C e 73,3%. Estes resultados influenciaram o déficit de pressão

de vapor do ar (DPV), indicador da demanda evaporativa da atmosfera, o que pode ser observado pelos valores extremos de DPV (1,5 e 0,2 kPa) que foram registrados aos 24 e 13 DAP, com valor médio diário de 1,1 kPa (Figura 2C).

Observa-se, ainda, nesta fase, que a Rg apresentou média diária de 18,1 MJ m⁻²d⁻¹, sendo que a maior incidência de radiação solar na superfície ocorreu aos 16 DAP, quando a Rg apresentou limite máximo de 25,4 MJ m⁻²d⁻¹ (Figura 2B). A velocidade do vento média diária durante esta fase foi de 2,1 m s⁻¹, com valores máximos e mínimos de 3,0 e 0,8 m s⁻¹ registrados aos 24 e 13 (DAP), respectivamente (Figura 2D). Contudo, foi possível constatar que a interação entre todos estes elementos meteorológicos, favoreceu a ETo média diária de 4,0 mm d⁻¹, com valores máximo e mínimo variando entre 4,9 e 1,5 mm d⁻¹ que ocorreram aos 17 e 14 (DAP), respectivamente (Figura 2E).

Na fase de Floração-Maturação (FL-MT) dos 31 aos 77 (DAP), constatou-se que os valores de T_{ar} (Figura 2A) apresentaram pequena redução variando entre 27,9 e 22,9°C, aos 67 e 32 DAP, com média diária de 25,9°C. No entanto, verificou-se que os valores da UR_{ar} (Figura 2A), foram mais elevados, com extremos de 97,1 e 67,9%, aos 31 e 60 (DAP), com média diária de 75,5%. Diante dessas condições, os valores de DPV apresentaram-se mais reduzidos, e se observou valores máximo e mínimo de 1,3 e 0,1 kPa, com valor médio diário de 1,0 kPa (Figura 2C). Ainda neste período, verificou-se também que os valores de Rg foram inferiores aos observados na fase de BR-FL, constatando-se o valor máximo de 23,9 MJ m⁻²d⁻¹, que ocorreu aos 45 (DAP), com média diária de 18 MJ m⁻²d⁻¹ (Figura 2B). No entanto, os valores da velocidade do vento foram reduzidos (Figura 2D), com média diária de 1,8 m s⁻¹ e extremos absolutos variando de 2,8 a 0,6 m s⁻¹, respectivamente, que coincidiram com os menores valores de UR registrados aos 31 e 60 (DAP). O comportamento da ETo foi semelhante a fase anterior, com valor médio diário de 4,0 mm d⁻¹, e extremos variando de 5,8 a 1,5 mm d⁻¹ aos 61 e 33 DAP, respectivamente (Figura 2E).

Na fase subsequente de Maturação-Colheita (MT-CO) dos 78 aos 133 (DAP), observa-se que houve maiores reduções nos valores de T_{ar} e UR_{ar}, que resultaram em médias diárias iguais a 24,2°C e 73,7%, respectivamente. Constatou-se ainda, que os valores máximos e mínimos absolutos de T_{ar} e UR_{ar} foram de 28 e 20,3 °C e 87,1 e 66,6% (Figura 2A). Com isto, observou-se ainda que a média diária de

DPV atingiu seu valor mínimo em relação as fases anteriores (0,9 kPa), com extremos que variou de 1,3 a 0,3 kPa (Figura 2C). A Rg apresentou uma tendência decrescente com média diária de 15,7 MJ m⁻²d⁻¹ e valor máximo de 20,5 MJ m⁻²d⁻¹, que ocorreu aos 98 (DAP) (Figura 2B). O baixo índice de Rg neste período deve estar associado a baixa declinação solar, quando são verificados os menores valores de Rg nesta região. Observa-se que a média diária da velocidade do vento foi de 2,1 m s⁻¹, resultado superior aos detectados nas fases anteriores, com extremos que variou de 3 a 1 m s⁻¹ (Figura 2D). Com a redução dos valores das variáveis meteorológicas, constatou-se a menor demanda de água da atmosfera local, com ETo média diária de 3,9 mm d⁻¹ e valores máximo e mínimos absolutos de 5,3 e 2,5 mm d⁻¹, que ocorreu aos 113 e 108 DAP, respectivamente (Figura 2E).

Analisando o comportamento das variáveis meteorológicas ao longo de todo o ciclo da videira “*Syrah*”, constatou-se que a T_{ar} e UR_{ar}, apresentou valores médios de 25,3 °C e 74,4%, o que resultou em um DPV médio diário de aproximadamente 1,0 kPa. Verificou-se ainda, que a Rg e a velocidade do vento, atingiram média diária de 17 MJ m⁻²d⁻¹ e 2,0 m s⁻¹, respectivamente. Com estes resultados foi possível observar que a média diária de ETo atingiu cerca de 3,9 mm d⁻¹ e total de 474,0 mm para todo o ciclo de crescimento da videira “*Syrah*”. Valores superiores foram encontrados por Teixeira et al. (2007) que trabalhando com esta mesma cultivar verificaram que a ETo total foi de 586,0 mm, evidenciando uma alta demanda hídrica da atmosfera local.

O volume de água precipitado ao longo de todo o ciclo da videira “*Syrah*” foi baixo, no total de 83 mm, concentrados principalmente nas fases fenológicas de BR-FL (33 mm) (dos 12 aos 30 DAP) e FL-MT (40 mm) (dos 31 aos 77 DAP) respectivamente (Figura 2F), que representaram cerca de 88% do valor total de precipitação pluvial observado. A umidade do solo (US) foi medida no interior do parreiral, na camada de 0,20 m. Verificou-se que a média da US foi de 0,27 cm⁻³ cm⁻³, com medidas oscilando entre 0,55 e 0,19 cm⁻³ cm⁻³, atingindo seus valores máximos no início do ciclo da videira, quando ocorreram os maiores eventos de precipitação pluvial (Figura 2F).

Contudo, pode-se observar que a demanda de água da videira foi reduzindo até o final do ciclo da cultura, quando foram evidenciados os menores valores de evapotranspiração da cultura. Estes resultados podem estar associados à suspensão e,

ou redução da lâmina de água aplicada nos eventos de irrigação na área experimental, uma vez que durante a fase de MT-CO, este fator deve ser suspenso, para que se possa favorecer a maturação das bagas.

A disponibilidade térmica no período estudado para as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco foi de aproximadamente de 3.129°C. Os valores diários de temperatura máxima, em determinados dias, foram superiores a 30°C, porém não ultrapassaram 45°C, uma vez que condições próximas a esta temperatura pode ocasionar reduções dos processos metabólicos da videira (TEIXEIRA et al., 2012). Entretanto, a mínima verificada foi de aproximadamente 13°C, não atingindo a temperatura mínima basal de 10°C, considerada em muitos estudos como a mais adequada para a caracterização das exigências térmicas de algumas cultivares de videira destinada a elaboração de vinhos no Brasil (SILVA et al., 2011). A temperatura média do ar, durante todo o período estudado, medida na estação de referência foi em torno de 24°C.

Pesquisadores como Teixeira (2009) e Keller (2010), afirmam que sob condições térmicas elevadas, a temperatura do ar pode influenciar principalmente a fisiologia da videira e a qualidade das uvas, favorecendo o aumento da concentração de açúcar e reduzindo a concentração de ácido simultaneamente. Segundo Orduña (2010), os vinhos elaborados com uvas oriundas dessas condições climáticas apresentam maiores teores de álcool e valores de pH elevados, afetando negativamente a intensidade e qualidade do aroma, cor e longevidade.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de graus-dias acumulados (GDA) da poda até a colheita da videira “*Syrah*”. Constatou-se que os valores de GDA obtidos para os subperíodos de Poda-Brotação, Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita foram, respectivamente, iguais a 159, 295, 648 e 717 GDA (Tabela 2). O ciclo produtivo da videira “*Syrah*” apresentou duração de 133 dias, totalizando 1.819 graus-dias acumulados e produtividade média de 4.400 kg ha⁻¹. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Moura et al. (2007), que trabalhando as exigências térmicas da videira “*Syrah*”, em diferentes ciclos de produção, na mesma localidade, verificaram que os ciclos referentes ao primeiro semestre 2005.1 e 2006.1 atingiram, aproximadamente, 1.817 e 2.158 graus-dia acumulados, respectivamente, com duração de 119 e 126 dias e produtividade média de 5.508 e 4.382 kg ha⁻¹.

Tabela 2. Exigências térmicas, em graus-dia (GD), para cada subperíodo fenológico da videira “Syrah” no primeiro ciclo de produção, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010

Subperíodos fenológico							
Exigências térmicas (Graus-Dia)							
Ano. Semestre		PO-BR*	BR-FL	FL-MT	MT-CO	PO-CO	Prod. kg ha ⁻¹
2010.1	GD	159	295	648	717	1.819	4.400
	DAP	1-9	10-30	31-77	78-133	1-133	
	DF	9	21	47	55	133	

*Poda-brotação (PO-BR), brotação-floração (BR-FL), floração-maturação (FL-MT), maturação-colheita (MT-CO), poda-colheita (PO-CO), dias após a poda (DAP), duração da fase (DF).

Na Figura 3, pode-se observar o comportamento do índice de área foliar (IAF) ajustado pelo modelo “pico gaussiano”, com três parâmetros, em função dos graus-dias acumulados (GDA) durante todo o ciclo da cultura.

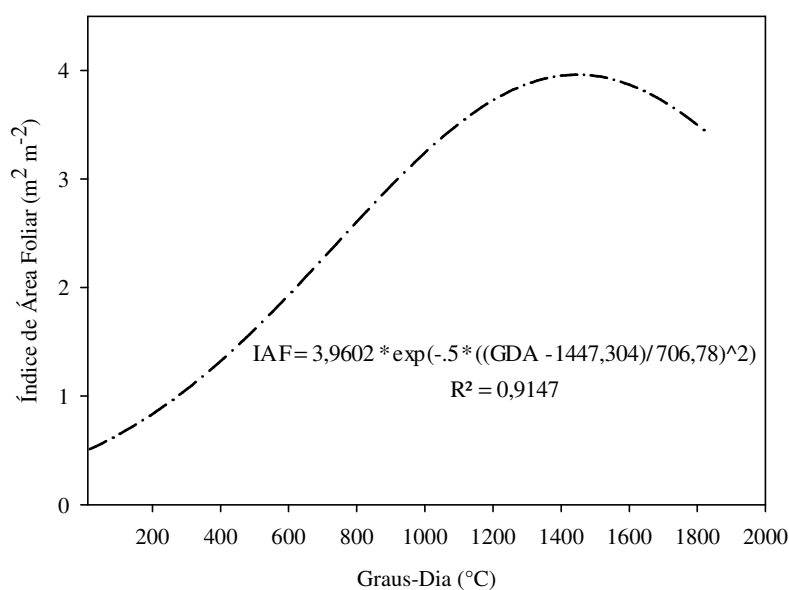


Figura 3. Modelo ajustado para descrever o Índice de Área Foliar (IAF) da videira “Syrah” durante o primeiro ciclo de produção, no Submédio do Vale do São Francisco, em função dos graus dias acumulados (GDA), 2010.

Constatou-se que o grau de dispersão dos valores em torno da média foi de 8,53%, indicando que cerca de 91,47% da estimativa dos valores de IAF ocorreram próximos aos dados observados em campo, uma vez que durante as primeiras fases de desenvolvimento da cultura o IAF foi crescente, com média de 2,1 m² m⁻² e máximo de 3,51 m² m⁻² até aos 77 DAP quando a exigência térmica da videira atingiu 1.102 GDA. O valor máximo do IAF, ao longo de todo o ciclo de

crescimento da cultura, foi de $3,96 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 101 DAP o que correspondeu a 1.441 GDA. Em seguida, ocorreu um declínio, caracterizando o final do ciclo da videira “*Syrah*”, estando estes resultados associados à fase de senescência da cultura, quando há secagem da folhagem, o que resultou na diminuição da área foliar e consequentemente, do IAF.

A variação diária da $ET_{C_{BERB}}$ para o ciclo da videira “*Syrah*” pode ser observada na Figura 4. Verifica-se que na fase de Brotação-Floração (12-30 DAP), a $ET_{C_{BERB}}$ atingiu valor médio de $3,1 \text{ mm d}^{-1}$, oscilando entre $4,9 \text{ mm d}^{-1}$ (15 DAP) e $0,9 \text{ mm d}^{-1}$ (13 DAP), respectivamente. Durante este período, verificou-se que o consumo total de água pela videira foi de 58,5 mm.

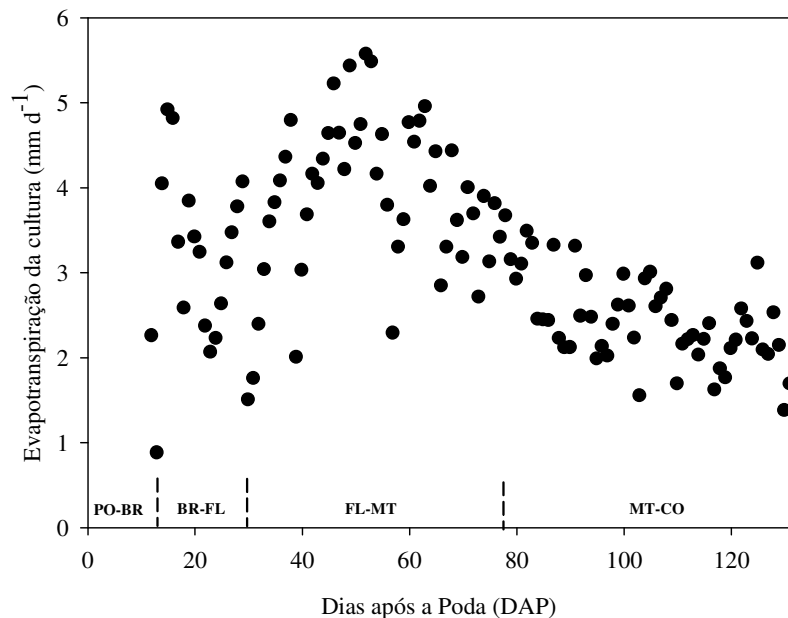


Figura 4. Evapotranspiração da videira “*Syrah*”, obtida com o Balanço de Energia pelo método da Razão de Bowen ($ET_{C_{BERB}}$) no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Pode-se observar ainda na Figura 4, que no início da fase de Floração-Maturação (31-77 DAP), a $ET_{C_{BERB}}$ atingiu valor mínimo de $1,8 \text{ mm d}^{-1}$ (31 DAP). Contudo, ocorreu uma tendência relativamente crescente nos valores de lâmina evapotranspirada até os 55 DAP, cujo valor máximo foi de $5,6 \text{ mm d}^{-1}$. Ocorrendo a partir dos 56 DAP, declínio acentuado desses valores. Essa tendência permaneceu até a fase final do ciclo da cultura. A média da $ET_{C_{BERB}}$ para esta fase foi de $3,9 \text{ mm d}^{-1}$, sendo o total evapotranspirado pela cultura de 184,6 mm.

No período subsequente, referente à fase de Maturação-Colheita (78-133 DAP), verificou-se uma redução nos valores de $ET_{c_{BERB}}$, onde constatou-se que o consumo de água pela videira “*Syrah*” representou em média $2,4 \text{ mm d}^{-1}$. Estes resultados podem estar associados à baixa disponibilidade de água no solo, conforme dados de umidade do solo apresentados na Figura 2F, em virtude da possível suspensão e, ou redução da lâmina de água aplicada por meio da irrigação e também devido à ausência dos eventos de precipitação na área experimental (Figura 2F), bem como pela redução da radiação solar global incidente. Contudo, pode-se verificar na Figura 4 que a $ET_{c_{BERB}}$ atingiu valores máximo e mínimo entre $3,7$ e $1,4 \text{ mm d}^{-1}$ aos (78 e 130 DAP), respectivamente. Durante esta fase fenológica, o consumo total de água pela cultura, utilizando-se o método BERB correspondeu a $133,2 \text{ mm}$.

Os resultados da análise dos valores diários da evapotranspiração da cultura para todo o ciclo da videira “*Syrah*”, pelo método BERB, demonstraram que a média diária do consumo de água pela planta foi de $3,1 \text{ mm d}^{-1}$, totalizando cerca de $376,4 \text{ mm}$. Resultados superiores foram encontrados por Teixeira et al. (2007), que trabalhando com o método BERB em vinhedo irrigado com a cultivar “*Syrah*” nas condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco, observaram que a demanda média de água requerida pela cultura correspondeu a $3,3 \text{ mm d}^{-1}$, totalizando 438 mm durante o ciclo produtivo de 133 dias. Entretanto, Zhang et al. (2010), estudando a variação da evapotranspiração medida pelo método BERB, ao longo do ciclo da videira para elaboração de vinhos, em uma região árida do noroeste da China, observaram que durante os diferentes estádios de crescimento, em quatro anos consecutivos (2005 - 2008), o consumo médio diário de água pela videira oscilou entre $1,4$ e $2,7 \text{ mm d}^{-1}$, com total de lâmina evapotranspirada variando de $225,6$ a $398,9 \text{ mm}$, respectivamente.

Os resultados das variáveis estimadas para utilização do modelo de Penman-Montheit modificado para plantas isoladas (saldo de radiação efetivo da copa, R_{nf} ; resistência aerodinâmica, r_a ; e resistência a difusão de vapor d'água, r_f) e as relações com os elementos meteorológicos (radiação global, R_g ; velocidade do vento, V_v ; e déficit de pressão de vapor, DPV), são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

Na Figura 5 pode ser observada a correlação entre as variáveis R_{nf} estimada por meio da equação sugerida por Landsberg et al. (1975) e Butler (1976) e a

radiação global incidente (R_g). A relação linear entre R_{nf} e R_g resultou em alto coeficiente de determinação ($R^2 > 0,97$), com a equação de regressão significativa ao nível de 5% de probabilidade, demonstrando que a dispersão dos valores em torno da média foi de apenas 2,1%. Estes resultados indicam que há possibilidade de se estimar o saldo de radiação efetivo da copa de plantas de videiras em renques, na escala diária a partir de medidas de R_g . Entretanto, para utilização desse modelo em condições semelhantes à do estudo, é de fundamental importância verificar os fatores relacionados à planta (densidade da folhagem, espaçamento, geometria da copa, direção dos renques) uma vez que o R_{nf} é totalmente dependente dessas variáveis. As estimativas diárias de R_{nf} representaram, em média, 13,1% da R_g . Simon (2010), avaliando o R_{nf} , na cultura do cafeeiro, verificou que a relação desse parâmetro com a R_g apresentou R^2 de 0,98 e afirma que, na escala diurna, esses ajustes tornam-se mais significativos com R^2 próximo ao valor máximo.

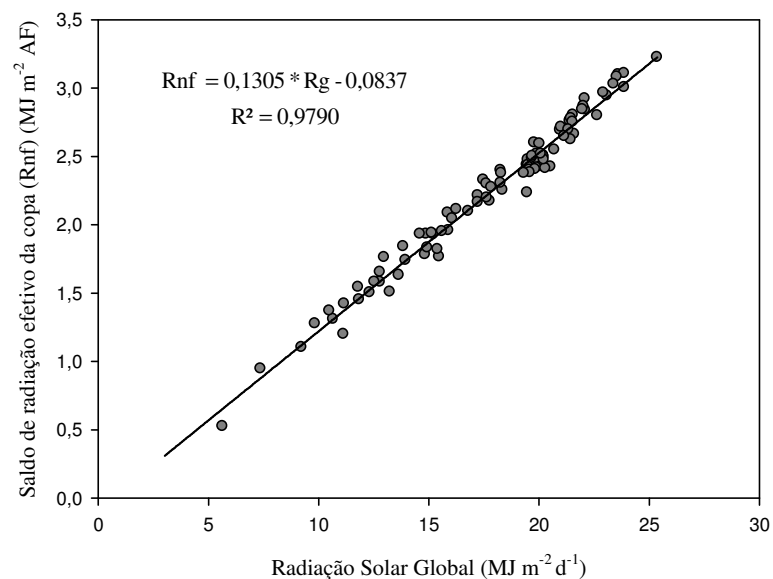


Figura 5. Relação entre o saldo de radiação efetivo da copa (R_{nf}) e a radiação solar global (R_g), durante o primeiro ciclo de produção da videira “*Syrah*”, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Na Figura 6, pode-se observar a relação entre a velocidade do vento e a resistência aerodinâmica (r_a) estimada por meio do modelo de Landsberb & Powell (1973), para todo o ciclo da videira “*Syrah*” no Submédio do Vale do São Francisco. Constatou-se que o modelo do tipo logarítmico, com dois parâmetros, representou bem esta relação, com coeficiente de determinação R^2 igual a 0,99. Isto reflete um

bom ajuste da curva aos dados observados. Verifica-se que os valores máximos de r_a ocorreram quando a velocidade do vento foi reduzida, sendo observado o inverso a medida que a velocidade do vento atingiu seus valores máximos. Segundo Marin (2003), o modelo de Landsberb & Powell (1973), para estimativa da r_a , é bastante sensível a velocidade do vento, em virtude da baixa variabilidade desse elemento meteorológico quando as medidas são realizadas a 1,5 m acima da copa da cultura, uma vez que este modelo considera a interferência mútua entre a folhagem, fator este que afeta a sua camada limite, favorecendo assim a redução da amplitude de variação da r_a .

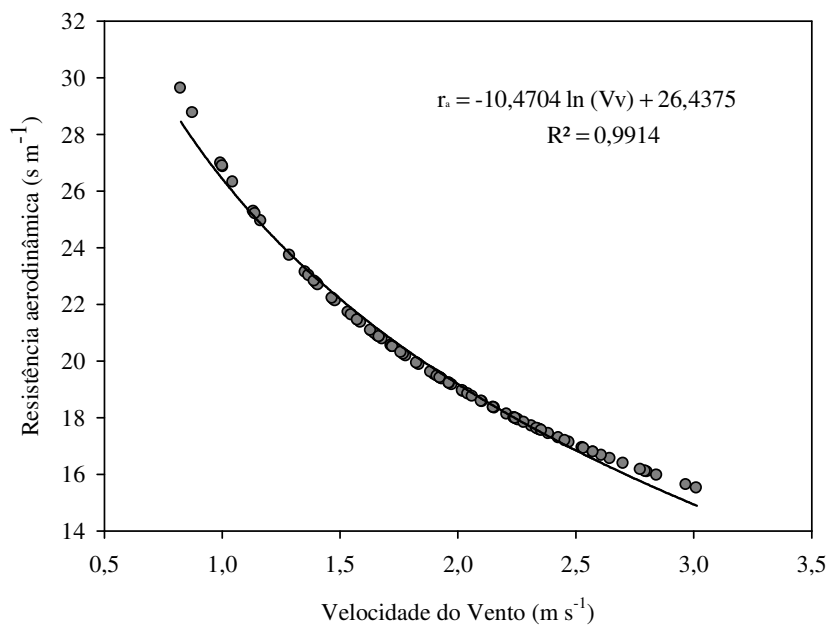


Figura 6. Relação entre a velocidade do vento e a resistência aerodinâmica, durante o primeiro ciclo de produção da videira “Syrah”, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

O ajuste do modelo para estimativa diária da resistência à difusão de vapor d’água (r_f) pode ser verificado na Figura 7. Observa-se que a relação entre o DPV e a r_f estimada pelo modelo descrito por Thorpe et al. (1980), apresentou bom desempenho e foi altamente significativa. Contudo, o melhor ajuste entre as variáveis ocorreu por meio do modelo tipo logarítmico, com dois parâmetros, que apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,94. Desse modo, constatou-se que apenas 5,8% dos dados analisados apresentaram dispersão em torno da média. Resultados inferiores foram verificados por Rogiers et al. (2009), que analisando a relação entre

o DPV e r_f em diferentes cultivares de videira, constataram R^2 igual a 0,60, com dados analisados a um nível de significância de 1% de probabilidade, para a cv. “Syrah”. Entretanto, Gentil (2010) trabalhando com esta mesma relação em plantio de “Eucalyptus”, sob condições irrigadas e não-irrigadas, obtiveram coeficientes superiores, com R^2 de 0,97 e 0,95, respectivamente. Além disso, diferenças semelhantes em resposta estomática ao DPV entre cultivares já foi relatado também em outros estudos com videira (PRIETO et al., 2010) e mangueira (TEIXEIRA et al., 2008).

Ainda na Figura 7, verifica-se que as menores estimativas de r_f foram observadas quando ocorreu aumento do DPV, que favoreceu uma relação não linear entre as variáveis. Este comportamento da resistência é contrário à condutância, uma vez quanto maior a demanda evaporativa do ar, menor serão os valores de r_f . Para todas as plantas, esta resposta da r_f em relação ao DPV é essencial, pois ocorre com o objetivo de evitar a perda excessiva de água pelas folhas e manter o potencial hídrico adequado, tendo em vista que menores valores de r_f podem aumentar a transpiração.

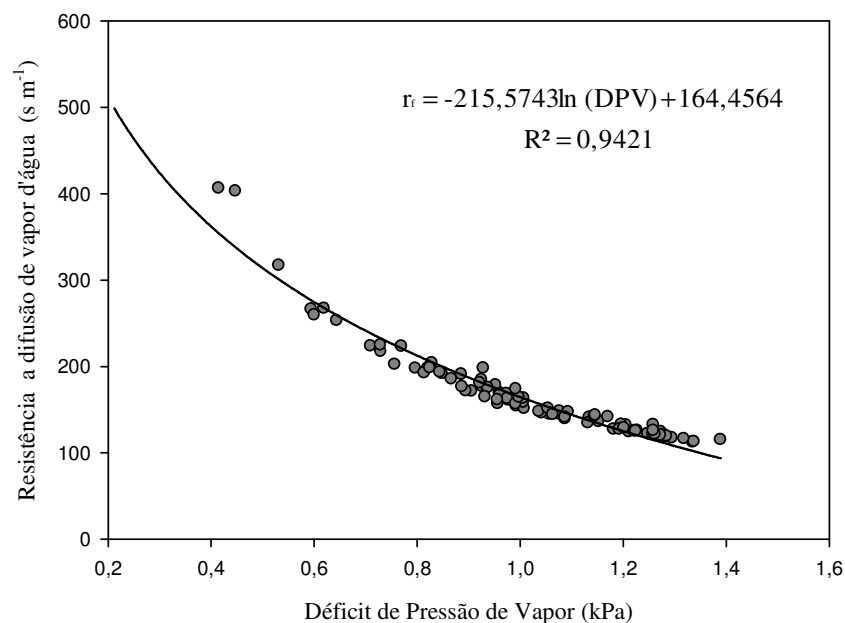


Figura 7. Relação entre o déficit de pressão de vapor (DPV) e a difusão de vapor d'água (r_f) durante o primeiro ciclo de produção da videira “Syrah”, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

A variação diária das resistências (r_a e r_f) e a razão entre elas (r_f/r_a), ao longo do ciclo da videira “*Syrah*”, sob as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco são apresentadas na Figura 8.

As estimativas da r_a pelo modelo de Landsberg & Powell (1973) para a videira “*Syrah*”, resultaram em valores médios diários por volta de 20 s m^{-1} . Os valores máximo e mínimos atingidos pela r_a foram de $31,6$ e $15,5 \text{ s m}^{-1}$ (aos 33 e 16 DAP), com desvio padrão de $3,1 \text{ s m}^{-1}$. Estes resultados podem estar associados à medida da velocidade do vento obtida a $2,0 \text{ m}$ de altura dentro do parreiral, que sofre bastante influência da vegetação, não atingindo valores acima de $2,5 \text{ m s}^{-1}$ na maior parte dos dias analisados. Entretanto, a média diária de r_f foi de $177,1 \text{ s m}^{-1}$, com extremos variando de $390,9$ a $76,2 \text{ s m}^{-1}$ (aos 115 e 24 DAP), respectivamente, e desvio padrão de $59,1 \text{ s m}^{-1}$. Teixeira et al. (2008) afirmam que taxas de r_f elevadas podem ser atribuídas à ausência de uma cultura de cobertura do solo e condições de ar relativamente seco.

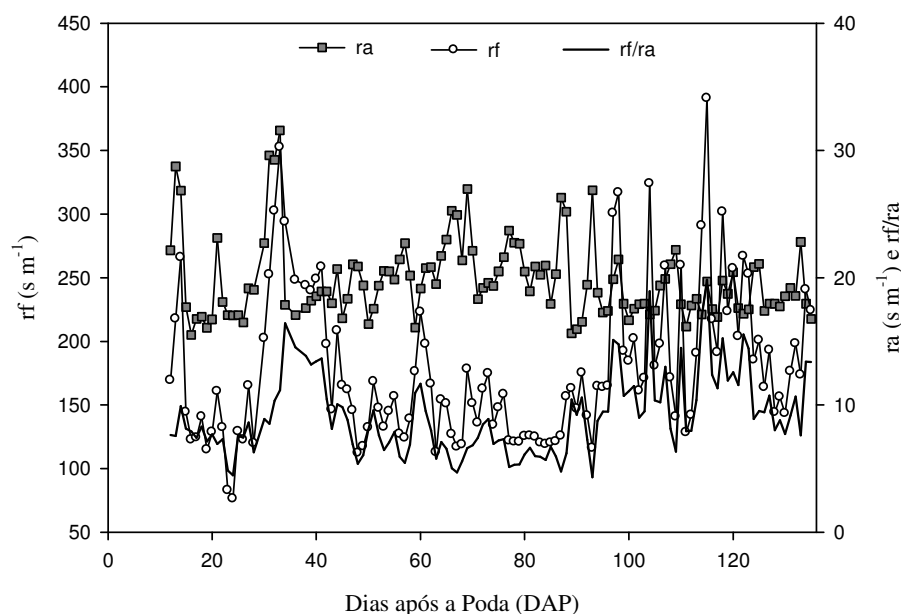


Figura 8. Variação diária da resistência aerodinâmica (r_a), da resistência a difusão de vapor d'água (r_f) e da razão entre elas (r_f/r_a) ao longo do ciclo da videira “*Syrah*”, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

A razão r_f/r_a para o cultivo da videira “*Syrah*” atingiu valor médio de 9,1, com máximo de 19,8 ocorrendo aos (115 DAP) e mínimo de 4,3 aos (93 DAP), estando estes resultados relacionados aos baixos valores de r_a em relação as

estimativas da resistência da cobertura vegetal à difusão de vapor ao longo de todo o ciclo da videira “*Syrah*”.

O comportamento diário da transpiração máxima (TR) nas diferentes fases fenológicas da videira para vinho (cv. “*Syrah*”), obtida por meio do modelo de Penman-Monteith (PM) modificado para plantas isoladas pode ser verificado na Figura 9.

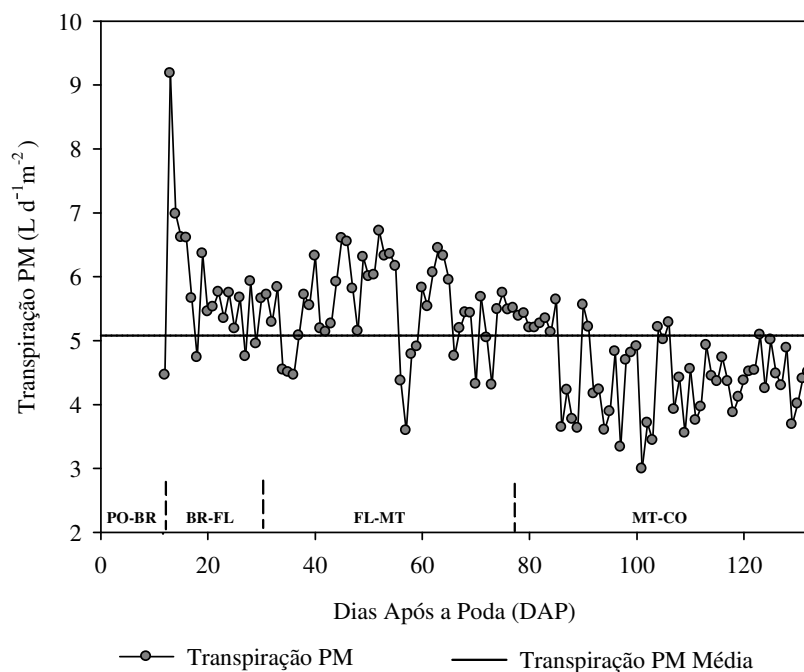


Figura 9. Variação diária da transpiração máxima da videira “*Syrah*” estimada pelo modelo de Penman-Montheit modificado, durante o primeiro ciclo de produção, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Observa-se que durante a fase de BR-FL os valores da TR-PM oscilaram entre 9,2 e 4,5 L d⁻¹ m⁻² aos (13 e 12 DAP), respectivamente, com média diária de 5,8 L d⁻¹ m⁻² e desvio padrão de 1,1 L d⁻¹ m⁻². Neste período o coeficiente de variação (CV) foi de 18%, o que demonstrou alto grau de confiabilidade dos dados estimados.

Na fase subsequente de FL-MT os valores da TR-PM foram reduzidos, com extremos variando entre 6,7 e 3,6 L d⁻¹ m⁻² aos (52 e 57 DAP), respectivamente. Ao longo deste período a média diária da TR-PM atingiu cerca de 5,5 L d⁻¹ m⁻², sendo o desvio padrão igual a 0,7 L d⁻¹ m⁻² e CV de 13%. Ao final do ciclo da videira “*Syrah*”, na fase de MT-CO, constatou-se que os valores da TR-PM apresentaram

tendência relativamente decrescente, oscilando entre 5,6 e 3,0 L d⁻¹ m⁻² aos (82 e 101 DAP), respectivamente, com média diária de 4,5 L d⁻¹ m⁻². Nesta fase fenológica, o CV para os dados estimados foi de 14%, com desvio padrão de 0,7 L d⁻¹ m⁻².

Estes resultados podem estar relacionados à baixa disponibilidade de água no solo, que foi constatada ao longo do ciclo da cultura, quando houve redução na absorção, que pode ter influenciado as estimativas da transpiração máxima da videira, uma vez que, na ausência de água disponível no solo, as plantas normalmente fecham os estômatos para evitar a desidratação, sendo este o mecanismo mais comum observado entre as espécies. Em alguns estudos avaliando o modelo da TR-PM em plantas isoladas, os autores afirmam que fatores como a condutância do dossel, radiação solar, déficit de pressão de vapor e umidade do solo são os principais determinantes da taxa dos fluxos da transpiração (JARVIS & McNAUGHTON, 1986; ZEPPEL, 2006; ZEPPEL & EAMUS, 2008; ZEPPEL et al., 2008).

A média diária da TR-PM ao longo de todo o ciclo da videira “*Syrah*” foi de 5,1 L d⁻¹ m⁻², com desvio padrão de 0,9 L d⁻¹ m⁻² e CV de 18%. O volume total transpirado pela cultura foi de 614,7 L m⁻², aproximadamente 204,9 mm. Estes resultados indicaram que a TR correspondeu a cerca de 54% da evapotranspiração obtida com base no método da razão de Bowen (ET_{c_{BERB}}), sendo que os 46% restantes do montante de água consumida estão relacionados com o processo de evaporação da água do solo entre fileiras.

Os resultados obtidos ao longo do ciclo da relação entre a evapotranspiração da cultura obtida com base no método BERB e a evapotranspiração de referência, nas diferentes fases fenológicas da videira “*Syrah*”, são apresentados na Figura 10. Durante a fase de PO-BR, os valores da relação ET_{c_{BERB}}/ET_o estão ausentes, uma vez que, o monitoramento dos dados micrometeorológicos só iniciaram aos 12 dias após a poda, período em que se iniciou a fase de BR-FL. Durante esta fase que ocorreu dos 12 aos 30 DAP, respectivamente, os valores da relação ET_{c_{BERB}}/ET_o variou entre 1,40 e 0,23, respectivamente, apresentando média de 0,70 e desvio padrão de 0,27.

Na fase subsequente de FL-CO dos 31 aos 77 DAP, a relação ET_{c_{BERB}}/ET_o atingiu seus valores máximos, com extremos variando entre 1,29 e 0,38, com média de 0,85 e desvio padrão de 0,27. Ainda na Figura 10, verifica-se que dos 78 aos 133 DAP, referente à fase de MT-CO, os valores da relação ET_{c_{BERB}}/ET_o foram reduzidos

em relação a fase anterior, variando entre 1,12 e 0,28, respectivamente, com média diária de 0,65 e desvio padrão de 0,16. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira et al. (2007), que trabalhando com a cultivar “*Syrah*” na região semiárida do nordeste brasileiro sob condições hídricas ideais, observaram que ao longo do ciclo da cultura, a relação $ET_{C_{BERB}}/ET_o$ variou entre 0,65 e 0,82, respectivamente. Entretanto, Poblete-Echeverría & Ortega-Farias (2013) verificaram valores ainda menores em vinhedo irrigado sob as condições climáticas da região semiárida mediterrânea do Chile com valores da relação $ET_{C_{BERB}}/ET_o$ variando entre 0,60 e 0,39, respectivamente.

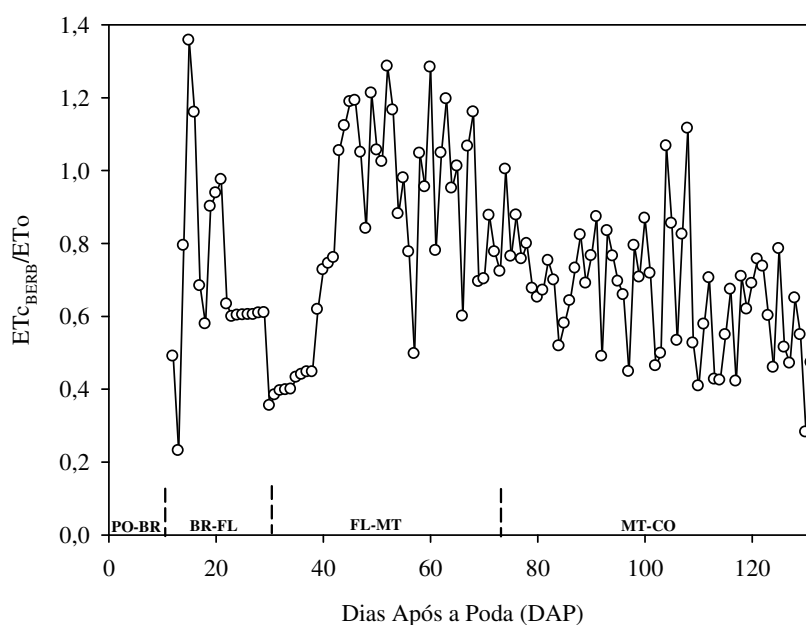


Figura 10. Relação entre a evapotranspiração da cultura ($ET_{C_{BERB}}$) e evapotranspiração de referência (ET_o), durante o primeiro ciclo de produção da videira “*Syrah*”, no Submédio do Vale do São Francisco, 2010.

Muitos estudos foram desenvolvidos com a finalidade de analisar a utilização da água, sobretudo, no que concerne o desempenho econômico da irrigação, sendo boa parte dessas pesquisas voltadas para culturas agrícolas de grande importância econômica como a videira destinada a elaboração de vinhos tintos finos (KOUNDOURAS et al., 2008; POU et al., 2008; ZSÓFI et al., 2009; GÓMEZ-ALONSO & GARCÍA-ROMERO 2010; PRIETO et al., 2010; ROGIERS et al., 2011).

Desse modo, na Tabela 3 pode-se observar os valores médios diários de todas as variáveis utilizadas na estimativa do consumo de água pela cultura durante as diferentes fases fenológicas da videira “*Syrah*”, sob as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

A produtividade de água (PA) da cultura ao longo de todo o ciclo, com base no total de água consumida (PA_{ET}) e transpirada (PA_{TR}), respectivamente, são apresentadas também na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo do consumo de água pela videira “*Syrah*” nas diferentes fases fenológicas, sob as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco, 2010: valores médios de evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura ($ET_{c_{BERB}}$), transpiração máxima – Penman-Monteith (TR-PM), razão ($ET_{c_{BERB}}/ET_o$) e produtividade de água (PA) com base na $ET_{c_{BERB}}$ e TR-PM

Variável	Fases Fenológicas			
	BR-FL*	FL-MT	MT-CO	PO-CO
IAF	1,1	2,5	3,8	2,7
ET_o (mm d ⁻¹)	4,0	4,0	3,9	3,9
ET_o (mm)	75,3	186,7	212,0	474,0
$ET_{c_{BERB}}$ (mm d ⁻¹)	3,1	3,9	2,4	3,1
$ET_{c_{BERB}}$ (mm)	58,5	184,6	133,2	376,4
$ET_{c_{BERB}}/ET_o$	0,70	0,85	0,65	0,73
TR - PM (L d ⁻¹ m ⁻²)	5,8	5,5	4,5	5,1
PA_{ET}	-	-	-	1,17
PA_{TR}	-	-	-	2,15

*Brotação-floração (BR-FL), floração-maturação (FL-MT), maturação-colheita (MT-CO), poda-colheita (PO-CO), dias após a poda (DAP), duração da fase (DF).

Os resultados mostram que a PA média estimada com base na evapotranspiração da cultura foi de 1,17 kg m⁻³. Este valor foi inferior ao observado quando se utilizou o método da transpiração máxima, em que se constatou que a PA_{TR} atingiu média de 2,15 kg m⁻³. Isto indica que a maior parte da água aplicada à planta foi efetivamente utilizada no processo da transpiração. Teixeira et al. (2007) verificaram que durante todo o ciclo da videira “*Syrah*” a PA_{ET} e PA_{TR} foi de 0,96 e 1,10 kg m⁻³, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. Foram necessários 1.819 Graus-dia acumulados para a videira “*Syrah*” completar o seu ciclo, correspondendo ao total de 133 dias para poda no primeiro semestre do ano.
2. A evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_{c_{BERB}}) totalizaram 474,0 e 376,4 mm, respectivamente, para o ciclo de 133 dias, com valor médio diário de 3,9 e 3,1 mm d⁻¹.
3. Os valores da transpiração máxima estimada pelo método de Penman-Montheith modificado ao longo do ciclo da videira “*Syrah*” oscilou entre 9,2 e 3,0 L d⁻¹ m⁻², respectivamente. O volume total transpirado pela cultura foi de 614,7 L m⁻², aproximadamente 204,9 mm.
4. A razão ET_{c_{BERB}}/ET_o atingiu valores médios de 0,70; 0,85 e 0,65 para as fases fenológicas de Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita, que tiveram durações de 21, 47 e 55 dias, respectivamente.
5. A produtividade de água média de todo o ciclo estudado, com base no total de água consumida e transpirada, foi de 1,17 kg m⁻³ e 2,15 kg m⁻³, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, v. 28, n. 01, p. 17-34, 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting. I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v.98, p.899–920, 2011.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.; 1998. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, 300 p.
- ANDERSON, M.C.; ALLEN, R.G.; MORSE, A.; KUSTAS, W.P. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. **Remote Sensing Environmental**, v.122, p.50–65, 2012.
- ANGELOCCI, L.R. **Estimativa da transpiração máxima em macieiras (Malus spp) em pomares pelo método de Penman-Monteith**.1996. 95f. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2013.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 74, n. 1, p. 430-445, 1969.
- BUTLER, D.R. Estimation of the respiration rate in an apple orchard from net radiation and vapour pressure deficit measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.16, p.277-289, 1976.
- CAI, X.; YANG, Y.E.; RINGLER, C.; ZHAO, J.; YOU, L. Agricultural water productivity assessment for the Yellow River Basin. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1297-1306, 2011.
- CARRASCO-BENAVIDES, M.; ORTEGA-FARÍAS, S.; LAGOS, L. O.; KLEISSL, J.; MORALES, L.; POBLETE-ECHEVERRÍA, C.; ALLEN, R. G. Crop coefficients and actual evapotranspiration of a drip-irrigated Merlot vineyard using multispectral satellite images, **Irrigation Science**, v.30, p.485–497, 2012.
- CHAVES, M. M.; SANTOS, T.; SOUZA, C.R.; ORTUÑO, M.F.; RODRIGUES, M. L.; LOPES, C.; MAROCO, J.; PEREIRA, J.S. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. **Ann. Applied Biology**, v.150, p.237–252, 2007.

COSTA, J.M.; ORTUNO, M.F.; LOPES, C.M.; CHAVES, M.M. Grapevine varieties exhibiting differences in stomatal response to water deficit. **Functional Plant Biology**, v.39, p.179–189, 2012.

DING, R.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, Y.; TONG, L. Evapotranspiration measurement and estimation using modified Priestley–Taylor model in an irrigated maize field with mulching. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.168, p.140–148, 2013.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

ETCHEBARNE, F.; OJEDA, H.; DELOIRE, A. Grape berry mineral composition in relation to vine water status and leaf area/fruit ratio. In: ROUBELAKIS - ANGELAKIS, K. A. (Ed.). **Grapevine Molecular Physiology & Biotechnology**. Springer, p. 53–72. 2009

FARIAS, T. F. **Viticultura e Enologia no Semiárido brasileiro (Submédio do Vale do São Francisco)**. 2011. 64 f. Monografia (graduação em agronomia) – Centro de Ciência Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERNANDEZ, J.E.; GREEN, S.R.; CASPARI, H.W.; DIAZ-ESPEJO, A.; CUEVAS, M.V. The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. **Plant Soil**, v.305, p.91–104, 2007.

FLEXAS, J.; GALMÉS, J.; GALLÉ, A.; GULIAS, J.; POU, A.; RIBAS-CARBO, M.; TOMÀS, M.; MEDRANO, H. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.106–121, 2010.

FOKEN, Thomas. **Micrometeorology**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 306 p.

GALLEGUILLOS, M.; JACOB, F.; PREVOT, L.; LAGACHERIE, P.; LIANG, S.L. Mapping daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed. **Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE**, v.8, n.1, p.168–172, 2011.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. **Irrigation Science**, v.25, p.127–140, 2007.

GENTIL, M. S. **Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de *Eucalyptus* aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E. Effect of irrigation and variety on oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) stable isotope composition of grapes cultivated in a

warm climate. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.283–289, 2010.

HOLLAND, S.; HEITMAN, J. L.; HOWAR, A.; SAUER, T. J.; GIESE, W.; BEN-GAL, A.; AGAM, N.; KOOL, D.; HAVLIN, J. Micro-Bowen ratio system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.177, p.93- 100, 2013.

HUO, Z.; DAI, X.; FENG, S.; KANG, S.; HUANG, G. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. **Journal of Hydrology**, v.492, p.24–34, 2013.

IMMERZEEL, W. W.; GAUR, A.; ZWART, S. J. Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment. **Agricultural Water Management**, v.95, p.11-24, 2008.

JARVIS, P.G.; McNAUGHTON, K.G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances Ecology Research**, New York, v. 15, p. 1-49, 1986.

KANG, S.; SU, X.; TONG, L.; ZHANG, J.; ZHANG, L.; DAVIES, W.J. A warning from an ancient oasis: intensive human activities are leading to potential ecological and social catastrophe. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v.15, n.5, p.440–447, 2008.

KELLER, M. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.56-69, 2010.

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BEN-GAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.184, p.56–70, 2014.

KOUNDOURAS, S.; TSIALTAS, L.T.; ZIOZIOU, E. AND NIKOLAOU, N. Rootstock effects on the adaptive strategies of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) under contrasting water status: leaf physiological and structural responses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.128, p.86–96, 2008.

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. dos.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; ABREU, L. V. de . Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável** (UFMG. Online), v. 5, p. 2, 2011.

LANDSBERG, J.J.; POWELL, D.B.B. Surface exchange characteristics of leaves subject to mutual interference. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.13, p.169-184, 1973.

LANDSBERG, J.J.; BEADLE, C.L.; BISCOE, P.V.; BUTLER, D.R.; DAVIDSON, B.; INCOLL, L.D.; JAMES, G.B.; JARVIS, P.G.; MARTIN, P.J.; NEILSON, R.E.; POWELL, D.B.B.; SLACK, E.M.; THORPE, M.R.; TURNER, N.C.; WARRIT, B.;

WATTS, W.R. **Diurnal energy, water and CO₂ exchanges in an apple (*Malus Pumila*) orchard.** Journal of Applied Ecology, v.12, p.659-683, 1975.

LI, H.; ZHENG, L. LEI, Y.; LI, C.; LIU, Z; ZHANG, S. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, v.9 5, p.1271-1278, 2008.

LI, S.; TONG, L.; LI, F.; ZHANG, L.; ZHANG, B.; KANG, S. Variability in energy partitioning and resistance parameters for a vineyard in northwest China. **Agricultural Water Management**, v.96, n.6, p.955–962, 2009.

LÓPEZ-URREA, R.; MONTORO, A.; MÃNAS, F.; LÓPEZ-FUSTER, P.; FERERES, E. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature “*Tempranillo*” wine grapes, **Agricultural Water Management**, v.112, p.13–20, 2012.

MARIN, F. R. **Evapotranspiração e Transpiração máxima em cafezal adensado .** 2003. 118 f. Tese (Doutorado Física do Ambiente Agrícola) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

MAUDER, M.; CUNTZ, M.; DRÜE, C.; GRAF, A.; REBMANN, C.; SCHMID, H. P.; SCHMIDT, M.; AND STEINBRECHER, R.: A strategy for quality and uncertainty assessment of long-term eddy-covariance measurements, **Agricultural and Forest Meteorology**, v.169, p.122–135, 2013.

MONTEITH, J. L. **Evaporation and the environment.** In: The State and Movement of Water in Living Organisms. XIX th Symposium of the Society for Experimental Biology, Swansea, UK. Cambridge University Press. p.205-234, 1965.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no semi-árido.** In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 2, p. 37-59.

MOURA, M. S. B.; BRANDÃO, E. O.; SOARES, J. M.; DONOSO, C. D. S.; SOUZA, L. S. B. de. Exigência térmica e caracterização fenológica da videira Syrah no Vale do Rio São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju, SE.

ORDUÑA, R. M. de. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Food Research International, Davis, USA: **Acta Horticulturae**, v.43, p.1844-1845, 2010.

PAUL, G.; GOWDA, P. H.; PRASAD, P.V.V.; HOWELL, T. A.; AIKEN, R. M.; NEALE, C. M. U. Investigating the influence of roughness length for heat transport (zoh) on the performance of SEBAL in semi-arid irrigated and dryland agricultural systems, **Journal of Hydrology**, v.509, p.231–244, 2014.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. 2. ed. PIRACICABA: FUNDAG/USP, 2013. v. 1. 323p .

PEREIRA, G. E. Os vinhos tropicais em desenvolvimento no Nordeste do Brasil. **Revista ComCiência**, Campinas, n.149, 10 jun. 2013. Disponível em <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=89&id=1093>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

PEREIRA, G. E.; GUERRA, C. C.; MANFROI, L. Vitivinicultura e Enologia. In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. **A Vitivinicultura no Semiárido brasileiro**. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido, 2009. 756 p.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, p.141-150, 1999.

POBLETE-ECHEVERRÍA, C.A.; ORTEGA-FARIAS, S. O. 2013. Evaluation of single and dual crop coefficients over a drip-irrigated Merlot vineyard (*Vitis vinifera* L.) using combined measurements of sap flow sensors and an eddy covariance system. **Australian Journal of Grape and Wine Research**. v.19, p.249–260, 2013.

POU, A.; FLEXAS, J.; ALSINA, M.M.; BOTA, J.; CARAMBULA, C.; DE HERRALDE, F.; GALMÉS, J.; LOVISOLO, C.; JIMÉNEZ, M.; RIBAS-CARBO, M.; RUSJAN, D.; SECCHI, F.; TOMÀS, M.; ZSÓFI, Z. AND MEDRANO, H. Adjustments of water-use efficiency by stomatal regulation during drought and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* x *V. rupestris*). **Physiologia Plantarum**, v.134, p.313–323, 2008.

PRIETO, J.A.; LEBON, E. AND OJEDA, H. Stomatal behavior of different grapevine cultivars in response to soil water status and air water vapor pressure deficit. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.44, p.9–20, 2010.

ROGIERS, S.Y.; GREER, D.H.; HUTTON, R.J.; LANDSBERG, J.J. 2009. Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? **Journal of Experimental Botany**, v.60, p.3751–3763, 2009.

ROGIERS, S.; GREER, D.H.; HUTTON, R.J.; AND CLARKE, S.J. Transpiration efficiency of the grapevine cv. Semillon is tied to VPD in warm climates. **Annals of Applied Biology**, v.158, p.106–114, 2011.

ROMERO, P.; DODD, I.C.; MARTÍNEZ-CUTILLAS, A. Contrasting physiological effects of partial root zone drying in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Monastrell) according to total soil water availability. **Australian Journal of Botany**. v.63, p.4071–4083, 2012.

SAKAR, S.; BISWAS, M.; GOSWAMI, S. B.; BANDYOPADHYAY, P. K. Yield and water use efficiency of cauliflower under varying irrigation frequencies and

water application methods in Lower Gangetic Plain of India. **Agricultural Water Management**, v. 97, p.55-1662, 2010.

SILVA, M. C. ; BRANDÃO, L.S. ; SANTOS, A. R. L. ; SILVA, J. A. ; COSTA, B. R. S. ; BASSOI, L. H. . Caracterização Fenológica e Exigência Térmica de Videira c.v Syrha no Semiárido. In: VI Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 2011, Petrolina-PE.

SIMON, J. **Medições do saldo de radiação em copas de cafeeiros e limeiras ácidas por sistemas de integração espaço-temporal por técnicas de modelagem.** 2010. 112 f. Tese (Doutorado Física do Ambiente Agrícola) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region.** Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2009, 226p.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, New York, v. 30, p. 13-28, 2012.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v.362, p.110-127, 2008.

TEIXEIRA, A. H. de C.; TONIETTO, J.; PEREIRA, G. E.; ANGELOTTI, F. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.399–407, 2012.

TEIXEIRA, A.H.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; AHMAD, M.D.; BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.149, p.462–476, 2009.

TEIXEIRA, A.H.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; BASSOI, L.H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**. v..94, p.31–42, 2007.

THORNTHWAITE, C.W.; WILM, H.G. **Report of the Commite on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944.** Washington, D.C.: Transactions of the American Geophysical Union, 1944. p.686-693.

THORPE, M.R.; WARRIT, B.; LANDSBERG, J.J. Responses of apple leat stomata: a model for single leaves and a whole tree. **Plant, Cell and Environment**, v.3, p.23-27, 1980.

TOMÁS, M.; MEDRANO, H.; POU, A.; ESCALONA, J.M.; MARTORELL, S.; RIBAS-CARBÓ, M.; FLEXAS, J. Water use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole plant level. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.18, p.164–172, 2012.

UDDIN, J.; HANCOCK, N.H.; SMITH, R. J.; FOLEY, J. P. Measurement of evapotranspiration during sprinkler irrigation using a precision energy budget (Bowen ratio, eddy covariance) methodology. **Agricultural Water Management**. v.116, 89-100, 2013.

WHITEHEAD, D. & BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 193, p.113-140, 2004.

YAN, H.; OUE, H. Application of the two-layer model for predicting transpiration from the rice canopy and water surface evaporation beneath the canopy. **Journal of Agricultural Meteorology**, v.67, n.3, p.89–97, 2011.

YAN, H.; OUE, H.; ZHANG, C. Predicting water surface evaporation in the paddy field by solving energy balance equation beneath the rice canopy. **Paddy Water Environment**, v.10, n.2, p.121–127, 2012a.

ZEPPEL, M.J.B.; 2006. **The Influence of Drought and Other Abiotic Factors on Tree Water Use in a Temperate Remnant Forest**. PhD Thesis. University of Technology Sydney.

ZEPPEL, M.J.B.; EAMUS, D. Coordination of leaf area, sapwood area and canopy conductance leads to species convergence of tree water use in a remnant evergreen woodland. **Australian Journal of Botany**. v.56, p.97–108, 2008

ZEPPEL, M.J.B.; MACINNIS-NG, C.; YUNUSA, I.A.M.; WHITLEY, R.J.; EAMUS, D. Long term trends of stand transpiration in a remnant forest during wet and dry years. **Journal of Hydrology**. v.349, p.200–213, 2008.

ZHANG, B.; KANG, S.; LI, F.; TONG, L.; DU, T. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1898-1904, 2010.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E.J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R.. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1207–1214, 2011a.

ZHANG, C.; YAN, H.; SHI, H.; SUGIMOTO, H. Study of crop coefficient and the ratio of soil evaporation to evapotranspiration in an irrigated maize field in an arid area of Yellow River Basin in China. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.121, p. 207–214, 2013.

ZSÓFI, Z.; GÁL, L.; SZILÁGY, Z.; SZÜCS, E.; MARSCHALL, M.; NAGY, Z.; BÁLO, B. Use of stomatal conductance and pre-dawn water potential to classify terroir for the grape variety Kékfrankos. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.15, p.36–47, 2009.

ZWART, S. J.; BASTIAANSEN, W. G. M.; FRAITURE, C. MOLDEN, D. J. A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1617-1627, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no estudo da evapotranspiração e eficiência produtiva da videira “*Syrah*”, pode-se concluir que a aplicação do método BERB para estimativa dos fluxos de calor sensível e latente em escala diária e sazonal apresentou resultados confiáveis, considerando-se que a análise de consistência física dos dias avaliados demonstrou que aproximadamente 69,5% dos dias analisados foram considerados como válidos. O método da transpiração máxima, com base no modelo de Penman-Montheith modificado para plantas isoladas, estimada para a cultura da videira “*Syrah*” destinada à elaboração de vinhos tintos finos, apresentou valores com alto grau de precisão para as condições climáticas da região do Submédio do Vale do São Francisco.

Contudo, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com o objetivo de analisar a aplicação do método BERB, assim como do modelo de Penman-Montheith (transpiração máxima) para avaliar a eficiência do uso da água de acordo com a lâmina de água aplicada, consumida e transpirada.

Estes resultados podem gerar coeficientes de cultura adequados a serem utilizados no manejo de irrigação localizada para a videira “*Syrah*” nessa localidade, uma vez que esses dados são de fundamental importância para que o produtor possa reduzir os custos e utilizar o recurso hídrico dessa região de maneira adequada, evitando assim desperdícios.

ANEXOS

Tabela 1. Caracterização química do solo na área experimental cultivado com a videira “*Syrah*” na Fazenda Ouro Verde: pH, matéria orgânica (M.O), macro e micronutrientes, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e índice de saturação por bases (V)

Sigla	Descrição	Unidade	Camadas	
			0 a 0,20 m	0,20 a 0,40 m
pH	H ₂ O	-	6,8	7,0
MO	Matéria Orgânica	g kg ⁻¹	10,4	6,9
C	Carbono	g kg ⁻¹	6,1	4,0
P	Fosfóro	mg dm ⁻³	16	19
K ⁺	Potássio	cmol _c dm ⁻³	0,40	0,37
Ca ²⁺	Cálcio	cmol _c dm ⁻³	7,0	6,8
Mg ²⁺	Magnésio	cmol _c dm ⁻³	2,4	2,5
Na ⁺	Sódio	cmol _c dm ⁻³	0,16	0,18
H + Al	Ac. potencial	cmol _c dm ⁻³	1,44	0,00
SB	Soma Bases	cmol _c dm ⁻³	9,96	9,85
T	CTC a pH 2,5	cmol _c dm ⁻³	11,4	9,85
V	Sat. Bases	%	87	100
Cu	Cobre	mg dm ⁻³	1,6	1,7
Fe	Ferro	mg dm ⁻³	19,9	29,8
Mn	Manganês	mg dm ⁻³	103,0	117,0
Zn	Zinco	mg dm ⁻³	12,0	5,3

*Análise de solo realizada no LASP, Petrolina-PE.

Tabela 2: Valores médios diários dos elementos meteorológicos, da evapotranspiração e da umidade do solo, referente ao primeiro ciclo de produção da videira “*Syrah*”, na região do Submédio do Vale do São Francisco, 2010

Parâmetros	Fases Fenológicas			
	BR-FL 12-30 (DAP)	FL-MT 31-77 (DAP)	MT-CO 78-133 (DAP)	PO-CO 12-133 (DAP)
T _{ar} (°C)	26,8	25,9	24,2	25,3
UR (%)	73,3	75,5	73,7	74,4
R _g (MJ m ⁻² d ⁻¹)	18,1	18,0	15,7	17,0
DPV (kPa)	1,1	1,0	0,9	1,0
V _v (m s ⁻¹)	2,1	1,8	2,1	2,0
ET _o (mm d ⁻¹)	4,0	4,0	3,9	3,9
P (mm)	33,0	40,0	10,0	83,0
US (cm ⁻³ cm ⁻³)	0,35	0,27	0,24	0,27

DAP: dias após a poda; T_{ar}: temperatura do ar; UR: umidade relativa do ar; R_g: radiação solar global; DPV: déficit de pressão de vapor; V_v: velocidade do vento a 2 m de altura; ET_o: evapotranspiração de referência; P: precipitação pluvial; US: umidade do solo.