

ISSN 0104-1347

## Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen

Water consumption of a banana crop in São Francisco Valley, Brazil, estimated with the by Bowen ratio method

Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1</sup>, Luís Henrique Bassoi<sup>1</sup>, Wayka Preston Leite Batista da Costa<sup>2</sup>, José Antônio Moura e Silva<sup>2</sup> e Emanuel Elder Gomes da Silva<sup>2</sup>

**Resumo** – Em Petrolina – PE, a evapotranspiração de cultura ( $ET_c$ ) e o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) da bananeira (*Musa sp.*) cv. Pacovan, irrigada por microaspersão, foram determinados durante dois ciclos de produção (janeiro de 1999 a novembro de 2000). O método da razão de Bowen foi utilizado para a estimativa de  $ET_c$ , enquanto o de Penman-Monteith foi empregado para a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). A  $ET_c$  acumulada entre maio de 1999 (120 dias após o plantio - DAP) até o término da colheita do primeiro ciclo, em abril de 2000 (437 DAP), foi de 1210mm, correspondendo a um valor médio de  $3,8 \pm 1,1$  mm/dia; no segundo ciclo, entre abril (438 DAP) e novembro de 2000 (término da colheita aos 658 DAP), o consumo de água foi de 880mm, equivalendo a um valor médio de  $4,0 \pm 1,2$  mm/dia. O valor mínimo de 1,7mm/dia ocorreu em junho de 1999 (140 DAP), na fase vegetativa do primeiro ciclo, enquanto o valor máximo de 6,3mm/dia ocorreu em setembro de 2000 (580 DAP), no período de colheita do segundo ciclo. O coeficiente de cultura apresentou valores entre 0,6 e 1,1 e entre 1,1 e 1,3, respectivamente, no primeiro e segundo ciclos.

**Palavras - chave:** evapotranspiração, coeficiente de cultura, balanço de energia.

**Abstract** - The evapotranspiration ( $ET_c$ ) and crop coefficient ( $K_c$ ) of banana (*Musa sp.*), cv. Pacovan, irrigated with microsprinklers were estimated during two growing seasons (January 1999 to November 2000) at Petrolina, Pernambuco State, Brazil. The  $ET_c$  and the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) were estimated by Bowen ratio and Penman-Monteith methods, respectively. The accumulated  $ET_c$  from May 1999 (120 days after planting - DAP) and the end of the first harvest in April 2000 (437 DAP) was 1210mm, which corresponds to an average of  $3.8 \pm 1.1$  mm/day. In the second cycle, from April (438 DAP) to November 2000 (end of harvest on 658 DAP), the evapotranspiration was 880mm, and the average value was  $4.0 \pm 1.2$  mm/day. A minimum value of 1.7mm/day occurred in June 1999 (140 DAP) during the vegetative stage of the first growing season, while the maximum (6.3mm/day) occurred in September 2000, during the harvest period of the second growing season (580 DAP). Crop coefficient varied from 0.6 to 1.1 during the cycle, and from 1.1 to 1.3 in the first and second growing season, respectively.

**Key words:** evapotranspiration, crop coefficient, energy balance.

### Introdução

De acordo com o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, a produção de bananas no Nordeste do Brasil é a maior do país, em torno de 2,4 milhões de toneladas anuais. O Estado de

Pernambuco é o quarto maior produtor nacional, com 0,5 milhão de toneladas por ano (IBGE, 1997). Os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA (Vale do Rio São Francisco) destacam-se pelo cultivo da bananeira cv. "Pacovan" em condição irrigada

<sup>1</sup>Pesquisador, Embrapa Semi-Árido, Caixa Postal 23, CEP 56300-970, Petrolina-PE, E-mail: heribert@cpatsa.embrapa.br, [lbassoi@cpatsa.embrapa.br](mailto:lbassoi@cpatsa.embrapa.br)

<sup>2</sup>Bolsista do CNPq, E-mail: [wqyka@cpatsa.embrapa.br](mailto:wqyka@cpatsa.embrapa.br), [jantonio@cpatsa.embrapa.br](mailto:jantonio@cpatsa.embrapa.br), [emanuel@cpatsa.embrapa.br](mailto:emanuel@cpatsa.embrapa.br)

(MASCARENHAS, 1999), pois apresentam baixas latitudes, com boas disponibilidades de radiação solar para o processo fotossintético ao longo do ano. Com o uso da irrigação, para superar a heterogeneidade do regime pluviométrico, a produção de banana pode ser obtida durante o ano todo.

Para se irrigar adequadamente, é necessário conhecer-se elementos agrometeorológicos que condicionam o consumo hídrico nas diferentes fases fenológicas. No Vale do Rio São Francisco, são poucas as informações sobre evapotranspiração da cultura da bananeira.

O consumo hídrico de uma cultura é uma função dos balanços hídrico e de energia da superfície cultivada. Segundo ALLEN et al. (1998), a evapotranspiração de uma cultura ( $ET_c$ ) em condição padrão ocorre quando a mesma encontra-se em bom estado fitossanitário, com boa fertilização, cultivada em áreas grandes, sob condições ótimas de umidade do solo e apresentando o seu potencial de produção para uma dada condição climática.

Dentre os métodos de determinação da  $ET_c$ , destaca-se o do balanço de energia. A evapotranspiração é governada pela troca de energia na superfície vegetada, limitada pela energia disponível, sendo possível estimá-la, pelo princípio de conservação da energia. Com base neste princípio, estima-se a evapotranspiração com a fórmula simplificada da equação do balanço de energia, composta pelo saldo de radiação ( $R_n$ ), pelos fluxos de calor latente ( $LE$ ) e sensível na atmosfera ( $H$ ) e pelo fluxo de calor no solo ( $G$ ). A solução da equação é obtida por medições de  $R_n$  e  $G$  e de estimativas de  $LE$  e  $H$  com a razão de Bowen ( $b$ ).

ANGUS & WATTS (1984) afirmam que com a utilização do balanço de energia na forma simplificada considera-se a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível ( $K_h$ ) e de calor latente ( $K_w$ ). Essa relação é válida apenas para condições de estabilidade atmosférica neutra, com medições dos gradientes de temperatura e umidade dentro da camada limite do fluxo de ar, o que implica na necessidade de uma bordadura com extensão mínima de 100 vezes a altura da cultura. Em condições muito secas, quando ocorre considerável advecção de energia, a precisão do método diminui.

Segundo HEILMAN & BRITTIN (1989), ao contrário de outros métodos micrometeorológicos, para utilização do balanço de energia, não são neces-

sárias informações sobre velocidade do vento nem das propriedades aerodinâmicas da superfície vegetada. De acordo com esses autores, o método não é afetado pela bordadura quando a razão de Bowen é pequena. Ao invés da relação 1:100, o uso da relação 1:20 confere precisão.

A razão entre a evapotranspiração da cultura em condição padrão ( $ET_c$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) define o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que depende do estágio de desenvolvimento. Este coeficiente pode ser utilizado, quando já estiverem determinados, na estimativa de  $ET_c$ , necessitando-se apenas de dados meteorológicos representativos da demanda atmosférica (ALLEN et al., 1998, TEIXEIRA et al., 1999).

Em relação à bananeira cv. Robusta, BHATTACHARYYA & MADHAVA RAO (1985) determinaram valores de  $K_c$  variando de 0,68 a 1,28 e um consumo de água de 1560mm com solo sem cobertura. Nas Ilhas Canárias, SANTANA et al. (1993) obtiveram valores de  $K_c$  entre 0,48 e 1,68 para a bananeira com a evapotranspiração da cultura obtida pelo balanço hídrico em lisímetros e a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith. Os valores de evapotranspiração anuais variaram entre 1,5 e 4,6mm/dia com um consumo anual de 1127mm. Em climas subúmidos, ALLEN et al. (1998) recomendam valores de  $K_c$  variando de 0,5 a 1,1 no primeiro ano, e de 1,0 a 1,2 no segundo ano de cultivo da bananeira.

Dessa forma, o presente trabalho objetivou determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura que permitam a posterior obtenção do consumo de água a partir de dados de estações meteorológicas, no decorrer das fases fenológicas da bananeira e nas condições edafoclimáticas do município de Petrolina-PE.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, na Embrapa Semi-Árido, em Petrolina, PE (latitude 09°09' S, longitude 40°22' W e altitude 365,5m). O clima da região é do tipo BSw<sub>h</sub>, segundo a classificação de Köppen, que corresponde a uma região climaticamente árida, cuja quadra chuvosa vai de janeiro a abril.

A cultura da bananeira (*Musa spp*), cv. Pacovan, foi plantada em janeiro de 1999, em uma

área de 936m<sup>2</sup>, com espaçamento de 3m x 3m, em um Latossolo Vermelho Amarelo, textura média (PEREIRA & SOUZA, 1968). O sistema de irrigação foi o de microaspersão, com um emissor com vazão nominal de 48 l/h por planta, e umedecimento de 100% da superfície do solo.

Visando assegurar condições de umidade do solo para que ocorresse a evapotranspiração em nível máximo, o potencial matricial ( $Y_m$ ) de água no solo foi monitorado com tensiômetros às profundidades de 20, 40, 60, 80 e 100 cm de profundidade, para a determinação da lâmina e do momento de irrigação.

Antes do plantio, realizou-se um teste de vazão e distribuição de água do sistema de irrigação. A lâmina coletada foi de 4,8mm/h, com uniformidade de 86%.

O momento de irrigação foi determinado quando o potencial matricial atingiu o valor próximo de 0,03MPa a 40cm de profundidade. Pela curva de retenção de água, determinou-se a lâmina de irrigação a ser aplicada para elevar o teor de umidade para próximo à capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ):

$$L_L = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \cdot Z \quad (1)$$

$$L_a = L_L / E_i \quad (2)$$

onde:  $L_L$  é a lâmina líquida de irrigação (mm);  $\theta_{cc}$  a umidade da capacidade de campo (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>);  $\theta_{atual}$  a umidade atual (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>);  $Z$  = profundidade da camada de solo (mm);  $L_a$  a lâmina a ser aplicada (mm);  $E_i$  a eficiência do sistema de irrigação (0,9).

Para determinação da evapotranspiração da cultura foram realizadas medições do saldo de radiação ( $R_n$ ), com dois saldo-radiômetros; do fluxo de calor no solo ( $G$ ), com dois fluxímetros de solo à 2cm de profundidade e dos gradientes de temperatura do ar e de pressão do vapor, à 50 e 200cm acima da folhagem, com termopares de cobre-constantan. Os dados foram coletados a cada 5 segundos por um sistema automático de aquisição de dados (Micrologger CR10X da Campbell Scientific), programado para armazenar médias de 10 minutos.

Com os dados de saldo de radiação, de fluxo de calor no solo, dos gradientes de temperatura do ar ( $DT$ ) e temperatura úmida ( $DTU$ ), e com a equação simplificada do balanço de energia (Equação 3), calcularam-se os fluxos de calor latente de evaporação ( $LE$ ) (Equação 4) e o de calor sensível ( $H$ ) empregando-se a razão de Bowen ( $b$ ) segundo WEBB (1965)

(Equação 5):

$$Rn + LE + G + H = 0 \quad (3)$$

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

$$b = \left( \frac{s + g}{g} \cdot \frac{\Delta TU}{\Delta T} - 1 \right)^{-1} \quad (5)$$

onde  $s$  é a tangente à curva de saturação do vapor d'água no ar (mb °C<sup>-1</sup>) em função da temperatura média do termômetro de bulbo úmido, entre os dois níveis onde os psicrômetros foram instalados; e  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico (0,66 mb °C).

O fluxo de calor latente (Equação 4) transformado em milímetros de água evapotranspirada foi considerado como sendo a evapotranspiração da cultura em condição padrão ( $ET_c$ ). A produção das duas colheitas foi obtida pesando-se os cachos de todas as plantas. A eficiência do uso da água (EUA) foi estimada pela razão entre a produção (kg/ha) e a  $ET_c$  (mm).

Para o cálculo de  $ET_0$  pelo método de Penman-Monteith foram utilizados dados obtidos na estação agrometeorológica junto à área experimental, considerando-se uma cultura hipotética, com uma altura de 0,12m, resistência da superfície de 70sm<sup>-1</sup> e coeficiente de reflexão de 0,23 (ALLEN et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408s(Rn - G) + g \frac{900}{T + 273} U2(ea - ed)}{s + g(1 + 0,34U2)} \quad (6)$$

onde  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência (mm.d<sup>-1</sup>);  $R_n$  o saldo de radiação à superfície (MJ.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>);  $G$  o fluxo de calor no solo (MJ.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>);  $T$  a temperatura média do ar (°C);  $U2$  a velocidade média do vento a 2m de altura (m.s<sup>-1</sup>);  $(ea-ed)$  o déficit de pressão do vapor d'água (kPa);  $s$  a declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa.°C<sup>-1</sup>); e 900 um fator de conversão.

Com a razão  $ET_c/ET_0$  foram obtidos os valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) entre maio de 1999, durante o desenvolvimento vegetativo do primeiro ciclo, aos 120 dias após o plantio (DAP), e novembro de 2000, na colheita do segundo ciclo (658 DAP).

Com a radiação solar global ( $R_g$ ), obtida na estação agrometeorológica à 500m da área experimental, por registros de actnógrafo bimetalico, e o saldo de radiação ( $R_n$ ) e a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), determinaram-se equações de regressão para estimativa do consumo hídrico da cultura da bananeira em função da radiação solar incidente e de  $DAP$ .

## Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta as fases fenológicas em função dos meses e dos DAP. Em julho de 1999 e em setembro de 2000, os perfilhos foram desbastados para a seleção daqueles que originaram as plantas do segundo e terceiros ciclos, respectivamente. No segundo ciclo, o período de colheita de algumas plantas iniciou-se quando outras ainda encontravam-se em florescimento e enchimento de frutos.

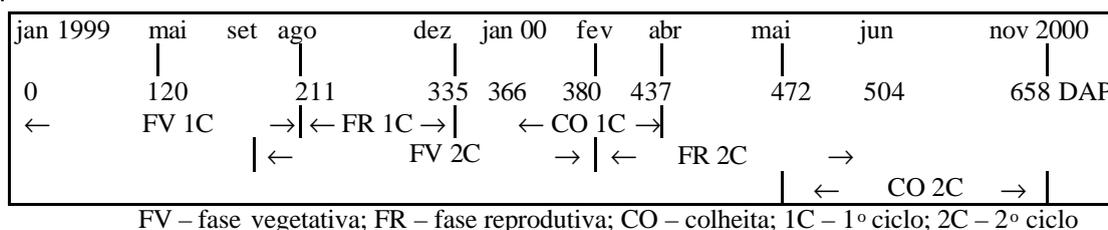
A evapotranspiração da cultura acumulada entre 120 DAP (maio de 1999) e 437 DAP, no término da colheita do primeiro ciclo (abril de 2000) foi de 1210mm, tendo um valor médio de  $3,8 \pm 1,1$  mm/dia. De 438 até 658 DAP, no término da colheita do segundo ciclo (novembro de 2000), o consumo total de água foi de 880mm, com um valor médio de  $4,0 \pm 1,2$  mm/dia. O valor mínimo de 1,7mm/dia ocorreu aos 140 DAP (junho de 1999), enquanto que máximo foi de 6,3mm/dia e ocorreu aos 580 DAP (setembro de 2000), durante o período de colheita do segundo ciclo. Os valores de  $ET_c$  para o período analisado estão apresentados na Figura 2. O rápido aumento nos valores de  $K_c$  no período entre 120 a 220 DAP, está associado ao incremento no crescimento da cultura da superfície do solo. Nesta fase, a evaporação se reduz gradativamente e a transpiração aumenta e torna-se gradualmente o processo dominante. O valor médio de  $ET_c$  para os ciclos completos mostrou-se dentro dos limites dos valores

apresentados por SANTANA et al. (1993), que é de 1,5 a 4,6mm e pouco inferior ao consumo de água obtido por BHATTACHARYYA & MADHAVA RAO (1984) de 1560mm.

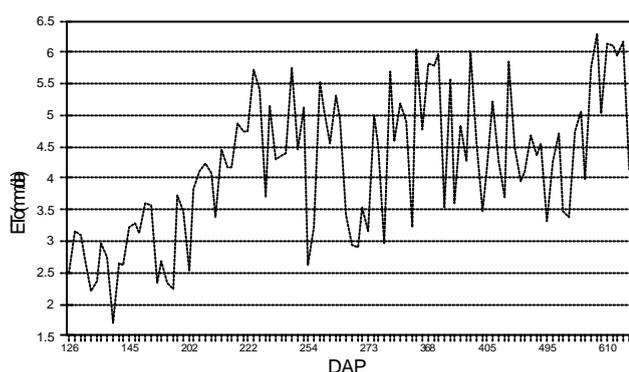
A produção de frutos na primeira e segunda colheitas foi de 10834,4 e 14705,7kg/ha, respectivamente. Pelo fato do desenvolvimento concomitante de plantas do primeiro e segundo ciclos a partir de julho de 1999, e do segundo e terceiros ciclos a partir de setembro de 2000, quando da seleção dos perfilhos, considerou-se a produção e o consumo de água total nos dois ciclos. Assim, o valor de EUA encontrado foi o de 12,2 kg/ha.mm. Para a bananeira cv. Robusta, plantada em um espaçamento de 1,8m x 1,8m, HEDGE & SRINIVAS (1989) encontraram a EUA em duas colheitas variando de 28 a 37kg/ha.mm. A diferença entre os valores está relacionada às diferentes densidades de plantio.

A Figura 3 apresenta a curva do coeficiente de cultura em função de DAP, e pode ser representada pela equação:  $K_c = -4.E-06.DAP^2 + 0,0043DAP + 0,1446$ , com  $R^2 = 0,91$ . Observa-se que os valores aumentaram de 0,6 a 1,1, devido ao crescimento das plantas na fase vegetativa do primeiro ciclo. Na fase reprodutiva desse mesmo ciclo, os valores apresentaram um pequeno aumento até 1,3, em função do crescimento concomitante dos perfilhos selecionados para o segundo ciclo. Após 550 DAP, houve uma redução mínima do valor de  $K_c$  até 1,2, e apesar do desenvolvimento dos perfilhos selecionados para o terceiro ciclo, não se observou um aumento do coeficiente, o que indica que o  $K_c$  atingiu o seu valor máximo. A magnitude de seus valores esteve dentro dos intervalos relatados por outros autores, ou seja, 0,68 a 1,28 (BHATTACHARYYA & MADHAVA RAO, 1984), 0,48 a 1,68 (SANTANA et al., 1993), e 0,5 a 1,2 (ALLEN et al., 1998).

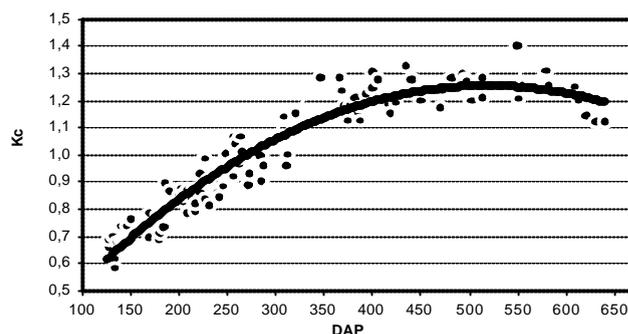
A relação entre o saldo de radiação na cultura ( $R_n$ ) e a radiação solar global incidente ( $R_g$ ),



**Figura 1.** Fases fenológicas da bananeira cv. Pacovan em Petrolina – PE, com as respectivas épocas do ano e dias após o plantio (DAP).



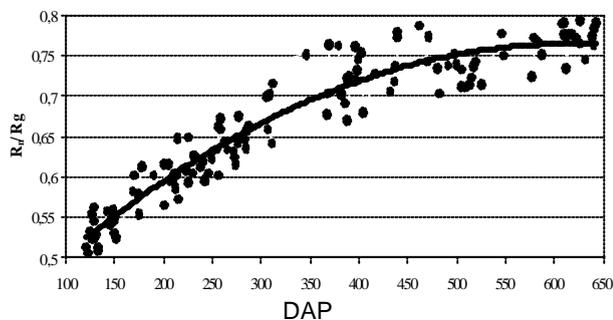
**Figura 2** Evapotranspiração da cultura da bananeira ( $ET_c$ ) em Petrolina - PE, em função dos dias após o plantio (DAP).



**Figura 3**. Coeficientes de cultura da bananeira ( $K_c$ ) em Petrolina - PE, em função dos dias após o plantio (DAP).

apresentada na Figura 4, variou de 50% a 80% no período compreendido entre 120 DAP e a segunda colheita dos frutos (658 DAP). A variação dessa razão pode ser descrita pela equação  $R_n/R_g = -1E-06(DAP)^2 + 0,0012(DAP) + 0,3934$ , com  $R^2 = 0,91$ . A partição de  $R_g$  em  $R_n$  fornece a energia disponível ao sistema cultivado.

A Figura 5 apresenta a relação entre a evapotranspiração da bananeira ( $ET_c$ ) e o saldo de radiação ( $R_n$ ), no período de medições do balanço de energia sobre a cultura, que pode ser representada pela equação:  $ET_c = 0,0139(R_n) - 0,0685$ , com  $R^2 = 0,93$ . A importância dessa relação deve-se ao fato de ser possível estimar a evapotranspiração da bananeira, para uma determinada fase fenológica da cultura, dispondo-se apenas de dados de radiação solar global, comumente coletados em estações meteorológicas.



**Figura 4**. Relação entre o saldo de radiação ( $R_n$ ) e a radiação solar global ( $R_g$ ) na cultura da bananeira em Petrolina - PE, em relação aos dias após o plantio (DAP).

### Referências bibliográficas

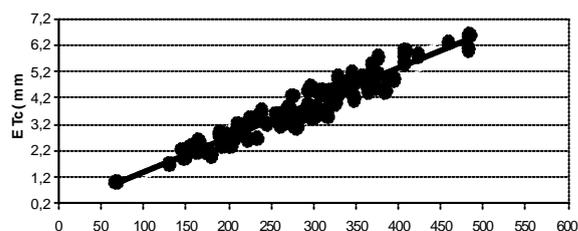
ALLEN, R. et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage, n. 56).

ANGUS, D.E.; WATTS, P.J. Evapotranspiration: how good is the Bowen ratio method?. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150, 1984.

BHATTACHARYYA, R.K.; MADHAVA RAO, V.N. Water requirement, crop coefficient and water-use efficiency of 'Robusta' banana under different soil covers and soil moisture regimes. **Scientia Horticulturae**, The Netherlands, n. 3, v. 25, p. 263-269, 1984.

HEDGE, D. M.; SRINIVAS, K. Irrigation and nitrogen fertility influences on plant water relations, biomass, and nutrient accumulation and distribution in banana cv. Robusta. **Journal of Horticultural Sciences**, Ashford, Kent, v. 64, n. 1, p. 91-98, 1989.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat



**Figura 5**. Relação entre a evapotranspiração ( $ET_c$ ) e o saldo de radiação ( $R_n$ ) na cultura da bananeira em Petrolina-PE.

fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 261-273, 1989.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986-1997.

MASCARENHAS, G.C.C. Banana: comercialização e mercado. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 196, p. 97-108, 1999.

PEREIRA, J.M., SOUZA, R.A. **Mapeamento detalhado da área da Barra de Bebedouro**. Petrolina: SUDENE, 1968. 57 p. (mimeografado).

SANTANA, J.L., SUAREZ, C.L., FERRERES, E. Evapotranspiration and crop coefficients in banana. In:

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 1992. Almeria.

**Proceedings...** Almeria: F.I.A.P.A.-S.E.C.H.-I.S.H.S., 1993, p. 341-348.

TEIXEIRA, A. H. de et al. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, p. 327-330, 1999.

WEBB, E.K. Aerial microclimate. **Meteorological Monographs**. Boston, v. 6, n. 28, p. 27-58, 1965.

