

ISSN 0104-1347

Balanço de energia em videira cultivada na região do Submédio do rio São Francisco

Energy balance in grapevine orchards grown in the Middle San Francisco river region

José Monteiro Soares¹, Pedro Vieira de Azevedo² e Bernardo Barbosa da Silva²

Resumo – O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Bebedouro (CPATSA/EMBRAPA) em Petrolina-PE (09°09'S; 40°22'W; 365m), com o objetivo de avaliar o comportamento dos componentes do balanço de energia em videira na região do Sub-Médio do Rio São Francisco. O experimento foi realizado no período de julho a novembro de 2001 num pomar de videira sem semente (*Vitis vinifera* L.), variedade Festival com três anos de idade, ocupando uma área de 0,67 ha, com plantas espaçadas de 2 m entre plantas X 4 m entre fileiras, conduzido num sistema de latada, irrigado por gotejamento e circundado por outros pomares de fruteiras. Uma torre micro-meteorológica foi montada numa planta selecionada para a instalação dos sensores. Dois conjuntos de instrumentos foram instalados a 1,0 m acima e 1,0 m abaixo da latada, cada um composto de saldo radiômetro, psicrômetro e anemômetro. Os psicrômetros foram instalados 0,5 m e 1,5 m acima e abaixo da latada. Ao longo do ciclo de produção da videira, 70 a 90 % do saldo de radiação foram usados como calor latente enquanto que 6 a 17 % e 2 a 13 % como calor sensível para o ar e para o solo, respectivamente. Comparando os componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, obtido para um volume de controle único – copa-solo, com aqueles obtidos para os sub-volumes - copa e superfície do solo, pode-se constatar que: o percentual médio de LE/Rn foi da ordem de 81 % para o volume copa-solo, 87% para o sub-volume copa e 67% para o sub-volume - superfície do solo; a média de H/Rn permaneceu praticamente constante em torno de 13%; e o percentual médio de G/Rn passou de 6% no volume de controle único para 19% ao nível da superfície do solo. Portanto, observa-se que a partição dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen - BERB é influenciada pela subdivisão do volume de controle e pelas metodologias utilizadas, com exceção do fluxo de calor sensível.

Palavras-chave: Saldo de radiação, fluxos de calor latente e sensível, razão de Bowen.

Abstract - The trial was carried out in the Semi arid tropical Center for Agriculture and Animal Research, Brazilian Organization for Agriculture and Animal Research in Petrolina-PE, Brazil (09°09'S; 40°22'W; 365m). The objective was to analyze the behavior of the energy balance components in a seedless grapevine grown in the middle reaches of San Francisco River Valley. The field experiment was carried out in the period from July to November, 2001 in a three years old seedless grapevine (*Vitis vinifera* L.), variety Festival. The orchard had a 2 m between plants by 4 m between rows spacing and was cropped in a trellis system and irrigated by dripping and had an area of 0.67 ha, surrounded by others fruit orchards. A micrometeorological tower was mounted in a grape plant for installing sensors above and below trellis in order to measure the atmospheric and grapevine orchard parameters. Two sets of instruments were installed at 1.0 m above and 1.0 m below a plant row. Each set of instruments was established by a net radiometer, two psychrometers for measuring dry and wet bulb air temperatures and anemometers. The psychrometers were installed at 0.5 and 1.5 m levels above and below trellis. Throughout the grapevine productive cycle, 70 to 90% of the net radiation was used as latent heat while 6 to 17% and 2 to 13% were used as sensible heat for the air and the soil, respectively. When comparing the components of the Bowen ratio energy balance, obtained for an unique control volume – canopy-soil, with those determined for sub-volumes - canopy and soil surface, the following were observed: the average ratio - LE/Rn was about 81% for the canopy-soil volume and 87% and 67% for the canopy and soil surface sub-volumes, respectively; the ratio (H/Rn) remained approximately constant around 13%; the ratio G/Rn increased from 6% in the unique control volume to 19% in the soil surface level. Therefore, it was observed that the partition of the Bowen ratio energy balance - BREB components was strongly influenced by the sub-division of the control volume and the methodologies applied, except for the sensible heat flux.

¹Aluno de Doutorado, EMBRAPA/Semi-Árido - BR 428, Km 152, Zona Rural, Caixa Postal 23, 56300-970, Petrolina, PE - Fone: (87) 3862-1711, E-mail: monteiro@cpatsa.embrapa.br

²Eng. Agron. e Meteorologista, respectivamente. DCA/CCT/UFPG – Campus I, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58109-970, Campina Grande-PB, E-mail: pvieira@dca.ufpb.br; bernardo@dca.ufpb.br

Introdução

O cultivo da videira teve início na Ásia, considerada como região de origem da espécie, sendo posteriormente difundida na Europa e nas Américas (WEAVER, 1976). A área mundial plantada com videira atingiu um pico em 1999 com 7,86 (África: 0,323; Américas do Norte e do Sul: 0,87; Ásia: 1,517; Europa: 5,018 e Oceania: 0,136) milhões de hectares, correspondente a uma produção de uva de 60,78 (África: 3,3; Américas do Norte e do Sul: 11,3; Ásia: 12,0; Europa: 32,8 e Oceania: 1,38) milhões de toneladas (DUTRUC-ROSSET *et al.*, 1999). Dessa produção mundial de uva, 13,3 milhões de toneladas (22%) foi consumida como uva fresca (50% na Ásia, 24% na Europa, 14% nas América do Norte e do Sul, e 12% na África) enquanto que apenas 1,0 milhão de toneladas (1,6%) foi convertida em uva seca (passas) e as 46,5 milhões de toneladas restantes (76,4%) foram utilizadas na produção de vinho. Na Europa, os países que apresentam maiores produções com o cultivo da videira são: França, Itália, Portugal e Espanha (WINKLER *et al.*, 1974). Segundo LIUNI (1994), dentre os países europeus, a maior área cultivada com uva de mesa localiza-se na Itália, com uma área de aproximadamente 80.000 ha, em sua maioria irrigada por gotejamento.

Na região do Sub-Médio do Rio São Francisco, a área explorada com a cultura da videira evoluiu de 2.902 ha em 1992 para 4.847 ha em 1996, apresentando uma taxa média anual de crescimento de 16,76% (CERDAN *et al.* 1997). Em 1992 foram produzidas 64 mil toneladas, passando para 113 mil toneladas em 1996, cujo preço médio no período de 1980 a 1993 oscilou em torno de US\$ 1.227 por tonelada (GONÇALVES *et al.*, 1996), o que corresponde a um volume de recursos gerados de aproximadamente 138 milhões de dólares. No estado de Pernambuco, as microrregiões de Petrolina, Itaparica, Sertão do Moxotó, Salgueiro e Araripina, em função das disponibilidades térmica e hídrica, apresentam as melhores condições de cultivo para a videira irrigada (CASTRO TEIXEIRA & AZEVEDO, 1996).

A energia usada nos processos físico-químicos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera é proveniente da radiação solar. Portanto, é importante o conhecimento da partição dos componentes do balanço de energia à superfície, principalmente o saldo de radiação e os fluxos de calor sensível e latente, para estudos, por exemplo, das perdas d'água da superfície para a atmosfera -

evapotranspiração. Assim, a evapotranspiração de áreas cultivadas representa a transferência total de água para a atmosfera na forma de vapor d'água. Trata-se de um processo dinâmico que é governado pelas disponibilidades das variáveis atmosféricas (energia solar, temperatura, umidade e vento) e de água no perfil do solo, mas que depende da fisiologia de transporte de água no sistema solo-planta e das taxas de conversão da energia disponível entre a atmosfera circundante e as superfícies vegetadas. No caso da videira consorciada com outras espécies de plantas sob o parreiral, a evapotranspiração depende também, da área molhada pelo sistema de irrigação.

O método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (BERB), que envolve a conversão de energia em massa, considerando-se certas condições de contorno, tem sido usado como uma estimativa eficiente da evapotranspiração. Estudos importantes relacionados ao BERB em cultivos de videira têm sido conduzidos por autores como OLIVER & SENE (1992); EVANS *et al.* (1993); HEILMAN *et al.* (1994); SILVA *et al.* (1997, 2000) e ÁVILA NETTO *et al.* (2000). Embora o comportamento aerodinâmico em parreirais tenha sido estudado em alguns detalhes, pesquisas sobre suas interações com o balanço de energia são limitadas, por causa das dificuldades de obtenção de medições separadas dos balanços de energia dos sistemas "copa" e "superfície do solo" (HEILMAN *et al.*, 1994). OLIVER & SENE (1992), constataram que a cultura da videira pode comportar-se como dois sistemas independentes. HEILMAN *et al.* (1994), estudando os balanços de energia da copa, da superfície do solo e do parreiral como um todo, verificaram que a copa e a superfície do solo não podem ser tratados como sistemas independentes, uma vez que o calor sensível, gerado pela superfície do solo, pode contribuir bastante para o balanço de energia e, conseqüentemente, para a transpiração da videira.

Visando a determinação da evapotranspiração e consumo hídrico da videira na região do Sub-Médio do Rio São Francisco, o presente estudo objetivou a avaliação do comportamento dos componentes do balanço de energia, aplicado aos sistemas "copa-solo", "copa" e "superfície do solo", ao longo dos diversos estádios do ciclo de produção de um parreiral consorciado com culturas destinadas à adubação orgânica.

Material e métodos

Este estudo foi conduzido no Centro de

Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido - Embrapa Semi-Árido, localizado em Petrolina, PE, Brasil (09°09'S; 40°22'W; 365m), região do Sub-Médio do Rio São Francisco, no período de julho a novembro de 2001, num pomar de videira sem semente (*Vitis vinifera* L.), variedade Festival com três anos de idade, plantado no espaçamento de 4 m entre fileiras x 2 m entre plantas, conduzido no sistema de latada com 2 m de altura, numa área de 0,67 ha, circundada por outros parreirais e pomares com outras frutíferas. As práticas culturais compreenderam fertirrigação e o controle de doenças (míldio e oídio) e pragas (ácaro, trips e mosca do fruto) efetuado de forma preventiva, utilizando pesticidas registrados para a cultura da videira. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw^h, com temperatura média de 26,5 °C, umidade relativa média de 68%, precipitação pluvial anual média de 400 mm.ano⁻¹, insolação anual de 3.000 horas, evaporação média anual de 2.000 mm e a velocidade de vento de 2,3 m.s⁻¹ (REEDY & AMORIM NETO, 1993). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo com um lençol freático localizado a 2,0 metros de profundidade.

Numa torre micro-meteorológica, instalada no centro da área experimental, foram instalados sensores acima e abaixo da latada do parreiral para monitorar as variáveis atmosféricas e da videira. Foram instalados dois conjuntos de instrumentos, sendo um a 1 m acima e outro a 1 m abaixo da latada, seguindo a fileira de plantas. Acima da copa da videira foram instalados: um saldo radiômetro (REBS) - R_n, para medição do saldo de radiação; radiômetro (Li-200) - R_s, para medição da radiação solar incidente; radiômetro (Eppley) - R_r, para medição da radiação solar refletida; dois psicrômetros com termopares de cobre-constantan nos níveis de 0,5 m e 1,5 m, para medição das temperaturas do bulbo seco (T_a) e úmido (T_u) e um anemômetro de conchas (Young), para medição da velocidade do vento (U). Abaixo da latada, foram instalados: um saldo radiômetro (NR Lite - Kipp & Zonen); dois piranômetros (JE - ELTEC); dois psicrômetros com termopares de cobre-constantan nos níveis de 0,3 m e 1,3 m acima da superfície do solo e dois fluxímetros ligados em série, instalados no centro e na periferia da faixa molha, a 0,02 m de profundidade do solo. Os psicrômetros foram instalados a 0,5 e 1,5 m tanto acima como abaixo da latada. Os sensores dos instrumentos foram conectados a um Datalogger CR23X da Campbell Scientific do Brasil, programado para efetuar leituras

a cada cinco segundos e armazenar médias de cada 15 minutos.

A irrigação foi conduzida diariamente, de segunda-feira a sábado, por gotejamento com emissores do tipo labirinto com vazão média de 2,3 L.h⁻¹ e espaçados de 0,5 m em linha lateral à fileira de plantas. A lâmina de água aplicada em cada irrigação foi calculada com base na evaporação do tanque "classe A" (E_t), fator de cobertura do solo (F_{cs}) ou percentagem de área sombreada (P_{as}) e na uniformidade de distribuição de água de irrigação (UD - em décimos) conforme:

$$L_b = \left(\frac{K_p \cdot K_c \cdot F_{cs} \cdot E_t}{UD} \right) \quad (1)$$

em que L_b é a lâmina bruta, em mm; K_p = 0,75 é o coeficiente do tanque "classe A"; K_c é o coeficiente de cultura, considerado igual a unidade K_c = 1,0, visando proporcionar, ao longo do ciclo de produção da videira, condições ótimas de umidade no perfil do solo. Visando consorciar a videira com culturas destinadas à adubação verde, utilizou-se a *Crotalaria spectabilis* conjuntamente com o sorgo granífero, plantadas ao longo das fileiras de plantas de videira, três dias após a poda e cortadas e incorporadas ao solo aos 58 dias após à poda.

Foram realizados balanços de energia em três níveis (HEILMAN et al., 1994), conforme Figura 1:

a) Copa - Solo

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (2)$$

b) Copa

$$R_{n_c} + LE_c + H_c = 0 \quad (3)$$

c) Superfície do solo

$$R_{n_{ss}} + LE_{ss} + H_s + G = 0 \quad (4)$$

em que R_n, R_{n_c} = R_n - R_i (ab) + R_r (ab) e R_{n_{ss}}; LE, LE_c e LE_{ss} e H, H_c e H_{ss} são os saldos de radiação, fluxos de calor latente e fluxos de calor sensível dos sistemas copa-solo, copa e superfície do solo, respectivamente e G o fluxo de calor sensível no solo, todos em W.m⁻².

A razão de Bowen (β) foi obtida pela expressão:

$$b = \frac{H}{LE} = \frac{-K_H r C_p (dT/dz)}{-K_W r L (dq/dz)} = \frac{c_p K_H \Delta T}{L K_W \Delta q} = g \frac{K_H \Delta T}{K_W \Delta e} \quad (5)$$

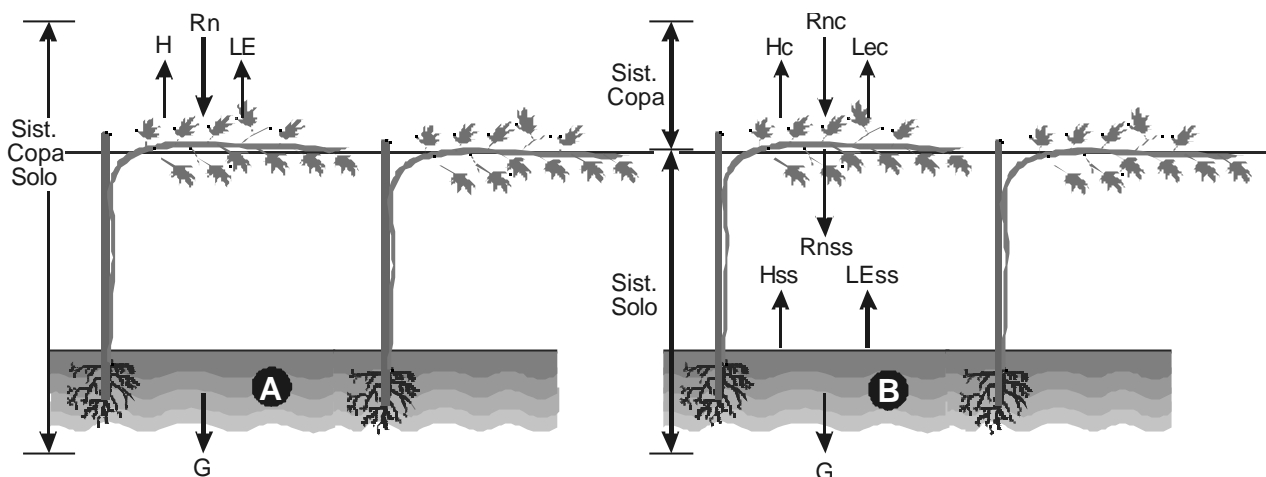


Figura 1. Caracterização da metodologia de balanço de energia no parreiral em Petrolina-PE: A - método clássico, envolvendo o sistema “copa-solo” e B – método modificado, envolvendo os sistemas: “copa” e “Superfície do solo”.

em que $(= (P_o C_p / L)$ é a constante psicrométrica, sendo P_o a pressão atmosférica (kPa); C_p o calor específico do ar a pressão constante ($J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$); L o calor latente de vaporização ($kJ.kg^{-1}$); $\varepsilon = 0,662$ é o peso molecular do vapor d’água (M_v) em relação ao ar seco (M_a); K_H e K_w são os coeficientes de troca turbulenta referentes ao calor sensível e vapor d’água, respectivamente; ΔT , Δq e Δe são os gradientes de temperatura do ar, vapor d’água e pressão de vapor acima e abaixo da latada, respectivamente.

Para corrigir os efeitos dos fluxos advectivos de calor sensível e/ou calor latente em relação ao volume de controle, VERMA *et al.* (1978) propuseram a seguinte expressão para correção da razão de Bowen (β_c):

$$\beta_c = g \frac{K_H}{K_w} \frac{\Delta T}{\Delta e} = g \left[2,95 + 3,72 \left(\frac{\Delta T_s}{\Delta e} \right) + 1,72 \left(\frac{\Delta T_s}{\Delta e} \right)^2 \right] \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (6)$$

onde os valores desta relação são dados por $-0,8 < K_H / K_w < -0,1$. Utilizou-se como critério de aceitação/rejeição de β_c , metodologia proposta por UNLAND *et al.* (1996), que recomendam a exclusão dos dados coletados entre dois níveis, quando $|\Delta e| < 0,0005$ kPa e quando β_c se aproxima de -1 , especificamente para o intervalo $|1 + \beta_c| < 0,3$.

Associando a equação (6) à equação (2) obteve-se:

$$LE = \left(\frac{R_n - G}{1 + \beta_c} \right) \quad (7)$$

Resultados e discussão

A discussão dos resultados compreendeu os oito estádios representativos do ciclo de produção da videira, conforme Tabela 1.

Os valores médios diários dos componentes do balanço de energia para os sistemas “copa-solo” (R_n , H , LE e G), “copa” (R_{nc} , LE_c e H_c) e “superfície do solo” (R_{nss} , LE_{ss} , H_{ss} e G) foram obtidos para os períodos de tempo em que $R_n \geq 0$, como sugeridos por PRUEGER *et al.* (1997), conforme Tabelas 2 a 4.

O saldo de radiação (R_n) variou de $239,7 \text{ W.m}^2$ no período compreendido entre a poda e a brotação das gemas a $369,8 \text{ W.m}^2$ no estádio da parada de crescimento do fruto, o que foi acompanhado por H , de $27,2 \text{ W.m}^2$ a $64,5 \text{ W.m}^2$. O fluxo de calor latente (LE), por outro lado, registrou um valor mínimo de $187,3 \text{ W.m}^2$ no estádio de pré-floração (06 a 14/08) e alcançou um máximo de $322,0 \text{ W.m}^2$ no estádio da segunda fase de crescimento do fruto (19/09 a 05/10). Já o fluxo de calor no solo (G) oscilou entre $-4,1 \text{ W.m}^2$ no início da fase de crescimento do fruto (15 a 31/08) e $-38,2 \text{ W.m}^2$, ocorrido durante o estádio de desenvolvimento vegetativo (Tabela 2).

Para o sistema copa da videira, os valores médios diários do saldo de radiação (R_{nc}) variaram entre $153,7 \text{ W.m}^2$ e $329,5 \text{ W.m}^2$, que ocorreram nos estádios de pré-floração/plena floração e da segunda fase de crescimento do fruto, respectivamente. Pode-se constatar também que as densidades de fluxo de calor latente (LE_c) tenderam a acompanhar aquelas obtidas para o saldo de radiação, correspondentes aos

Tabela 1. Estádios fenológicos do ciclo de produção da videira compreendido entre julho e novembro de 2001, em Petrolina – PE.

Estádio fenológico	Período	Duração (Dias)	TDMI* (min.dia ⁻¹)
Poda e brotação das gemas vegetativas - PBGV	04 a 15/07	12	252,8
Desenvolvimento vegetativo - DV	16/07 a 05/08	21	143,9
Pré-floração e floração - PFF	06 a 14/08	09	219,5
1ª fase de crescimento do fruto – 1ªFCF	15 a 31/08	17	316,6
Parada de crescimento do fruto – PCF	01 a 18/09	18	361,7
2ª fase de crescimento do fruto – 2ªFCF	19/09 a 05/10	17	309,0
Maturação final do fruto – MFF	06 a 15/10	10	0,0
Repouso fisiológico – RF	16/10 a 26/11	42	0,0

* TDMI = Tempo diário médio de irrigação.

mesmos estádios fenológicos, cujos valores médios oscilaram entre 133,7 W.m⁻² e 309,7 W.m⁻². Por outro lado, o fluxo de calor sensível (H) variou entre 12,9 W.m⁻² e 52,6 W.m⁻², tendo ocorrido no período compreendido entre a poda e a brotação das gemas vegetativas e no estágio em que ocorre a parada de crescimento do fruto (Tabela 3).

No nível da superfície do solo, constata-se que o saldo de radiação (Rn_{ss}) variou de 44,2 W.m⁻² no estágio de repouso fenológico a 136,6 W.m⁻², na segunda fase de crescimento do fruto. Pode-se verificar também que os valores do fluxo de calor latente (LE_{ss}) tenderam a acompanhar aqueles obtidos para o saldo de radiação, nos mesmos estádios fenológicos, cujos valores médios oscilaram entre 26,4 W.m⁻² e 110,9 W.m⁻². Pode-se verificar ainda que os valores do fluxo de calor sensível (H_{ss}) tenderam a estabilizar-se no intervalo compreendido entre 13,4 W.m⁻² e 20,0 W.m⁻², exceto nos estádios de brotação da gemas vegetativas e de repouso fenológico, em que seus valores médios foram da

ordem de 3,4 W.m⁻². Por outro lado, os valores médios do fluxo de calor no solo (G) variaram entre -4,1 W.m⁻², na primeira fase de crescimento do fruto e 24,5 W.m⁻², no estágio de desenvolvimento vegetativo (Tabela 4).

Fazendo-se uma análise comparativa entre os componentes dos BERB, pode-se observar que o saldo de radiação e o fluxo de calor latente sistemas: “copa-solo” (Rn e LE) e “copa” (Rn_c e LE_c) apresentaram reduções significativas no estágio de pré-floração e floração (PFF), em decorrência da poda verde da videira, o que proporciona uma pequena redução no fator de cobertura do solo (Tabelas 2 e 3). Os aumentos crescentes de LE e LE_c, constatados entre os estádios de poda e brotação da gemas vegetativas (PBGV) e a segunda fase de crescimento do fruto (2ªFCF) estão relacionados com os respectivos aumentos do saldo de radiação (Rn e Rn_c), bem como, com o aumento do índice de área foliar (IAF) da videira e das culturas consorciadas. As estabilizações dos valores de Rn, Rn_c, LE e LE_c, verificadas ao longo dos estádios de

Tabela 2. Valores médios diários das componentes do balanço de energia para o sistema copa-solo, para cada estágio fenológico da videira, Petrolina – PE, Julho a Novembro de 2001

Estádios fenológicos	D* Dias	Rn W.m ⁻²	LE W.m ⁻²	H W.m ⁻²	G W.m ⁻²
PBGV	12	239,7 ± 64,5	195,8 ± 134,6	27,2 ± 23,5	-13,9 ± 10,5
DV	21	293,5 ± 94,6	228,1 ± 81,0	30,5 ± 19,3	-38,2 ± 18,7
PFF	09	247,5 ± 102,2	187,3 ± 78,2	25,9 ± 19,6	-34,5 ± 22,5
1FCF	17	321,9 ± 72,5	265,5 ± 66,4	50,9 ± 35,6	-4,1 ± 9,7
PCF	18	369,8 ± 82,8	291,5 ± 68,9	64,5 ± 30,5	-13,6 ± 9,2
2FCF	17	349,8 ± 89,1	322,0 ± 95,6	22,0 ± 48,6	-7,7 ± 7,0
MFF	10	346,5 ± 88,1	281,8 ± 64,6	55,3 ± 42,1	-9,7 ± 7,6
RF	42	335,4 ± 108,8	281,1 ± 90,5	40,2 ± 33,0	-15,1 ± 8,7

* D – Duração dos estádios fenológicos.

Tabela 3. Valores médios diários das componentes do balanço de energia para o sistema copa, em cada estágio fenológico da videira, Petrolina – PE, Julho a Novembro de 2001

Estádios fenológicos	D* Dias	Rn _c W.m ⁻²	LE _c W.m ⁻²	H _c W.m ⁻²
PBGV	12	193,5 ± 39,2	180,2 ± 41,9	12,9 ± 18,4
DV	21	192,9 ± 62,5	173,0 ± 59,8	20,0 ± 13,0
PFF	09	153,7 ± 71,0	133,7 ± 60,7	18,4 ± 15,2
1FCF	17	264,6 ± 92,6	224,6 ± 79,8	40,0 ± 32,6
PCF	18	289,5 ± 78,0	237,8 ± 65,3	52,6 ± 26,6
2FCF	17	329,5 ± 93,6	309,7 ± 102,9	20,1 ± 46,4
MFF	10	316,1 ± 85,1	264,0 ± 66,0	52,2 ± 39,9
RF	42	318,3 ± 105,8	278,5 ± 93,6	39,8 ± 32,7

* D – Duração dos estádios fenológicos.

maturação final do fruto (MFF) e de repouso fenológico (RF), estão associadas à suspensão da irrigação (Tabela 1). Quanto ao fluxo de calor no solo, verifica-se que o aumento observado entre os três primeiros estádios fenológicos da videira, correspondentes aos subsistemas “copa-solo” (Tabela 2) e “superfície do solo” (Tabela 4), pode ser resultante do baixo conteúdo de água no solo, uma vez que o bulbo molhado ainda estava sendo recomposto. Os valores máximos alcançados nos estádios de desenvolvimento vegetativo (DV) e pré-floração e floração (PFF) são decorrentes do crescimento da parte aérea tanto da videira quanto das culturas utilizadas como cobertura orgânica verde.

A Tabela 5 apresenta as partições dos componentes dos balanços de energia obtidos com base em valores médios diários correspondentes aos distintos estádios do ciclo de produção da videira, levando-se em consideração as metodologias: clássica para um

volume de controle único, sistema “copa-solo” e modificada, subsistemas “copa” e “superfície do solo”.

No sistema “copa-solo” pode-se observar que os percentuais do saldo de radiação (Rn), utilizados como calor latente (LE), oscilou entre 75,7% na pré-floração e floração (PFF) e 91,5% na 2ª fase de crescimento do fruto (2ªFCF). Os percentuais de Rn utilizados como calor sensível (H) situaram-se entre 10,2% e 17,4%, para os primeiros cinco estádios e variaram de 6,4%, 15,9% e 12,0%, respectivamente, nos três últimos estádios do ciclo de produção. Enquanto que os percentuais das relações médias de G/Rn tenderam a estabilizar-se num patamar em torno de 4,0%, exceto para os estádios de DV e de PFF, em que foram da ordem de 14%. Resultados obtidos por outros autores evidenciam: LE/R_n, H/R_n e G/R_n variando, respectivamente, entre 46 e 61%, 17 a 28% e em torno de 29% (HEILMAN *et al.*, 1994); LE/R_n variando entre 50 e 80% (RIOU *et al.*, 1994, citados por

Tabela 4. Valores médios diários das componentes do balanço de energia para o sistema superfície do solo, em cada estágio fenológico da videira, Petrolina – PE, Julho a Novembro de 2001

Estádios fenológicos	D* Dias	Rn _{ss} W.m ⁻²	LE _{ss} W.m ⁻²	H _{ss} W.m ⁻²	G _{ss} W.m ⁻²
PBGV	12	50,8 ± 8,4	33,9 ± 14,9	1,7 ± 6,9	-13,9 ± 10,5
DV	21	91,4 ± 62,8	53,2 ± 56,2	13,4 ± 18,1	-24,5 ± 15,1
PFF	09	79,5 ± 56,9	40,6 ± 50,0	12,0 ± 17,3	-26,9 ± 15,8
1FCF	17	56,9 ± 52,6	42,3 ± 46,4	10,6 ± 20,3	-4,1 ± 9,7
PCF	18	103,4 ± 80,9	77,0 ± 62,8	14,8 ± 21,5	-13,0 ± 9,2
2FCF	17	136,6 ± 84,2	110,9 ± 67,9	17,3 ± 24,0	-7,7 ± 7,0
MFF	10	100,1 ± 64,7	72,8 ± 46,9	20,0 ± 23,8	-9,7 ± 7,6
RF	42	44,2 ± 31,8	26,4 ± 25,6	4,9 ± 7,8	-13,5 ± 8,7

* D – Duração dos estádios fenológicos.

TRAMBOUZE et al., 1998); 82, 13 e 5% (CASTRO TEIXEIRA et al., 1997); LE/R_n em torno de 56% e G/R_n entre 7 e 11% (TRAMBOUZE et al., 1998).

Para o subsistema “copa” pode-se observar que os percentuais do saldo de radiação (R_n), utilizados como calor latente (LE_c) oscilaram entre 82,1% e 94,0%, com os maiores valores durante os estádios inicial de poda e brotação das gemas vegetativas (PBGV) e na segunda fase de crescimento do fruto (2ª FCF) enquanto o menor foi alcançado no estágio de parada de crescimento do fruto (PCF). A relação percentual de H_c/R_n foi de 6,7% para o estágio de PBGV, elevando-se para alcançar o nível de 18,2% no PCF, quando então decresceu para o nível de 12,5% no final do ciclo de produção da videira.

No subsistema “superfície do solo” pode-se constatar que os percentuais do saldo de radiação (R_{ss}), utilizados como calor latente abaixo da latada (LE_{ss}) oscilaram entre 51,0% e 81,2%, com os maiores valores entre os estádios da primeira - 1ª FCF e da segunda fase de crescimento do fruto - 2ª FCF, enquanto os menores foram observados nos estádios de pré-floração e floração - PFF e de repouso vegetativo - RF. As relações percentuais médias de H_{ss}/R_{ss} elevaram-se progressivamente de 5,5% no estágio de PBGV para 18,6% na 1ª FCF, decrescendo em seguida para 14,1% na PCF, elevando-se novamente para um patamar de 19% na maturação final do fruto - MFF, regredido para o nível de 11,0% no repouso fisiológico - RF. Enquanto os valores das relações médias de G/R_{ss} tenderam a estabilizar-se num patamar médio em torno de 29,3% ao longo dos três primeiros estádios fenológicos, decrescendo para

um nível médio de 8,5 nos estádios subsequentes até a MFF, quando então aumentou bruscamente para 30,2% no repouso fisiológico. NORMAN & CAMPBBEL (1983) afirmaram que quando o solo permanece úmido, a evaporação abaixo de uma copa com $IAF \cong 3$ pode constituir numa fração de até 30% do fluxo total de LE para um período de 24 horas. Por outro lado, AL-KHAFRAF et al., (1978) mencionam que quando o valor de $R_{n_{ss}}$ é baixo, a fração de evaporação de uma superfície úmida iguala-se à de uma superfície seca.

Conclusões

A análise comparativa entre os componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, aplicado ao sistema “copa-solo”, com aqueles determinados para os subsistemas “copa” e “superfície do solo”, indica que o balanço de energia pode ser feito separadamente, mas que há um elevado nível de interdependência entre esses subsistemas. Constatase também, que:

- i - O percentual do saldo de radiação (R_n) utilizado como calor latente (LE) varia entre 70 e 90% para o sistema “copa-solo”; 80 e 95% para o subsistema “copa” e 50 e 80% para o subsistema “superfície do solo”, com valores máximos de 91, 94 e 81%, respectivamente, ocorridos na 2ª fase do crescimento do fruto.
- ii - A relação média percentual de (H/R_n) permanece praticamente constante, em torno de 13%;

Tabela 5. Percentuais do saldo de radiação utilizados como calor latente (LE/R_n), calor sensível (H/R_n) e calor no solo (G/R_n), para os diferentes estádios do ciclo de produção da videira, obtidos com base nas metodologias: clássica, sistema “copa-solo” e modificada, subsistemas “copa” e “superfície do solo”, Petrolina – PE. Julho a novembro de 2001.

Estádio f enológico	D* Dias	Copa-solo			Copa		Superfície do solo		
		LE/R_n (%)	H/R_n (%)	G/R_n (%)	LE_c/R_n (%)	H_c/R_n (%)	LE_{ss}/R_{ss} (%)	H_{ss}/R_{ss} (%)	G/R_{ss} (%)
PBGV	12	82,0	11,4	5,9	93,1	6,7	66,8	5,5	27,5
DV	21	77,0	10,2	13,0	89,7	10,4	58,2	14,7	26,8
PFF	09	75,7	10,5	13,9	87,2	12,2	51,0	15,1	33,8
1ª FCF	17	82,6	15,8	1,6	84,9	15,1	74,3	18,6	7,2
PCF	18	78,8	17,4	3,7	82,1	18,2	74,5	14,1	12,0
2ª FCF	17	91,5	6,4	2,2	94,0	6,1	81,2	12,7	5,6
MFF	10	81,3	15,9	2,8	83,5	16,5	72,5	19,0	9,0
RF	42	83,7	12,0	4,4	87,5	12,5	59,5	11,0	30,2
Média		81,5	12,6	5,9	87,6	12,3	67,3	13,8	19,0

* D – duração dos estádios fenológicos.

iii - A relação média percentual de (G/Rn) passa de 5,9% no volume de controle único (copa-solo) para 19% no sub-volume superfície do solo.

Portanto, a partição dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen - BERB é influenciada pela subdivisão do volume de controle e pelas metodologias utilizadas, com exceção do componente do fluxo de calor sensível (H).

Referências bibliográficas

- AL-KHAFRAF, S.; WIERENGA, R. J. WILLIAMS, B. C. Evaporation flux from irrigated cotton as related to leaf area index, soil water and evaporative demand. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 912-917, 1978.
- ÁVILA NETTO, J. et al. Exigências Hídricas da videira na região do Sub-Médio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1559-1566, 2000.
- CASTRO TEIXEIRA, A. H. de; AZEVEDO, P.V. de. Zoneamento agroclimático para a videira européia no estado de Pernambuco. Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.
- CASTRO TEIXEIRA, et al. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 137-141, 1997.
- CERDAN, C et al. **O agronegócio da uva no Submédio São Francisco.**, Petrolina-PE: SUDENE/ EMBRAPA/ CPATSA, 1997, 73 p. (Relatório de pesquisa).
- DUTRUC-ROSSET, G.; AIGRAIN, P.; MAGALHÃES, V. **The state of vitiviculture in the world and the statistical information in 1999.** Paris: Office International de la vigne et du vin, 1999. 94 p. (Supplément au Bulletin de L'O.I.V.).
- EVANS, R.G. et al. Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 109-124, 1993.
- GONÇALVES, J. S. et al. Estrutura de produto e de mercado da uva de mesa brasileira. **Agricultura em São Paulo**, v. 43, n. 1, p. 43-93, 1996.
- HEILMAN, J.L. *et al.* Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, p. 99-114, 1994.
- LIUNI, C.S. Table grape production in Italy. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TABLE GRAPE PRODUCTION, 1994. Davis. **Proceedings...** DAVIS: American Society for Enology and Viticulture/ University of California, Anaheim, California-USA, 1994, p.18-21..
- NORMAN, J. M.; CAMPBELL, G. S. Application of a plant environment model to problems in irrigation. In: Hillel (Editor). **Advances in irrigation**. Academic Press: New York, v. 2, 1983. p. 155-178.
- OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy and water balances **of developing vines** **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 167-185, 1992.
- PRUEGER, JH et al.** Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 1, p. 730-736, 1997.
- REEDY, S. J.; AMORIM NETO, M. da S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil.** Petrolina-PE: EMBRAPA/ CPATSA, 1993. 280 p.
- SILVA, B.B. da; *et al.* Energy balance in a vineyard field under semiarid condition in Northeast of Brazil. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1997. Mineapolis, **Proceeding...**, Minneapolis: ASAE, 1997. p.1-12. (Paper No. 972180).
- SILVA, B.B da *et al.* Energy balance in a semiarid orchard in Northaest of Brazil. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL & FOREST METEROLOGY, 24. e CONFERENCE BIOMETEOROLOGY AND AEROBIOLOGY, 14., 2000. Davis, **Proceedings...**, Davis: American Meteorological Society, 2000. p. 51-52.
- TRAMBOUZE, W.; BERTUZZI, P.; VOLTZ, M. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 91, p. 193-208, 1998.
- UNLAND, H. E. et al. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid sonoran desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, p. 119-153, 1996.
- VERMA, S. B.; ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.
- WEAVER, R. J. Vini structure. In: Weaver, R. J. **Grape growing**. New York: John Wiley, 1976. Cap. 2, p. 10-22.
- WINKLER, A.J. *et al.* **General Viticulture**. 2. Ed., Berkeley: University of California Press, 1974. 710 p.