

Modelagem de parâmetros biofísicos em pomares de mangueira por sensoriamento remoto no município de Petrolina-PE, Brasil

Antônio Heriberto de Castro Teixeira¹
Helio Leandro Lopes²
Fernando Braz Tangerino Hernandez³

¹ Embrapa Semiárido - CPATSA
Caixa Postal 23 – 56302-970 - Petrolina - PE, Brasil
heribert@cpatsa.embrapa.br

² Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
56.300-000 - Petrolina - PE, Brasil
heliovasf@hotmail.com

³ Universidade Estadual Paulista - UNESP
Caixa Postal 34 - 15385-000 - Ilha Solteira - SP, Brasil
fbhtang@agr.feis.unesp.br

Abstract. Models based on remote sensing and field measurements were used to analyze biophysical parameters in irrigated mango orchards in a commercial farm at Petrolina-PE, Brazil. The SEBAL algorithm was applied to retrieve the energy balance and roughness components, including the actual evapotranspiration (*ET*), the resistances to water vapour transfer and soil moisture at the farm level. The Monteith model based on the absorbed solar radiation was used to determine the biomass production (*BIO*). The harvest index was obtained in one field experimental plot and applied to the entire farm for water use efficiency (*WUE*) assessment. Considering two general growing seasons the averaged total *ET* for a mango orchard was around 1150 mm with the daily rates between 1.5 and 3.5 mm d⁻¹, *BIO* averaged 60 t ha⁻¹ with the highest frequencies between 30 and 45 t ha⁻¹ during outside the rainy periods. *WUE* values ranged from 2.2 to 4.9 kg m⁻³ depending on the soil moisture conditions. Mango water usage is highly productive in the study region, and to promote good irrigation management the advanced available tools like satellite and agro-meteorological data tested here proved to be strongly helpful.

Palavras-chave: energy balance, evapotranspiration, water use efficiency, balanço de energia, evapotranspiração, uso eficiente da água.

1. Introdução

O sucesso do cultivo da mangueira na região semi-árida da Bacia do Rio São Francisco se deve às excelentes condições climáticas. Estando entre baixas latitudes, não há restrição térmica para a atividade fotossintética, favorecendo elevada produtividade. Entretanto especial atenção deve ser dada na determinação do consumo hídrico das plantas em larga escala sob as condições de contínuas mudanças de uso da terra e climáticas (Teixeira, 2009).

O uso de experimentos de campo para estimativas de parâmetros biofísicos relacionados com o consumo hídrico da cultura da mangueira têm sido realizados para as condições do semiárido brasileiro (Teixeira et al., 2008a,b); entretanto os resultados destes experimentos fornecem valores pontuais e falham na obtenção destes parâmetros em larga escala. Estas dificuldades tornam o uso sensoriamento remoto uma ferramenta muito útil.

Dada a importância do manejo de irrigação na cultura, tanto por questões econômicas, como ambientais, parâmetros biofísicos relacionados com consumo hídrico em uma fazenda comercial de manga foram determinados em Petrolina-PE, Brasil, através do uso conjunto de dados remotamente obtidos por satélites e de estações agro-meteorológicas. Os resultados apresentados são importantes para geração de critérios racionais de irrigação, alocação de

água, economia hídrica e sustentabilidade ambiental de pomares irrigados nas condições semiáridas da bacia do Rio São Francisco.

2. Metodologia de Trabalho

A fazenda produtora de mangas Fruitfort estudada situa-se no município de Petrolina-PE, Brasil. Uma estação agro-meteorológica (09°22'22.99" S; 40°33'40.47" W), foi utilizada em conjunto com medições de parâmetros obtidos por seis imagens do satélite Landsat no período de 2004 a 2007. Os dados climáticos rotineiros foram aplicados no cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0).

As variedades de manga são compostas na sua maioria de *Tommy Atkins* (103,5 ha), mas apresentando também as cultivares *Kent* (26,3 ha) sendo ambas quase que na totalidade irrigadas por micro aspersão com apenas 28,5 ha de *Tommy* irrigados por gotejamento. Em geral as plantas permanecem no estado de crescimento vegetativo de novembro a janeiro, seguido pelo estágio de maturação dos ramos de janeiro a maio, florescendo de maio a julho, com iniciação da frutificação entre junho e julho. O crescimento dos frutos ocorre de julho a agosto com maturação de agosto a setembro e a colheita acontecendo de setembro a outubro.

Para a obtenção da evapotranspiração atual (ET), foram usadas equações calibradas e validadas localmente do modelo SEBAL (Teixeira et al., 2009), computando-se o saldo de radiação (R_n), o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor no solo (G) para cada pixel de uma imagem e estimando-se o fluxo de calor latente (LE) como resíduo na equação do balanço de energia no momento da passagem do satélite:

$$LE = R_n - H - G \quad (1)$$

onde todos os termos da Equação 1 podem ser expressos em $W m^{-2}$ ou em $MJ m^{-2} dia^{-1}$.

O saldo de radiação de ondas curtas disponível na superfície depende da radiação global solar incidente (RG) e do albedo da superfície (α_0). O primeiro parâmetro foi medido na estação agro-meteorológica. O segundo componente do balanço de radiação foi calculado através das radiações espectrais com as bandas do Landsat na região do visível aplicando-se expressões matemáticas para a integração espectral e correções atmosféricas através de regressões com medições de campo. A radiação de ondas longas emitida ($RL\uparrow$) foi estimada usando a equação de Stefan-Boltzmann com a emissividade da superfície (ϵ_0) modelada em função do $NDVI$ e a temperatura de superfície (T_0) adquirida pelo satélite após correções utilizando-se regressões com resultados de balanços de energia em campo. A radiação de ondas longas incidente ($RL\downarrow$) foi calculada usando a equação de Stefan-Boltzmann e a emissividade atmosférica (ϵ_a) modelada em função da transmissividade atmosférica e dados da temperatura do ar (T_a) provenientes da estação agro-meteorológica (Teixeira et al., 2009). G foi então obtido pela razão G/R_n em função do albedo (Teixeira, 2010) e H foi estimado iterativamente através dos gradientes de temperatura próximos a superfície (ΔT). O algoritmo SEBAL computa ΔT através do seu relacionamento linear com T_0 , e os coeficientes desta relação são adquiridos depois de um procedimento interno da calibração, usando dois pixels de referência em que valores para H podem ser obtidos em uma área seca e outra área úmida.

Para extrapolação dos valores instantâneos em diários da ET utilizou-se a fração evaporativa (Teixeira et al. 2009):

$$ET_{24} = 1,18EF_{inst}Rn_{24} \quad (2)$$

onde ET_{24} e Rn_{24} são a evapotranspiração atual e o saldo de radiação para o período de 24 horas e 1,18 é um coeficiente de correlação. A EF_{inst} representa os valores instantâneos

passagem do satélite Landsat. Rn_{24} foi calculado através do albedo (α_{024}), da radiação solar global (RG_{24}) e da transmissividade atmosférica (τ_{sw24}) (Teixeira et al., 2008b).

As frações evaporativas para escalas instantâneas e diárias são calculadas pela seguinte equação:

$$EF_{inst,24} = \frac{LE_{inst,24}}{Rn_{inst,24} - G_{inst,24}} \quad (3)$$

onde os subscritos *inst* e *24* significam fluxos instantâneos e diários, respectivamente. G_{24} é muito pequeno e pode ser considerado zero.

Seguindo Allen et al. (2007), os valores da *ET* para os ciclos produtivos generalizados (subscrito *CP*) foram calculados por:

$$ET_{CP} = \left(\frac{ET_{24}}{ET_{024}} \right)_{média} ET_{0CP} \quad (4)$$

Para as estimativas da resistência aerodinâmica (r_a) e da superfície (r_s), utilizaram-se os modelos desenvolvidos por Teixeira (2010):

$$r_a = 0,22 z_{0h}^{-1} + 29,5 \quad (5)$$

$$r_s = \exp \left[0,04 \left(\frac{T_0}{\alpha_0} \right) (1 - NDVI) + 2,72 \right] \quad (6)$$

onde z_{0h} é o comprimento de rugosidade para o transporte de calor e *NDVI* foi obtido das bandas 3 e 4 do satélite Landsat.

A umidade do solo na profundidade de 60 cm, onde se encontra a grande maioria das raízes das mangueiras foi estimada através de sua relação com r_s (Teixeira et al., 2008a,b):

$$\theta_{60} = -0,001r_s + 0,37 \quad (7)$$

Os valores da produção de biomassa (*BIO*) para dois ciclos produtivos representativos da cultura da mangueira foram obtidos por:

$$BIO_{CP} = (\varepsilon_{max} EF_{24} RFA_{abs24} 0,864) (kg ha^{-1}) \quad (8)$$

onde RFA_{abs24} é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas no pomar de mangueiras para o período diário, ε_{max} é a máxima eficiência no uso da luz, a qual varia com a condição de umidade do solo representada na equação por EF_{24} (Bastiaanssen e Ali, 2003).

Com os dados de produção de mangas da variedade Tommy Atkins da fazenda de Fruitfort em parcela experimental, foi encontrado o valor de 0.83 para o índice de colheita (*IC*) e então aplicado na estimativa da produção (Y_{CP}) e o resultado usado na estimativa da eficiência de uso da água (*EUA*).

$$EUA = \frac{Y_{CP}}{ET_{CP}} \text{ (kg m}^{-3}\text{)} \quad (9)$$

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta a variação espacial de Rn_{24} na fazenda Fruitfort em Petrolina-PE, para três épocas do ano, envolvendo diferentes condições térmicas e de umidade do solo.

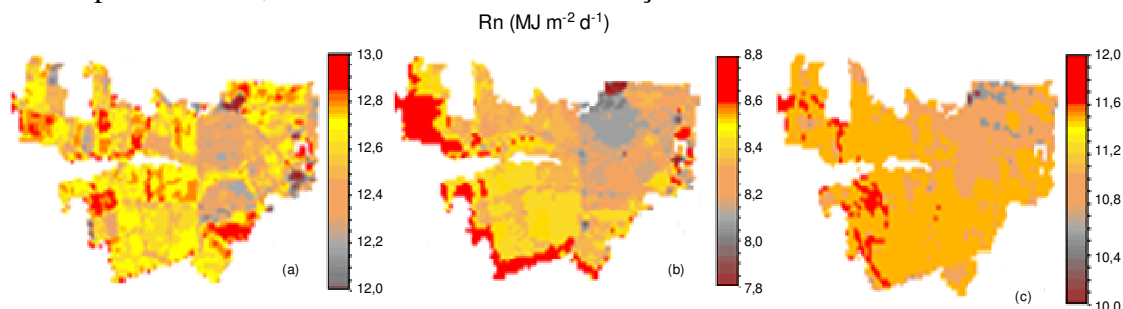


Figura 1. Distribuição espacial do saldo de radiação diário (Rn_{24}) na fazenda Fruitfort em Petrolina-PE, Brasil: para o período seco de novembro de 2005 (a); para o final do período chuvoso em julho de 2006 (b); e para o período chuvoso de janeiro de 2007 (c).

Rn_{24} representou em média 45, 44 e 48 % de RG_{24} nos dias 16 de novembro de 2005, 30 de julho de 2006 e 22 de janeiro de 2007, respectivamente. Valores mais elevados da radiação líquida são verificados na época em que o sol apresenta-se na posição zenital (outubro-novembro) e em condições de baixa nebulosidade (Figura 1a), enquanto os menores acontecem nos períodos em torno do solstício de inverno no hemisfério sul (Figura 1b). Proporções menores de RG_{24} transformadas em Rn_{24} acontecem em condições de menor disponibilidade térmica (Figura 1b) e maiores para períodos de elevada umidade do solo (Figura 1c). A proporção média de Rn_{24} sendo em torno de 46% de RG_{24} (Teixeira et al., 2008b) confirma medições realísticas do balanço de radiação com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto e medições de campo.

De posse dos valores de EF_{inst} e Rn_{24} , LE_{24} foi obtidos (Teixeira et al., 2009) e então os valores de H_{24} estimados por resíduo na Equação 1. Embora as diferenças nas proporções de RG_{24} como energia disponível não sejam tão significantes para períodos distintos do ano, as diferenças na partição desta energia em LE_{24} e H_{24} são maiores, dependendo mais fortemente das fases fenológicas dos pomares e das condições de umidade do solo (Figura 2).

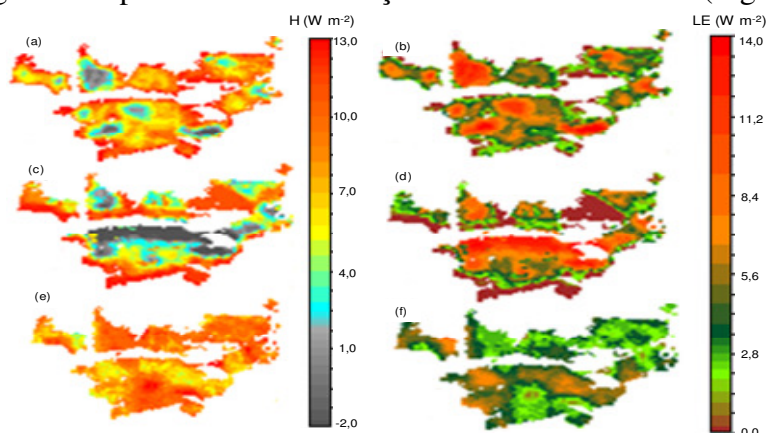


Figura 2. Distribuição espacial dos fluxos diários de calor sensível (H_{24}) e latente (LE_{24}), respectivamente, na fazenda Fruitfort em Petrolina-PE, Brasil: para o período seco de novembro de 2005 - (a) e (b); para o final do período chuvoso em julho de 2006 - (c) e (d); e para o período chuvoso de janeiro de 2007 - (e) e (f).

Considerando-se todos os pomares de mangueira da fazenda Fruitfort; em 16 de novembro de 2005, H_{24} foi em média $6,8 \pm 3,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ enquanto que para LE_{24} o valor médio foi de $5,9 \pm 3,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ indicando proporções médias de 54 e 46% de Rn_{24} , respectivamente (Figuras 2a e 2b). Os baixos valores de LE_{24} neste período devem-se ao fato de grande parte dos pomares encontra-se na fase de transição da colheita e pós-colheita do ciclo produtivo anterior. Percebem-se algumas áreas com advecção de calor sensível provenientes da vegetação natural mais seca nesta época do ano (Figura 2a).

Em 30 de julho de 2006, ambos os fluxos foram inferiores que em 16 de novembro de 2005, sendo o valor médio para H_{24} de $3,4 \pm 2,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e para LE_{24} de $5,0 \pm 2,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, porém as proporções médias com relação a Rn_{24} foram mais baixas para H_{24} , de 41%, e maiores para LE_{24} , em torno de 60%, com relação ao período mais quente de novembro (Figuras 2c e 2d). Nesta época do ano, a maioria dos pomares se encontra na fase de crescimento das mangas. Pode-se perceber pela Figura 2c, que neste período do ano há mais advecção de calor pela maior abrangência dos valores negativos de H_{24} , aumentando os valores de LE_{24} nas referidas áreas, com relação a novembro (ver Figuras 2a, 2b, 2c e 2d).

Os fluxos para as condições mais úmidas do ano estão representadas pelo dia 22 de janeiro de 2007 (Figuras 2e e 2f). Apesar de esse período ser mais chuvoso, devido à posição do sol aproximando-se novamente da posição zenital, ocorrem elevadas taxas de H_{24} , em torno de $7,7 \pm 0,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Por outro lado, o fluxo médio de LE_{24} é o menor do ano ($3,7 \pm 1,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), visto que o gerente para a irrigação visando aproveitar a água precipitada nesta época do ano. Mesmo que a maioria dos pomares esteja na fase de maturação dos ramos, com o solo arenoso e após certo período da ocorrência das chuvas, ocorrem casos de deficiência hídrica, pois a água precipitada é drenada para o lençol freático (Teixeira et al., 2008a). Devido à uniformidade das condições hídricas neste período do ano, ambos H_{24} e LE_{24} apresentam os menores desvios padrões e as proporções dos fluxos com relação a Rn_{24} são invertidas, maiores para H_{24} , em torno de 68%, e menores para LE_{24} , em torno de 32% sem ocorrência de advecção de calor sensível (Figuras 2e e 2f).

A Figura 3 apresenta a variação espacial das resistências ao fluxo de vapor d'água aerodinâmica (r_a) e da superfície (r_s) na fazenda Fruitfort em Petrolina-PE, para diferentes condições fenológicas e de umidade do solo em pomares de mangueira.

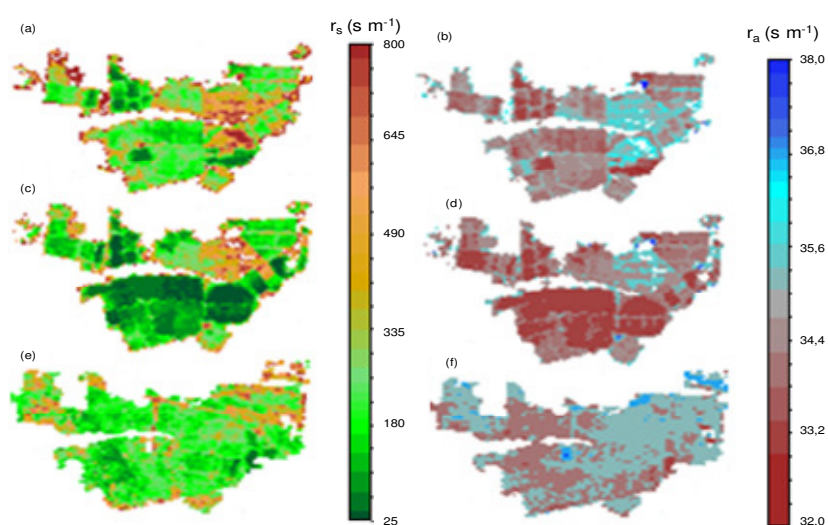


Figura 3. Distribuição espacial das resistências da superfície (r_s) e aerodinâmica (r_a), respectivamente, na fazenda Fruitfort, em Petrolina-PE, Brasil: para o período seco de novembro de 2005 - (a) e (b); para o final do período chuvoso em julho de 2006 - (c) e (d); e para o período chuvoso de janeiro de 2007 - (e) e (f).

Durante o período mais seco, representado pela a imagem de 16 de novembro de 2005 o valor médio de r_s foi de $194,7 \pm 65,5 \text{ s m}^{-1}$ e o de r_a de $34,1 \pm 0,5 \text{ s m}^{-1}$ (Figuras 3a e 3b). No período logo após as chuvas, representado pela imagem de 30 de julho de 2006, o valor médio de r_s foi de $122,0 \pm 75,4 \text{ s m}^{-1}$ e o de r_a de $33,0 \pm 0,6 \text{ s m}^{-1}$ (Figuras 3c e 3d). Já no período chuvoso (imagem de 22 de janeiro de 2007), os valores médios são de $215,0 \pm 46,4 \text{ s m}^{-1}$ e $34,5 \pm 2,9 \text{ s m}^{-1}$ (Figuras 3e e 3f).

Os efeitos das condições térmicas são evidenciados pelos maiores valores de r_s em novembro e janeiro, entretanto maior uniformidade ocorre em janeiro de acordo com o menor desvio padrão. O aumento de r_s com déficits de pressão do vapor (D) mais elevados tem sido reportado por Testi et al. (2006) em oliveiras na Espanha. Rana et al. (2005) confirmam que r_s depende da secura do ar, mas também varia com a energia disponível para a cultura. Teixeira et al (2008b) apresentaram boa correlação entre D e a umidade do solo (θ) com r_s em videiras e mangueiras irrigadas na região semiárida do Rio São Francisco no Brasil. Com relação a r_a , percebe-se maior uniforme pelos valores médios variando em torno de 34 s m^{-1} com pequenos desvios padrões, sob diferentes condições ao longo do ano. Os valores relativamente baixos de r_a com relação à superfície da grama como referência são atribuídos as alturas e arquiteturas das plantas de mangueira (Teixeira et al., 2008a).

Como as resistências aos fluxos de vapor d'água estão relacionadas com as condições térmicas e hídricas, podendo ser obtidas em larga escala, destaca-se como grande aplicabilidade, a modelagem da ET com a utilização da equação de Penman-Monteith (Teixeira, 2010) bem como da umidade do solo, dando suporte a análises do balanço hídrico em escala regional.

Os valores modelados para a umidade do solo com aplicação da Equação 7 na profundidade de 60 cm (θ_{60}) em épocas distintas do ano na fazenda Fruitfort são apresentados na Figura 4. θ_{60} se apresentou bastante variável, sendo em média $0,21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em 16 de novembro (Figura 4a); $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em 30 de julho de 2006 (Figura 4b); e $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em 22 de janeiro de 2007 (Figura 4c).

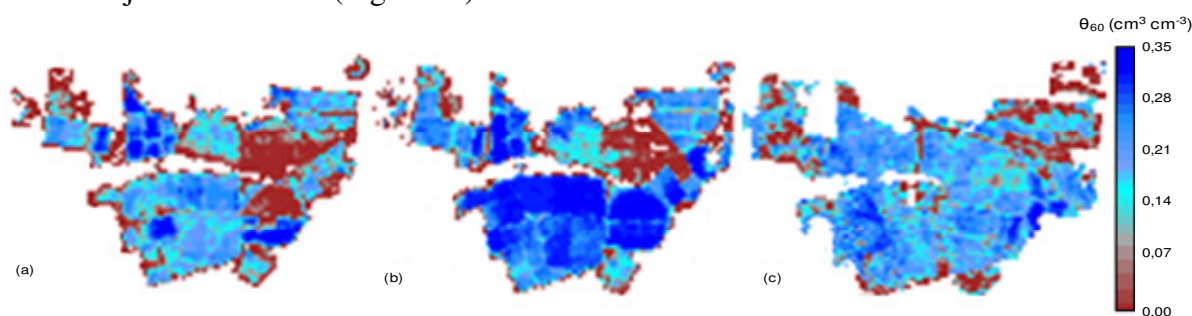


Figura 4. Distribuição espacial da umidade do solo na profundidade de 60 cm (θ_{60}), na fazenda Fruitfort, em Petrolina-PE, Brasil: para o período seco de novembro de 2005 (a); para o final do período chuvoso em julho de 2006 (b); e para o período chuvoso de janeiro de 2007 (c).

Embora a variação espacial seja grande, percebe-se uma maior área com valores acima de $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no período logo após a estação chuvosa, quando o gerente hídrico volta a irrigar e os pomares geralmente se encontram na fase de crescimento dos frutos (Figura 4b). Durante o período chuvoso os valores de θ_{60} das parcelas de mangueira e da caatinga ao redor são similares, pois as precipitações umedecem a zona radicular de ambos os tipos de vegetação e ocorre uma parada na irrigação.

A Figura 5 apresenta mapas dos totais da ET , da BIO e da EUA para dois ciclos produtivos generalizados dos pomares de mangueira com chuvas acima (2003-04) e abaixo (2004-05) da normal climatológica em Petrolina-PE. O período de 2003 a 2004 foi considerado como chuvoso, enquanto o de 2004 a 2005 foi assumido como seco (Teixeira et al. 2009).

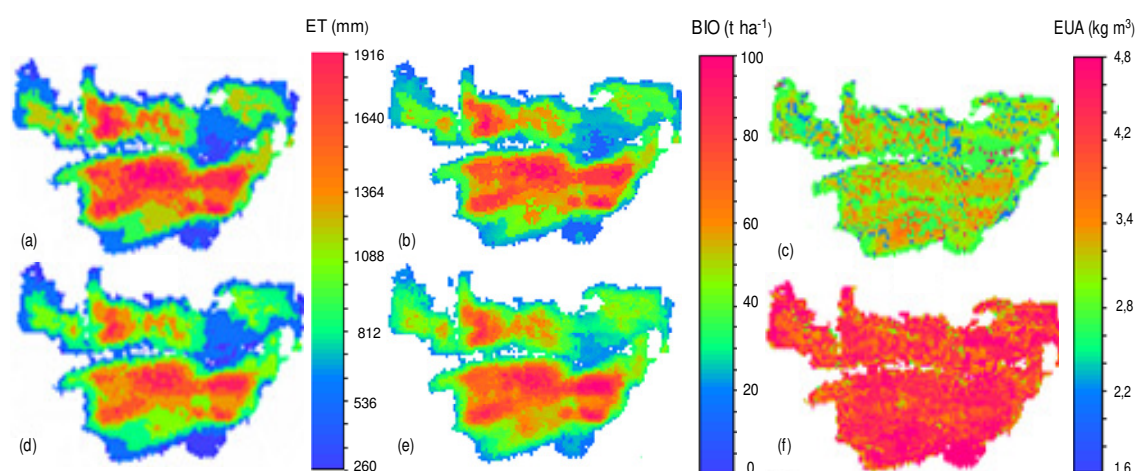


Figura 5. Mapas da evapotranspiração (ET), produção de biomassa (BIO) e eficiência do uso da água na fazenda Fruitfort, em Petrolina-PE, para ciclos produtivos de pomares de manga durante o período de 2003-04: (a), (b) e (c) e de 2004-05: (d), (e) e (f).

Os valores totais médios da ET para o período do ciclo produtivo de 2003-04 estiveram entre 1200 mm, e 1099 mm para o ciclo de 2004-05 (Figuras 5a e 5d). Considerando-se ambos os ciclos as taxas diárias se concentraram entre 1,5 a 3,5 mm d^{-1} . Os valores maiores aconteceram no ciclo de 2003-04, devido às grandes quantidades de precipitação que ocorreram no início de 2004. A quantidade anual de chuvas neste último ano foi de 720 mm enquanto que em 2005 foi apenas de 337 mm, sendo a normal climatológica em Petrolina-PE em torno de 570 mm ano^{-1} .

Embora os valores da BIO tenham sido similares para ambos os períodos, pois fora da estação chuvosa ocorrem elevados valores de RG para a atividade fotossintética, taxas da BIO acima de 70 t ha^{-1} ocorreram no período de 2003-04 devidos às chuvas em abundância no início de 2004 (Figuras 5b e 5e).

Considerando ambos os períodos, a maioria dos valores da EUA no período de 2003-04 esteve entre 2,2 e 3,8 kg m^{-2} (95%), apresentando um coeficiente de variação de 31%. Para o período de 2004 a 2005 os valores ficaram entre 3,4 a 5,9 kg m^{-3} (97%) com um coeficiente de variação de 16%. A diferença entre os dois períodos pode ser atribuída ao estresse hídrico mais prolongado durante a fase de florescimento no período de 2003-04. (Figuras 5c e 5f)

4. Conclusões

Devido à importância para o manejo de água em fruteiras irrigadas, parâmetros biofísicos relacionados com o consumo hídrico de pomares comerciais de manga foram obtidos com a utilização de imagens de satélites e dados agro-meteorológicos. Os resultados apresentados neste trabalho são importantes para o manejo de irrigação, alocação de água, economia de água e sustentabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

Devido à grande rugosidade da cultura, a resistência aerodinâmica, em torno de 35 s^{-1} se apresenta uniforme ao longo do ano, em contraste com a resistência da superfície, a qual variou até 57% entre o período de valores mais baixos (média de 122 s^{-1}) em julho e mais altos em janeiro (em torno de 215 s^{-1}), quando neste último período há uma parada na irrigação. Devido à clara variação da resistência da superfície com as condições de umidade do solo, um modelo baseado nos valores desta resistência e da umidade na região de 60 cm de profundidade foi aplicado para diferentes condições térmicas e hídricas do ano, constatando-se maiores valores em torno de 0,27 $cm^3 cm^{-3}$ no mês de julho, enquanto que as menores médias de 0,16 $cm^3 cm^{-3}$ ocorrem em janeiro, quando com a parada de irrigação as chuvas

proporcionam condições de umidade similares entre os pomares irrigados e a vegetação natural.

Com a aplicação do balanço de energia através do modelo SEBAL calibrado localmente obteve-se a evapotranspiração atual na escala de fazenda para dois ciclos produtivos com diferentes condições pluviométricas. O valor total médio para um ciclo produtivo, de 1150 mm, foi bem mais elevado que para culturas anuais, sendo, porém as taxas diárias entre 1,5 a 3,5 mm d⁻¹. Com a obtenção do índice de colheita e da modelagem da produção de biomassa foi possível a estimativa da eficiência do uso da água. Considerando-se dois ciclos com diferentes quantidades de chuvas, 95% dos valores no período de 2003-04 estiveram entre 2,2 e 3,8 kg m⁻³, enquanto que para o período mais seco de 2004 a 2005, 97 % os valores foram entre 3,4 a 5,9 kg m⁻³. A diferença entre os dois períodos pode ser atribuída ao estresse hídrico mais prolongado durante a fase de florescimento no período de 2003-04.

As ferramentas testadas, baseadas em parâmetros obtidos com imagens de satélites e dados agro-meteorológicos, podem ser operacionalmente implantadas para o monitoramento do aumento das áreas irrigadas, principalmente com mangueiras que ocupam grandes áreas no Vale do Rio São Francisco, subsidiando caminhos para garantia da produtividade, ao mesmo tempo em que danos ambientais são minimizados em condições de rápida mudança de uso da terra.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela FACEPE (Fundação de Ciência e tecnologia do Estado de Pernambuco) como parte de um projeto sobre produtividade da água em bacias hidrográficas com rápida mudança de uso da terra.

Referências Bibliográficas

- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineer ASCE*, v. 133, p. 380-394, 2007.
- Bastiaanssen, W.G.M., Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 94, n. 3, p. 321-340, 2003.
- Rana, G., Katerji, N., Lorenza, F. de., 2005. Measuring and modelling of evapotranspiration of irrigated citrus orchard under Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 128, p. 199-209, 2005.
- Teixeira, A.H. de C.; Bastiaanssen, W.G.M.; Moura, M. S. B., Soares, J. M., Ahmad, M-ud-D, Bos, M. G. Energy and Water Balance Measurements for Water Productivity Analysis in Irrigated Mango Trees, Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 1524-1537, 2008a.
- Teixeira, A.H. de C. Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Moura, M.S.B., 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, 2008b.
- 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., W.G.M., Bastiaanssen, Ahmad, M-ud-D, Bos, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, p. 462-476, 2009.
- Teixeira, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. *Remote Sensing*, v. 2, p. 1287-1319, 2010.
- Testi, L., Orgaz F., Villalobos F.J. Variations in bulk canopy conductance of an irrigated olive (*Olea europaea L.*) orchard. *Environmental and Experimental Botany*, v. 55, p. 15-28, 2006.