

Avaliação temporal e espacial do balanço de energia na microbacia do córrego do Ipê, no município de Ilha Solteira face a mudança de uso do solo

Diego Gonçalves Feitosa^{1,2}
Fernando Braz Tangerino Hernandez¹
Renato Alberto Momesso Franco³
Antonio Heriberto de Castro Teixeira⁴

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP Ilha Solteira
Avenida Brasil, 56 - Ilha Solteira - SP, Brasil,
²diegogfeitosa@yahoo.com.br, ¹fbthtang@agr.feis.unesp.br

³Associação de Ensino e Cultura do Mato Grosso do Sul - AEMS
Avenida Ponta Porã, 2750 - Três Lagoas - MS, Brasil, bioramfranco@yahoo.com.br

⁴EMBRAPA - Monitoramento por Satélite
Caixa Postal 515 - 12245-970 - Campinas - SP, Brasil
heriberto.teixeira@embrapa.br

Abstract

The region of Ilha Solteira, which is a municipality located in the northwest of São Paulo state, has been undergoing significant changes in agricultural land use and land cover since 2006, as pasture fields have been replaced by sugarcane plantations. This drastic change can lead to a disturbance in the energy balance, which can also affect the local climate. In this context, the main aim of this paper is to assess some parameters related to the energy balance of the Córrego do Ipê, which is a watershed located in the Ilha Solteira county. This study has been carried out using remote sensing techniques together with the SAFER algorithm applied to 9 images collected between 2003 and 2011. The results show that the values of E_{tr} , H/R_n , TS , and surface albedo increased after the plantation sugarcane production over these years. On the other hand, the $NDVI$ and $\lambda E/R_n$ values (data) decreased in the same period. The change in these parameters can be addressed to the expansion of sugarcane fields in the region of Ilha Solteira.

The values of ET_a , H/R_n , $\lambda E/R_n$ and T_0 , observed separately for targets of green cane, harvested sugarcane, pasture and urban area in the period 2007-2011, show that the green cane showed the highest values of ET_a and $\lambda E/R_n$ and smaller for H/R_n and T_0 , demonstrating that areas of green cane differ from other targets, influencing the energy balance of the watershed of the Córrego do Ipê.

Palavras-chave: sugar cane, radiation, temperature, evapotranspiration, cana-de-açúcar, saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível

1. Introdução

As mudanças climáticas podem causar alterações no zoneamento agrícola, chegando a levar certas culturas a migrarem de tradicionais regiões produtoras, por melhores condições climáticas (Moraes et al., 2011). Porém, pouco vem sendo estudado sobre as mudanças climáticas que podem ocorrer em uma região, com a entrada em longas áreas contínuas de uma determinada cultura.

Esse comportamento de mudança de uso da terra também foi observado por Santos e Hernandez (2013) em toda a área da microbacia do Córrego do Ipê, com o cultivo da cultura de cana-de-açúcar que representou 48,1% de toda a área da microbacia. A cultura iniciou na região de Ilha Solteira desde 2006, em áreas que antes eram predominantemente de pastagens, as quais, de acordo com Freitas-Lima et al. (2004), ocupavam no ano de 2003, uma extensão territorial de 432,28 Km², representando 66,79% da área municipal. Palla et al. (2011) corroboram com essa informação e mostram que de apenas 68 hectares na safra 2004/2005, a cana-de-açúcar passou a 14.714 hectares em 2009, cultivada em áreas que antes se encontravam com pastagem.

O uso do sensoriamento remoto através de imagens de satélite vem se demonstrando uma ferramenta muito interessante para a quantificação do balanço de energia. Desta forma imagens de satélites de diferentes resoluções têm sido utilizadas para a obtenção de informações de áreas extensas (Compaoré et al., 2008).

Neste contexto muitos trabalhos foram desenvolvidos nestes últimos anos, inclusive na própria região de estudo, utilizando o Algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL (Teixeira et al., 2009; Teixeira, 2010), porém este algoritmo exige a presença de condições hidrológicas extremas dentro da cena, podendo levar a uma menor precisão dos dados, caso o operador não possua a prática necessária no momento da escolha dos pixels quente e frio, especialmente em época chuvosa, quando ocorrem valores de fluxo de calor latente similares na imagem. Dessa forma, optou-se para a realização deste trabalho a utilização do *Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving* - SAFER (Teixeira et al., 2012; Hernandez et al, 2014 e Teixeira et al, 2014), que possui uma aplicação mais simples, necessitando apenas dos dados de evapotranspiração de referência (ET₀), radiação global (R_g) e temperatura média do ar (T_a) obtidos através de estações agrometeorológicas para juntamente com os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, chegar ao balanço de energia incluindo a evapotranspiração atual (ET_a).

O objetivo deste trabalho foi analisar a variação espacial e temporal dos componentes que compõem o balanço de energia na microbacia do Córrego do Ipê, ao longo do período de 2003 a 2011 para o período seco, buscando identificar interferências com a mudança de uso da terra ocorrida com a entrada da cultura da cana de açúcar.

2. Material e Métodos

O balanço de radiação e energia foi realizado para a área da microbacia do Córrego do Ipê, localizada no município de Ilha solteira, na região Noroeste do Estado de São Paulo, perfazendo uma área de 5.044 hectares, correspondente a 7,68% da extensão territorial do município (Santos e Hernandez, 2013).

No balanço de radiação e energia foram utilizadas nove imagens *Landsat Thematic Mapper* TM-5, com órbita 222 e ponto 74, adquiridos em condições de céu claro para o período de 2003 a 2011. A escolha das imagens foi definida de acordo com o mesmo período hidrológico, obtidas entre os meses de junho e agosto, períodos de déficit hídrico na região (Damião et al., 2010 e Santos et al., 2010)

A evapotranspiração de referência (ET₀) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), a radiação global (R_g) e temperatura média do ar (T_a) foram obtidas através da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista - Estações Ilha Solteira e Marinópolis - (Unesp, 2013). Em seguida, os dados foram interpolados pelo método Moving Average e posteriormente inseridas no algoritmo utilizado para obtenção da evapotranspiração atual (ET_a) e no balanço de radiação e energia.

O SAFER foi aplicado com o software ILWIS (*Integrated Land Water Information System*) na função script, segundo a metodologia de Teixeira (2010). Inicialmente correções atmosféricas foram realizadas com posterior conversão da radiância espectral (Chander e Markham, 2003; Chander, et al., 2009). Os dados de albedo de superfície (α₀), temperatura de superfície (T₀) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), são utilizados para se calcular os valores instantâneos da relação ET/ET₀ (Equação 1), onde para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 (Hernandez et al., 2014) e o coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010) correspondendo ao valor de -0,008. Em seguida os valores instantâneos dessa relação são então multiplicados pelos valores diários da ET₀, chegando assim à ET_a.

$$\frac{ET_a}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

Os valores de fluxo de calor latente (λE) foram obtidos através da conversão da ETa em unidades de energia, posteriormente os valores de H (fluxo de calor sensível) foram determinados como resíduo do balanço de energia, assumindo-se para isso que os valores do fluxo de calor no solo (G) correspondem a 0 para o período de 24 horas:

$$H = R_n - \lambda E \quad (2)$$

Após a obtenção das imagens, estas foram importadas no software Arc Gis@10, onde foram obtidos os valores médios dos parâmetros biofísicos que compõem o balanço de energia para a área total da microbacia do córrego do Ipê. Os valores médios de ETa, $\lambda E/R_n$, H/Rn e temperatura de superfície, também foram obtidos separadamente para quatro classes de uso do solo, sendo elas a zona urbana, pastagem, cana verde e cana colhida, onde as áreas de zona urbana e pastagens foram identificadas através de uma composição natural Red, Green e Blue (RGB) respectivamente para as bandas 3, 2 e 1, já as áreas de cana-de-açúcar foram identificadas e quantificadas através dos dados do Canasat (Rudorff et al., 2010; Adami et al., 2012), chegando assim na área de interesse dentro da microbacia (Tabela1). As áreas de cana-de-açúcar foram então divididas em cana verde, que corresponde as áreas em estágio adulto e cana colhida, recém plantadas e/ou que estão em fase de preparo.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão as datas das imagens, a evolução da área total cultivada com cana-de-açúcar, a área de cana em estágio adulto (caracterizado pela cobertura do solo) e a relação entre esta área de cana ainda não colhida pela área total, verificando-se que esta começou a ser cultivada na microbacia do Córrego do Ipê a partir de 2007, com uma área total de 326,78 hectares, sendo que desta, 90% estava ocupada com a cultura já em estágio adulto. No ano seguinte, a cana sofreu um aumento acima de 500%, chegando a 1.823,98 hectares, já em 2009, a expansão foi de apenas 347,21 hectares, chegando a um total de 2.171,19 hectares, área esta que permaneceu estável nos dois anos seguintes.

Tabela 1. Dia juliano e ano da imagem (D.J./Ano), Área Total - AT (hectares), Estágio Adulto-EA (hectares) e EA/AT para a cultura da cana-de-açúcar na microbacia do Córrego do Ipê no município de Ilha Solteira - SP.

D.J./Ano	Área Total - AT (ha)	Estágio Adulto - EA (ha)	EA/AT
174/2003	0,00	0,00	0,00
209/2004	0,00	0,00	0,00
195/2005	0,00	0,00	0,00
198/2006	0,00	0,00	0,00
185/2007	326,78	295,39	0,90
204/2008	1.823,98	497,00	0,27
238/2009	2.171,19	1.348,22	0,62
241/2010	2.166,34	1.273,79	0,59
196/2011	2.164,08	669,01	0,31

As imagens utilizadas na identificação das áreas de cana-de-açúcar coincidem com o período de colheita, proporcionando assim uma variação na área ocupada pela cultura, onde ocorre a presença de áreas com cana em estágio adulto (EA) e de áreas de palhada (pós-colheita) ou em fase de brotação. Na imagem de 2008, menos de 30% da área de cana, estava em estágio adulto, o que compromete a diagnose da influência real da cultura da cana nos componentes do balanço de radiação e energia na microbacia.

Observando os dados de ETa e NDVI, verifica-se que estes apresentaram diminuição nos valores ao longo dos anos, com exceção aos dos anos de 2003 e 2005, e para NDVI em 2003, que se encontram acima da média (Tabela 2). Os altos valores encontrados para ETa e NDVI nestes anos, justificam-se pelos elevados resultados da relação ETa/ET_0 - que também pode ser chamado de coeficiente de cultura, mas sempre referido como obtido a partir das condições ótimas, sem restrição de água (Allen et al, 1998) - em torno de 0,55 e 0,35 para 2003 e 2005, respectivamente, enquanto a média para todo o período foi de 0,21 (Tabela 2). Por sua vez o alto valor de ETa/ET_0 nestes anos, deve-se pela provável presença de umidade no solo, comprovada pela redução do fluxo de calor latente e radiação líquida de 0,54 em 2003 e de 0,52 em 2005, demonstrando que a maior parte do saldo de radiação foi utilizado no processo de evapotranspiração.

Considerando-se todas as imagens, a média de ETa foi de 0,79 mm dia⁻¹, porém, ao separar as médias para os períodos de 2003 a 2006 e de 2007 a 2011, foram de 1,04 e 0,59 mm dia⁻¹ respectivamente. Esse comportamento da ETa é justificado pela Figura 3, pelos valores de NDVI, conclusão esta que fica evidente ao se verificar a correlação entre estas variáveis, que apresentou um R^2 de 0,59, influenciado negativamente pelo ano de 2005, que apresentou uma diferença entre NDVI e ETa muito superior as obtidas nos demais anos.

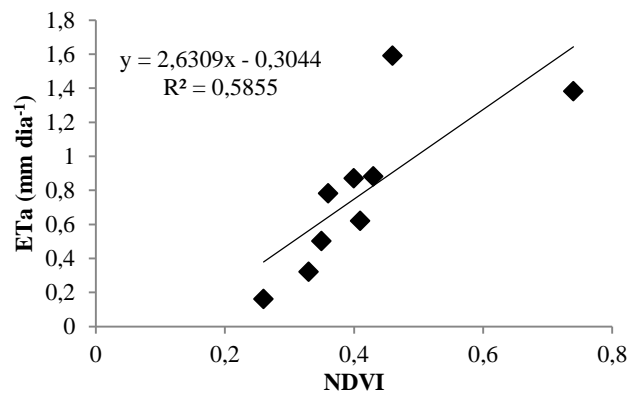


Figura 1. Correlação entre ETa e NDVI

O NDVI apresentou uma média para o período de 0,42 e ao separá-lo em antes e depois da entrada da cana-de-açúcar, a média respectivamente passou a ser de 0,49 e 0,36, valores que se devem pela ocorrência de áreas recém plantadas juntamente com áreas de colheita, que diminui o valor médio de NDVI na microbacia do Córrego do Ipê.

Os dados de ETa/ET_0 apresentados na Tabela 2, demonstram que houve uma diminuição do coeficiente de cultivo (K_c), onde a média para o período de 2003 a 2006 foi de 0,28, enquanto que de 2007 a 2011, compreendida ao período de implantação da cana-de-açúcar na região, reduziu para 0,14. Este comportamento mostrou-se contrário ao esperado, tendo em vista que segundo Alencar et al. (2009), o K_c utilizado para a irrigação em pastagem é de 0,80; enquanto segundo Dalri e Cruz (2008) a cana-de-açúcar apresenta K_c superior a 0,80 a partir dos 91 dias de idade, o que levaria a se esperar um valor de ETa/ET_0 médio maior após a entrada da cana.

Contudo, a cana cultivada na área de estudo não foi irrigada e os coeficientes de cultura, via de regra, são determinados em condições ótimas de umidade no solo e representando a condição potencial, já os valores relatados neste trabalho são os atuais ou reais, representando a condições de restrição hídrica que o solo se encontrava na passagem do satélite. Também o resultado obtido é justificado pela interferência das áreas de colheita e de exposição do solo dentro das áreas de cana.

Para os dois períodos ainda foram encontrados nos anos de 2006 e 2010, os valores mais baixos para o período avaliado, respectivamente 0,08 e 0,04, decorrente a baixa umidade do

solo, quem em 2010, teve como base a imagem captada após 113 dias sem chuvas maiores que 10 mm (Tabela 2). Em 2006, a imagem utilizada foi a de 15 dias após uma chuva de 10,2 mm. No entanto, anteriormente a essa, a região se encontrava com 41 dias sem precipitação, o que demonstra que os 10,2 mm não foram suficientes para garantir a umidade ideal no solo na data da imagem.

Tabela 2. Dia juliano e ano da imagem (D.J./Ano), relação ETa/ET_0 , evapotranspiração atual (ETa) e NDVI, relação entre fluxo de calor sensível e radiação líquida (H/Rn), relação entre fluxo de calor latente e radiação líquida ($\lambda E/Rn$), temperatura de superfície (TS), Albedo de Superfície (α_0), Dias sem Chuva superior a 10 mm - DSC e precipitação da última chuva (mm) - PUC para a microbacia do córrego do Ipê

D.J./Ano	(ETa/ET_0)	ETa (mm dia ⁻¹)	NDVI	H/Rn	$\lambda E/Rn$	TS (°K)	(α_0)	DSC	PUC (mm)
174/2003	0,55	1,38	0,74	0,46	0,54	295,07	0,14	18	17,0
209/2004	0,21	0,88	0,43	0,77	0,23	295,65	0,17	45	10,2
195/2005	0,35	1,59	0,46	0,48	0,52	299,70	0,17	16	11,4
198/2006	0,08	0,32	0,33	0,90	0,10	300,46	0,17	15	10,2
185/2007	0,17	0,62	0,41	0,77	0,23	301,63	0,17	42	53,3
204/2008	0,18	0,78	0,36	0,71	0,29	306,16	0,17	54	35,8
238/2009	0,18	0,87	0,40	0,81	0,19	300,41	0,17	6	58,9
241/2010	0,04	0,16	0,26	0,94	0,06	310,81	0,19	113	12,5
196/2011	0,11	0,50	0,35	0,81	0,19	303,59	0,18	36	50,3

Comportamento igual foi observado para a relação $\lambda E/Rn$, onde os valores também apresentaram um decréscimo de 45,7%, passando de uma média de 0,35 de 2003 a 2006, para uma média de 0,19 para o período de 2007 a 2011. Já os valores da razão de H para Rn, no mesmo período, apresentaram um acréscimo após o ano de 2007, passando de uma média de 0,65 para 0,81, em torno de 24,6%, sendo que os maiores valores foram encontrados em 2010, onde a relação chegou a 0,94 e 2006, com H/Rn chegando a 0,9 pela condição de solo seco nestas duas datas.

O ano de 2010 também apresentou maiores valores de T_0 para o período de avaliação com média de 310,81K (37,6°C), contribuindo para elevados valores de H/Rn, onde 94% do saldo de radiação foi utilizado no fluxo de calor sensível, o que segundo Franco et al. (2013), gera elevação da temperatura do solo, do ar e das plantas. Esta afirmação justifica o comportamento encontrado para os valores de temperatura de superfície (Tabela 2), onde este parâmetro apresentou uma média de 297,72 K (24,57°C) antes da implantação da cultura da cana-de-açúcar, passando para uma média de 304,52 K (31,37°C) após a entrada da cultura.

Gomes et al. (2009) também relacionou o aumento da T_0 com o aumento do albedo de superfície, comportamento semelhante ao encontrado na área da microbacia do Córrego do Ipê, juntamente com o aumento nos valores de TS, observa-se um acréscimo nos valores de α_0 (Tabela 2), que apresentou uma média de 0,17 para o período a avaliado, sendo o mínimo obtido de 0,14 em 2003 e máximos de 0,18 e 0,19, respectivamente para os anos de 2011 e 2010, comportamento esse que se deve a presença de áreas de colheita da cana-de-açúcar.

Outra forte relação entre o albedo e a temperatura de superfície, pode ser observada nas Figuras 2A e 2B que representam respectivamente as imagens de composição natural e mapas de T_0 da microbacia do Córrego do Ipê, onde as áreas com maiores valores de T_0 são as áreas ocupadas pela área urbana (região superior da imagem da microbacia) e as áreas com cana-de-açúcar, fora do estágio adulto, onde o albedo se torna maior devido a alta reflectância da palhada nas áreas recém-colhidas ou do solo exposto nas áreas recém-plantadas, áreas estas que podem ser identificadas pela coloração bem clara na composição natural (Figura 2A).

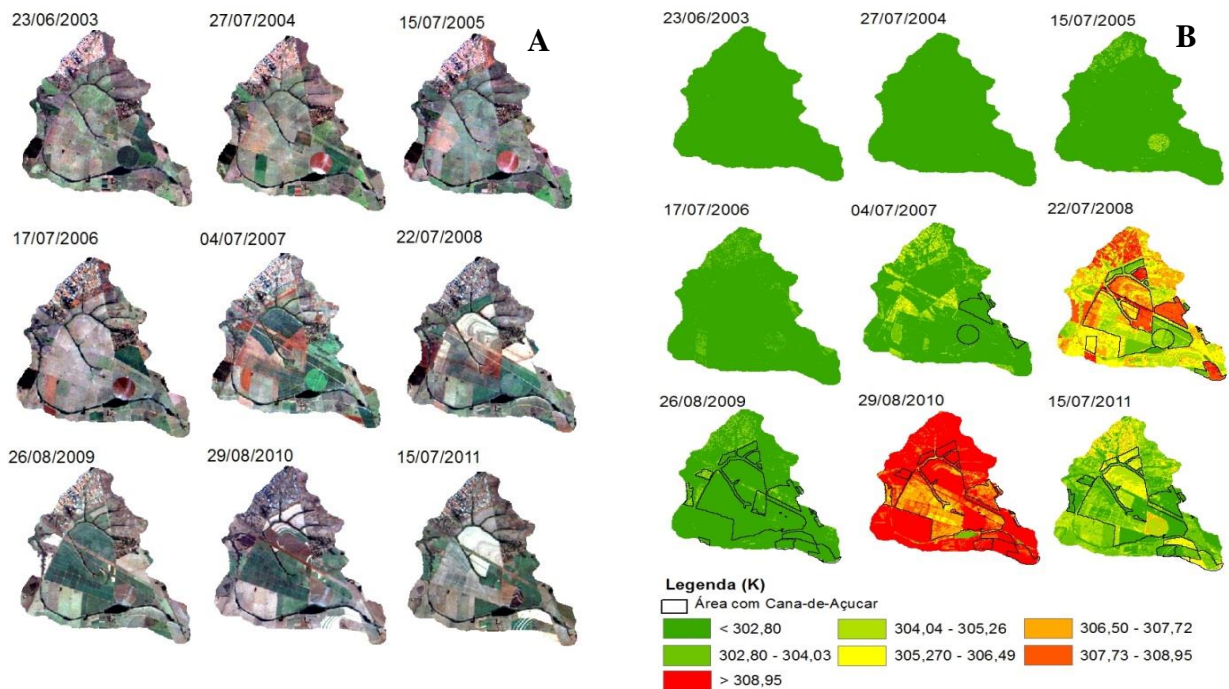


Figura 2. A - Composição natural da microbacia do Córrego do Ipê para as datas de obtenção das imagens de 2003 e 2011. B - Mapa de Temperatura de superfície para o período avaliado

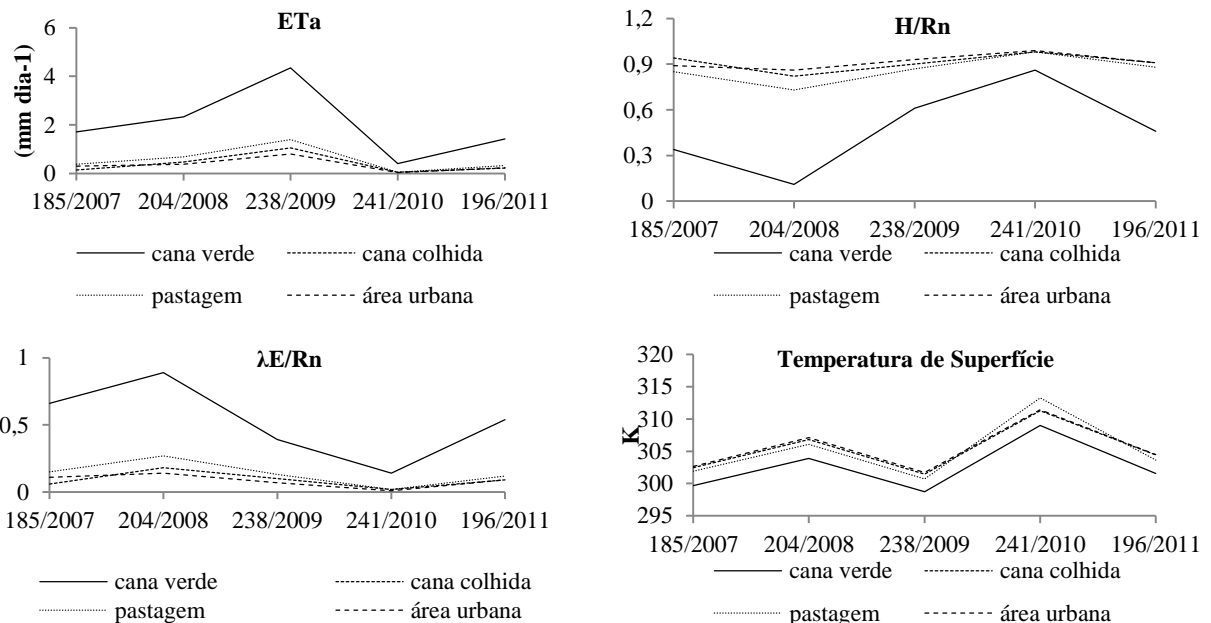


Figura 3. Valores médios de ETa, H/Rn, λE/Rn e temperatura de superfície, para as classes de cana verde, cana colhida, pastagem e área urbana, ao longo dos anos.

Observando-se os valores de ETa, H/Rn, λE/Rn e T_0 , separadamente para os alvos de cana verde, cana colhida, área urbana e pastagem para o período de 2007 a 2011, é possível observar que todos eles apresentam o mesmo comportamento, porém a cana verde mostrou os maiores valores de ETa e λE/Rn e os menores para H/Rn e T_0 (Figura 3), onde os maiores valores de ETa da cana-de-açúcar, demonstram que esta cultura apresenta valores de Kc maiores que a pastagem, o que confirmam os dados de Dalri e Cruz (2008) de Kc para a cana e de Alencar et al. (2009) para pastagem, o que confirma que os menores valores de Kc

encontrados para o período de 2007 a 2011 em relação ao período de 2003 a 2006 (Tabela 2), foram influenciados não somente pela cana-de-açúcar e pastagem, mas também pelas áreas de cana colhida e solo exposto, que apresentam características próximas a da pastagem.

Já os demais alvos apresentaram valores muito próximos entre si, demonstrando que as áreas de cana verde se diferem dos demais alvos, pela maior ETa e menor T₀, demonstrando que a entrada da cultura de cana-de-açúcar pode ter influenciado no balanço de energia da microbacia do córrego do Ipê.

4. Conclusões

Os dados de ETa, H/Rn, TS, e albedo de superfície, apresentaram um aumento em seus valores no período de 2007 a 2011, enquanto os dados de NDVI, λE/Rn apresentaram uma redução nos valores médios.

As áreas de cana verde apresentaram entre as áreas cana colhida, pastagem e área urbana, a maior ETa e menor temperatura de superfície, demonstrando que a entrada da cultura na microbacia pode ter influenciado o balanço de energia a partir de 2007.

Estes resultados demonstram a necessidade de um estudo com um número maior de imagens para se verificar com precisão, a interferência da entrada da cultura da cana-de-açúcar no balanço de energia no Córrego do Ipê, a fim de se obter uma menor influência das áreas de colheita da cana-de-açúcar nos valores médios da microbacia.

O modelo SAFER apresentou resultados satisfatórios para a região do Noroeste Paulista, porém recomenda-se a calibração regional para os coeficientes das equações relativas ETa/ET₀ com os parâmetros de sensoriamento remoto.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro através do projeto “Modelagem da Produtividade da Água em Bacias Hidrográficas com Mudanças de Uso da Terra” (Processo 2.009/52.467-4)

Referências Bibliográficas

Adami, M., Mello, M.P., Aguiar, D.A., Rudorff, B.F.T., Souza, A.F.D. A Web Platform Development to Perform Thematic Accuracy Assessment of Sugarcane Mapping in South-Central Brazil. **Remote Sensing**, Basel, v.4, p.3201-3214, 2012.

Alencar, C.A.B.; Cunha, F.F.; Martins, C.E.; Cóser, A.C.; Rocha, W.S.D.; Araújo, R.A.S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v.38, p.98-108, jul. 2009.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v.41, n.11, p.2674-2677, nov. 2003.

Chander, G.; Markham, B.; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing Of Environment**, Philadelphia, n. , p.893-903, 2009.

Compaoré, H.; Hendrickx, J. M.; Hong, S.; Friesen, J.; Giesen, N. . van de; Rodrigues, C.; Szarzynski, J.; Vlek, P.L.G. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.33, p.127-140, 2008.

Dalri, A.B.; Cruz, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524, jul/set. 2008.

Damião, J.O.; Hernandez, F.B.T.; Santos, G.O.; Zocoler, J.L. Balanço hídrico da região de ilha solteira, noroeste paulista. **In:** Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Uberaba, 2010. Disponível em: http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_damiaio.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2013.

Freitas-Lima, E.A.C.; Silva, H.R.; Altimare, A.L. Uso atual da terra no município de Ilha Solteira, SP, Brasil: riscos ambientais associados. **Holos Environment**, v.4, p.81-96, 2004.

Gomes, H.B.; Silva, B.B.; Cavalcanti, E.P.; Rocha, H.R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 2, p.153-164, 2009.

Hernandez, F.B.T.; Teixeira, A.H.C; Neale, C.M.U.; Taghvaeian, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of São Paulo State, Brazil. *Acta Horticulturae*, v. 1038, p. 263-270, 2014.

Moraes, W.B.; Jesus Junior, W.C.; Moraes, W. B.; Cecílio, R.A. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 2, p.1-14, 2011. 3/342. Disponível em: <<http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/ccatropica/article/viewFile/273/342>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

Palla, G.O.; Silva, G.N.R.; Silva, H.R.; Marques, A.P.; Holanda, H.V.; Astolfi, T.B.; Zocoler, J.V.S.; Cézar, F.R.G. Potencial de expansão da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no município de Ilha Solteira/SP. **In:** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p.4218-4224. 1 DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7

Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat Data. **Remote Sensing**, Basel, v.2, p.1057-1076, 2010.

Santos, G.O.; Hernandez, F.B.T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.60-68, 2013.

Santos, G.O.; Hernandez, F.B.T.; Rossetti, J.C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, p.142-149, 2010.

Teixeira, A.H.C.; Hernandez, F.B.T.; Lopes, H.L. Application of Landsat images for quantifying the energy balance under conditions of land use changes in the semi-arid region of Brazil. **In:** SPIE Remote Sensing Symposium, 2012, Edimburgo. Proceedings of Spie, v. 8531. p. 85310P-1-85310P-2. n.3, p.142-149, 2012.

Teixeira, A.H.C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. **Rem. Sens.**, v.2, p.1287-1319, 2010.

Teixeira, A.H.C.; Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmad, M.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. **Agric. For. Meteorol.**, 149, 477-490, 2009.

Teixeira, A.H.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. **J. Hydrol.**, Philadelphia, v.362, p.110-127, 2008.

Teixeira, A.H.C.; Hernandez, F.B.T.; Lopes, H.L.; Scherer-Warren, M.; Bassoi, L.H.A comparative study of techniques for modeling the spatiotemporal distribution of heat and moisture fluxes in different agroecosystems in Brazil. **In:** PETROPOULOS, G. G. (Ed.). Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content. 1. ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 2014a. v. 1, cap. 6, p. 169-191.

UNESP. Canal Clima - Área de Hidráulica e Irrigação. Ilha Solteira. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 2 mar. 2013.