

Valores instantâneos dos fluxos de calor no solo, sensível e latente por geoprocessamento e SEBAL em bacia hidrográfica no estado de Pernambuco

Leidjane Maria Maciel de Oliveira¹
Suzana Maria Gico Lima Montenegro¹
Bernardo Barbosa da Silva¹
Victor Hugo Rabelo Coelho¹
Ana Claudia Villar e Luna Gusmão¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/CTG/DECIV
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 50.741–530, Cidade Universitária - Recife – PE, Brasil
leidjaneoliveira@hotmail.com; suzanam@ufpe.br; bbdasilva.ufpe@gmail.com;
victor-coelho@hotmail.com; villareluna@yahoo.com.br

Abstract. This research aimed to determine the instantaneous values of soil heat fluxes, latent and sensible for GIS in Tapacurá in the Pernambuco - Brazil. Surface variables necessary to implement the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) were monitored in the existing experimental weather station in the area. The MOD11A1 and MOD09GA's Terra satellite products provide layers that represent the surface temperature and the surface spectral reflectance for each band, respectively. The tile v09 and h14 on the dates of March 10, 2010 and September 03, 2010. The instantaneous values of soil heat fluxes, sensible and latent were consistent with research using the SEBAL methodology and values each pixel represented the actual configuration of greens, water bodies and urban areas, highlighting the sensitivity of SEBAL for different types of land use.

Palavras-chave: remote sensing, MODIS, energy balance, sensoriamento remoto, MODIS, balanço de energia.

1. Introdução

A determinação dos fluxos de calor latente (LE) e sensível (H), que ocorrem entre a vegetação e o meio ambiente, é importante por representar a troca de calor e a perda de água pela cultura, fatores importantes na avaliação do balanço de energia e estresse hídrico da cultura e da evapotranspiração (Fernandes, 2007). O fluxo de calor latente representa essencialmente o fluxo de massa na forma de vapor de água para a atmosfera do nosso planeta, e o fluxo de calor sensível é o grande responsável pelo aquecimento das áreas urbanas (Silva et al., 2010). Os fluxos de calor sensível e latente podem ser medidos pelo método balanço de energia pela razão de Bowen (Oliveira et al., 2009; Fernandes, 2007) ou por sensoriamento remoto (Machado et al., 2014; Silva e Bezerra, 2006).

A obtenção do balanço de energia na superfície é de suma importância na modelagem atmosférica e na estimativa da evapotranspiração (Silva e Bezerra, 2006), que por sua vez é essencial para o manejo dos recursos hídricos, com especial enfoque em áreas irrigadas e bacias hidrográficas. Essa afirmativa foi evidenciada quando esses mesmos autores determinaram H e LE em áreas irrigadas próximas ao lago de Sobradinho usando o sensoriamento remoto em imagens TM - Landsat 5. Os resultados obtidos indicaram que os valores dos fluxos foram compatíveis com estudos realizados em pomares de diferentes frutíferas na área estudada, bem como em outras regiões.

O solo funciona como uma espécie de reservatório de calor que libera ou armazena energia em escala diária, sazonal e anual (Mendonça, 2007). O solo se aquece e resfria a partir do balanço de energia na interface solo-atmosfera, o que resulta na propagação de uma onda de calor, por condução, para as camadas inferiores do solo. Da mesma forma, é transferido calor para a atmosfera por condução e principalmente por convecção. O fluxo de calor no solo (G) pode ser monitorado por fluxímetros (Oliveira et al., 2009) ou por meio do sensoriamento remoto (Silva e Bezerra, 2006; Andrade, 2008; Santos et al., 2010).

Avaliar alterações nos componentes do balanço de energia em áreas vegetadas nativas quando substituídas por cultivos comerciais são estudos importantes nos dias atuais, face às alterações climáticas em curso no nosso planeta (Silva et al., 2010). Nesse contexto, a análise quantitativa dos fluxos de calor no solo, sensível e latente representa um grande subsídio na identificação do uso e ocupação do solo que ocorreram ao longo dos anos.

A determinação de G, H e LE por sensoriamento remoto pode ser implementada pelo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), que é um algoritmo desenvolvido para estimar o balanço de energia à superfície por meio de imagens de satélite multiespectrais, proporcionando a determinação do albedo e a temperatura da superfície complementados com poucos dados meteorológicos de superfície (Bastiaanssen et al., 1998). Para tanto, utilizam-se de imagens disponíveis pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) encontrado a bordo do satélite Terra, que dispõe de 36 bandas com cobertura espectral de 0,4 a 14,40 μm , resolução radiométrica de 12 bits, resolução espacial de 250, 500 e 1.000 m, e resolução temporal diária.

Na bacia hidrográfica do rio Tapacurá, localiza-se o reservatório de mesmo nome, que tem capacidade de acumulação de 94.200.000 m^3 , sendo considerado o manancial mais importante para o abastecimento público da Região Metropolitana do Recife – Pernambuco, beneficiando mais de um milhão de habitantes. Essa condição confere a referida bacia grande importância na gestão dos seus recursos hídricos (Oliveira et al., 2014).

Esta pesquisa objetivou determinar os valores instantâneos dos fluxos de calor no solo, sensível e latente por geoprocessamento na bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá, no estado de Pernambuco.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Tapacurá (Figura 1), integrante da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), com área total de 471,33 km^2 e composta por doze sub-bacias. O relevo da bacia está em sua maior parte constituído por colinas e cristas. Apresenta áreas tanto da zona da mata úmida como do agreste sub-úmido. É constituída por remanescentes da Mata Atlântica e alguns remanescentes de Caatinga na parte sudoeste da bacia. Entre os meses de março a julho ocorre a estação chuvosa, com índice pluviométrico anual médio de 1.017 mm, temperatura média mensal entre 23,7 e 27,0 $^{\circ}\text{C}$, e umidade relativa do ar superior a 75% nos meses de maio a agosto (REHISA, 2004; Oliveira et al., 2011).

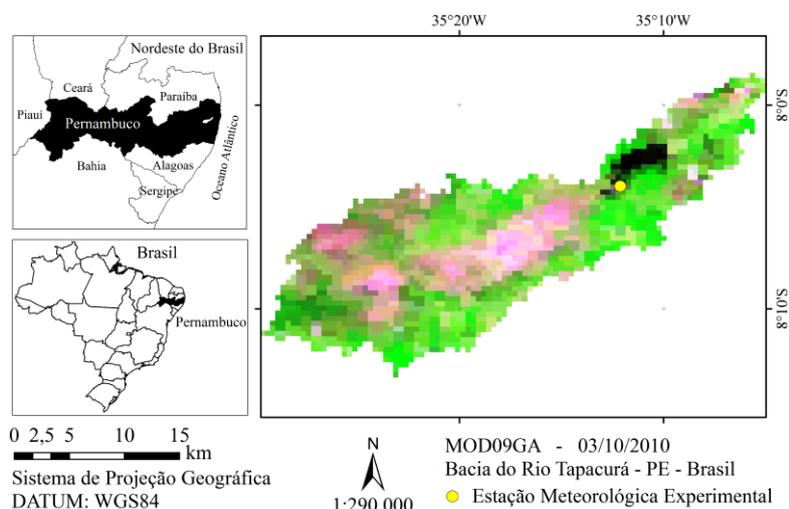


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Tapacurá – Pernambuco – Brasil (Fonte: Oliveira et al., 2014).

As variáveis de superfície necessárias a implementação do SEBAL (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação) foram monitoradas na estação meteorológica experimental (08°05'19" S; 35°14'56" W; 143 m; Figura 1). Os produtos MOD11A1 e MOD09GA do satélite Terra disponibilizam camadas que representam temperatura da superfície e reflectância espectral da superfície para cada banda, respectivamente. O *tile* utilizado foi o h14 e v09 nas datas de 10 de março de 2010 e 03 de setembro de 2010.

O fluxo de calor no solo – G ($W m^{-2}$) foi obtido segundo modelo desenvolvido por Bastiaanssen (2000), válido para valores próximos ao meio-dia:

$$G = \left[T_s (0,0038 + 0,0074 \alpha) (1 - 0,98 NDVI^4) \right] R_n \quad (1)$$

em que: T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$) obtida no produto MOD11A1; α o albedo da superfície (%); NDVI o índice de vegetação da diferença normalizada; R_n o saldo de radiação detalhado em Oliveira (2012), todos computados pixel a pixel. No cômputo do G em corpos de água ($NDVI < 0$), que na pesquisa está bem representado pelo reservatório de Tapacurá, considerou-se $G = 0,3R_n$ (Silva et al., 2010; Silva e Bezerra, 2006).

O fluxo de calor sensível – H ($W m^{-2}$) foi estimado pelo algoritmo SEBAL, pixel a pixel, considerando a velocidade do vento e a diferença da temperatura do ar (dT) entre dois níveis próximos da superfície ($Z_1 = 0,1$ m e $Z_2 = 2$ m), conforme (Bastiaanssen et al., 1998; Allen et al., 2007; Anderson et al., 2012; Silva et al., 2012):

$$H = \rho c_p dT / r_{ah} \quad (2)$$

em que: ρ ($kg m^{-3}$) é a densidade do ar atmosférico; c_p ($J kg^{-1} K^{-1}$) é o calor específico do ar à pressão constante; e r_{ah} ($s m^{-1}$) é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível.

O SEBAL considera a linearidade entre a diferença da temperatura do ar (dT) e a temperatura da superfície ($dT = a + b T_s$), onde as constantes de calibração “a” e “b” são obtidas em pixels com condições extremas de temperatura e disponibilidade hídrica: um pixel frio (localizado no reservatório do rio Tapacurá) com $H = 0$ e um pixel quente (área com pouca ou nenhuma presença de vegetação e baixo conteúdo de umidade) em que $LE = 0$, ou seja, $H = R_n - G$, o que tornou possível obter os valores das constantes de calibração (Bastiaanssen et al., 1998; Papadavid et al., 2013).

As cartas temáticas com os valores de H são as bases do processo iterativo, onde se identifica a condição de estabilidade atmosférica de cada pixel pela teoria de similaridade de Monin-Obukhov representada por:

$$L = -\rho c_p u^* 3 T_s / kgH \quad (3)$$

em que: u^* ($m s^{-1}$) é a velocidade de fricção; T_s (K) é a temperatura da superfície; k é a constante de Von Karman (0,41) (adimensional); e g ($m s^{-2}$) é o módulo do campo gravitacional terrestre. Nesse processo, o H inicial é obtido ao se considerar à condição de estabilidade neutra e possibilitará a aplicação das correções para novos valores de u^* e r_{ah} . Após o cálculo da r_{ah_cor} (corrigido), determinaram-se novos valores de “a” e “b”, conseqüentemente novo dT que vai gerar um novo mapa temático do H , bem como, um novo comprimento de Monin-Obukhov, que por sua vez possibilitará a determinação da nova condição de estabilidade atmosférica e novas correções da velocidade de fricção e resistência aerodinâmica. O processo iterativo atinge a convergência quando o erro relativo entre as resistências aerodinâmicas for menor que 1%.

O fluxo de calor latente – LE ($W m^{-2}$) foi obtido pela diferença entre o R_n , H e G (Bastiaanssen et al., 1998; Silva e Bezerra, 2006):

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

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 representaram-se as cartas temáticas do fluxo de calor no solo – G ($W m^{-2}$) para os dias 10 de março de 2010 e 03 de setembro de 2010.

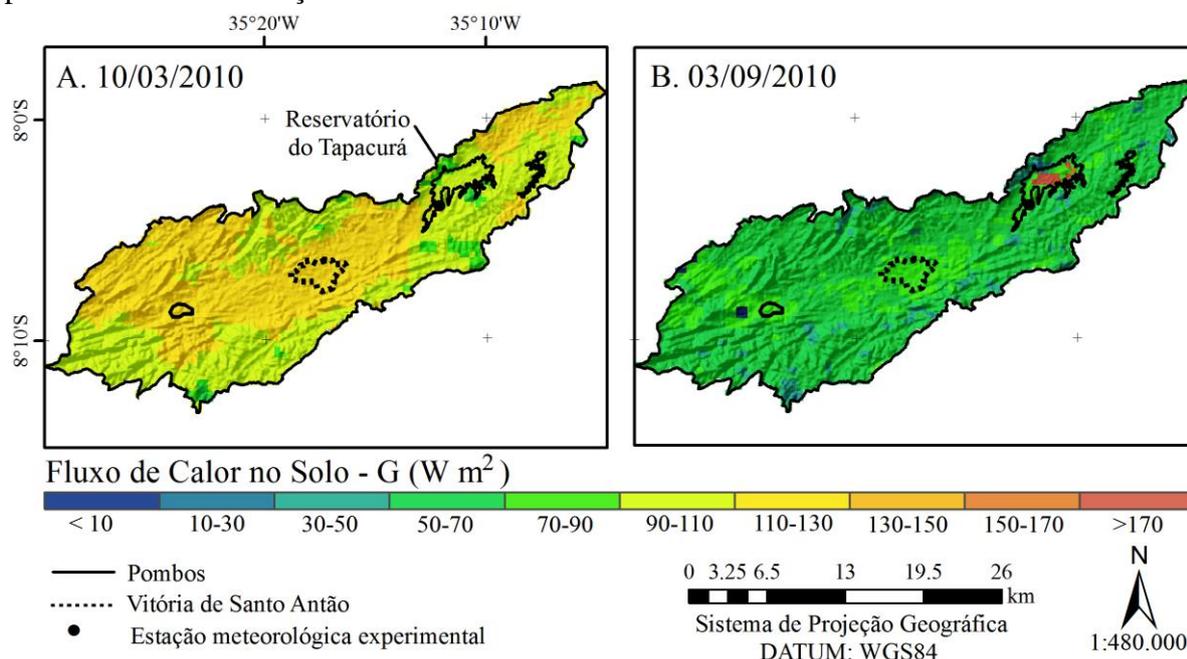


Figura 2. Cartas temáticas do fluxo de calor no solo – G ($W m^{-2}$) para os dias 10 de março de 2010 e 03 de setembro de 2010.

Observou-se uma mudança no fluxo de calor no solo - G com variação de 70 a $150 W m^{-2}$ (10/03/2010) para 30 a $90 W m^{-2}$ (03/09/2010). O decaimento na classe do G decorre da influência do evento chuvoso registrado no período da pesquisa, pois a precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes ao imageamento pelo MODIS correspondeu a 0,0 mm (10/03/2010) e 21,6 mm (03/09/2010).

Esses resultados são semelhantes aos de Mendonça (2007) com sensor MODIS, quando obteve G variando entre 31,9 a $96,5 W m^{-2}$ na região Norte Fluminense – RJ em cultura de cana-de-açúcar. Andrade (2008), também com cana-de-açúcar, mas em Minas Gerais, obteve valores entre 40,1 a $156,4 W m^{-2}$. Diferentemente dos valores obtidos por Lima (2010), nas divisas de Brasília, Minas Gerais e Goiás, com cultura de feijão, que encontrou valores de G variando entre 26,8 a $230,9 W m^{-2}$. Registre-se que mesmo as pesquisas utilizando o mesmo sensor para medição de G , cada área estudada apresenta características do local (i.e. cobertura do solo, datas e horários de imageamento) diferenciadas. Os resultados também são coerentes com pesquisas utilizando o sensor TM - Landsat 5, como as dos autores Rodrigues et al. (2009), que obtiveram G de 35,2 a $180,8 W m^{-2}$, e Silva et al. (2011), que obtiveram G entre 42,5 a $82,9 W m^{-2}$ em solos sem cobertura vegetal e pomar.

Ressalta-se uma significativa variabilidade entre o comportamento dos valores dos G pelo SEBAL e os medidos pelo fluxímetro em ambas as datas, quais sejam: 10/03/2010 (G do SEBAL = $138,8 W m^{-2}$ e G pelo fluxímetro = $77,7 W m^{-2}$) e 03/09/2010 (G do SEBAL = $77,9 W m^{-2}$ e G pelo fluxímetro = $47,5 W m^{-2}$). Comportamento similar foi detectado por Santos et al. (2010) quando analisaram G em cultivo de arroz irrigado com imagens do sensor ASTER no município de Paraíso do Sul – RS. Nesse estudo os autores constataram grande diferença entre o valor obtido com o SEBAL ($68,0 W m^{-2}$) e o valor medido no fluxímetro ($-20,0 W m^{-2}$).

Na Figura 2A, onde não foi detectada a ocorrência de evento chuvoso, observa-se que nas fronteiras das cidades de Vitória de Santo Antão e Pombos o valor de G é mais elevado, o que

sugere a ocorrência de ilhas de calor, fenômeno frequentemente detectado nas áreas urbanas. Tal comportamento foi também detectado por Santos et al. (2010) nos pixels da cidade de Paraíso do Sul – RS.

Pela visualização na Figura 2B, o fluxo de calor no solo apresentou maiores magnitudes ($G > 170,0 \text{ W m}^{-2}$) nos pixels que configuraram o reservatório de Tapacurá. Esse comportamento também foi detectado por Silva et al. (2011) no açude São Gonçalo, com G variando entre 224,6 e 243,9 W m^{-2} .

A Figura 3 mostra as cartas temáticas do fluxo de calor sensível – H (W m^{-2}) e do fluxo de calor latente – LE (W m^{-2}) para os dias 10 de março de 2010 e 03 de setembro de 2010.

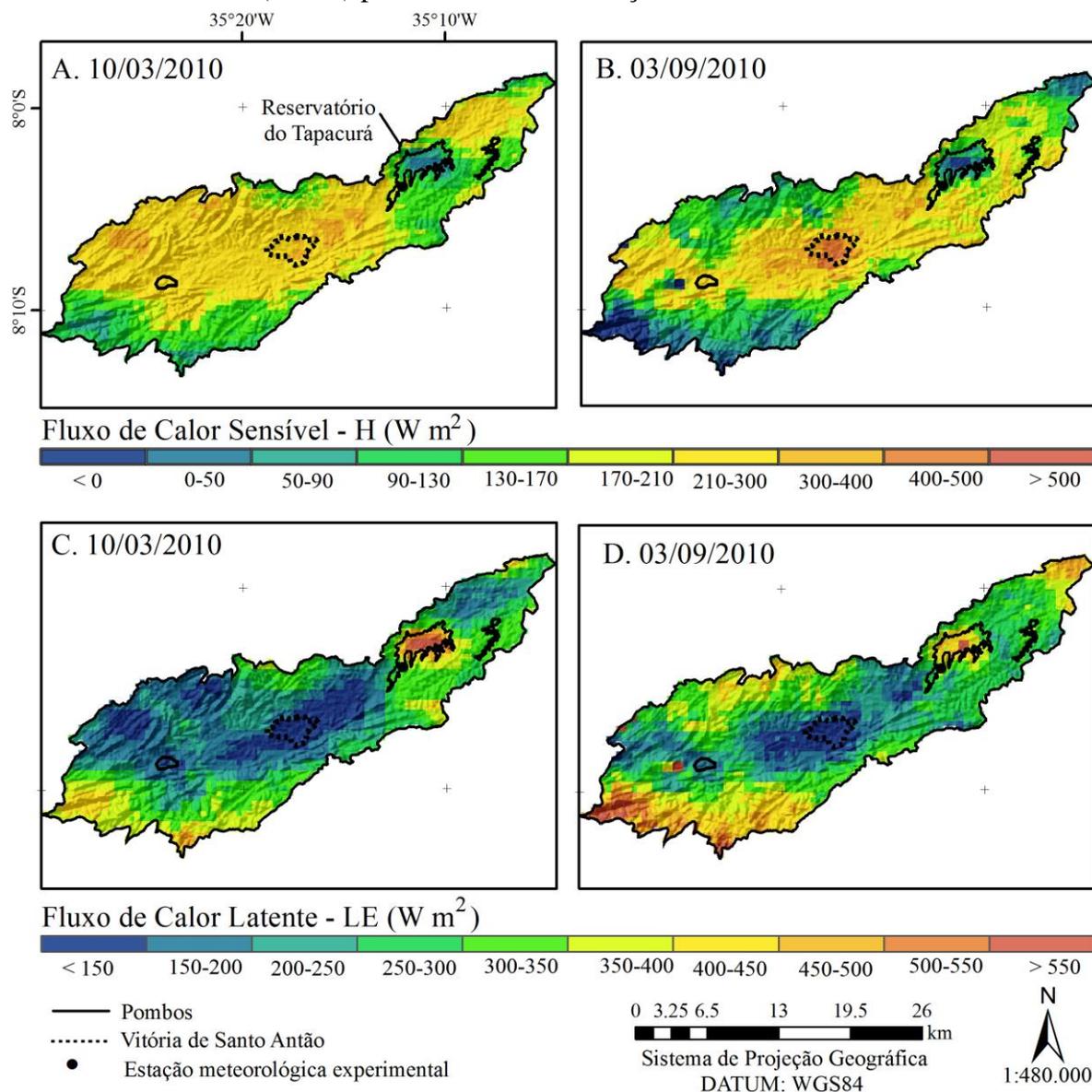


Figura 3. Cartas temáticas do fluxo de calor sensível – H (W m^{-2}) e fluxo de calor latente – LE (W m^{-2}) para os dias 10 de março de 2010 e 03 de setembro de 2010.

Os processos iterativos para determinação do fluxo de calor sensível - H (W m^{-2}) resultaram em no máximo oito iterações. Nesta pesquisa, o pixel frio de cada carta temática foi localizado no reservatório do Tapacurá, e o pixel quente em área de solo com pouca vegetação.

As classes do fluxo de calor sensível - H variaram de menor que zero a maiores que 500 W m^{-2} . A energia disponível em forma de calor sensível decorre da baixa proporção de

vegetação na data estudada e, conseqüentemente, na geração de maiores temperaturas da superfície. Quando esse fato acontece, a maior fração da energia líquida é empregada para aquecer o ar e o solo, e em menor grandeza é direcionada à evapotranspiração em forma de calor latente. Observa-se essa afirmativa quando se compara nas cenas estudadas a nítida variabilidade de classe nas áreas urbanas de Vitória de Santo Antão e Pombos, onde H alcançou valores com maiores magnitudes. Nicácio (2008) também obteve esse comportamento de máximos valores de H (maiores que $754,4 \text{ W m}^{-2}$), representados por pixels de solo aberto e áreas urbanizadas.

Os resultados (H entre 0 e 500 W m^{-2}) foram diferentes do estudo realizado por Lima (2010) em duas sub-bacias do Paracatu, nas divisas entre Brasília, Minas Gerais e Goiás, que encontrou o H com grande variabilidade espacial nas cenas estudadas em 2007. No dia 13/08/2007 o fluxo de calor sensível médio foi de $177,9 \text{ W m}^{-2}$; com valor mínimo de $88,88 \text{ W m}^{-2}$ em superfície líquida e máximo de $720,4 \text{ W m}^{-2}$.

Silva e Bezerra (2006), quando determinaram o H utilizando imagens TM - Landsat5, encontraram no lago de sobradinho e no leito do rio São Francisco pixels com magnitudes negativas de $-18,10 \text{ W m}^{-2}$ para ano de 2000 e $-22,40 \text{ W m}^{-2}$ para o ano de 2001. Os autores explicaram que pixels com valores negativos de H são os que possuem temperatura da superfície menor que a do pixel frio escolhido no estudo. Com o sensor MODIS por Nicácio (2008), os menores valores de H foram representados em alvos classificados como corpos hídricos, que nesse estudo foi no rio São Francisco para o dia 12 de outubro de 2004.

O fluxo de calor latente – LE (W m^{-2}) compreende a porção da energia disponível na superfície do solo que possibilita a evapotranspiração. As classes que definiram os pixels variaram de valores menores que 150 W m^{-2} até maiores que 550 W m^{-2} .

Andrade (2008), com imagens MODIS, obteve LE médio em cana-de-açúcar com variação de $568,4$ a $963,8 \text{ W m}^{-2}$ nos pixels âncoras de fevereiro a dezembro de 2005.

A distribuição espacial do LE apresentou uma forte relação de inversão nas magnitudes com o H. Essa permuta de intensidade pode ser melhor visualizada nas áreas urbanas, onde o H apresentou valores altos e o LE valores baixos. Esse fato decorre da presença da água, que gera uma maior quantidade de energia destinada ao processo evapotranspirativo, na forma de calor latente. Entretanto, nas regiões de solo exposto, ao contrário, a maior parte da energia é direcionada ao aquecimento do ar e do solo.

Observam-se, na área do reservatório do Tapacurá, pixels com as maiores magnitudes de LE, superiores a 500 W m^{-2} . Também ladeando esses pixels, visualizaram-se, logo em seguida, pixels com magnitudes um pouco menor, o que comprova a conservação da mata ciliar no entorno do reservatório de Tapacurá. Esse comportamento também foi encontrado por Lima (2010) em produtos MODIS, quando verificou pixels em corpos hídricos com elevadas magnitudes (401 a 500 W m^{-2}). Também Nicácio (2008), com o mesmo sensor MODIS, estimou o fluxo de calor latente no rio São Francisco próximo as cidades de Juazeiro e Petrolina, e verificou LE elevado, qual seja de 400 a 600 W m^{-2} ; e em suas margens pixels de menores intensidades, variando entre 300 e 400 W m^{-2} .

Silva e Bezerra (2006) determinaram o LE utilizando imagens TM - Landsat 5 dos dias 04/12/2000 e 01/10/2001, ocasião em que obtiveram médias de $346,1$ e $279,4 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente, nessas datas. Já Bastiaanssen (2000), em pesquisas realizadas com o SEBAL, encontrou para os pixels âncoras valores distintos, com o pixel frio com $LE = 535,4 \text{ W m}^{-2}$ e pixel quente com o $LE = 0,5 \text{ W m}^{-2}$.

Utilizando imagens do TM - Landsat5 e AVHRR - NOAA na estimativa do balanço de energia à superfície no Nordeste brasileiro, Feitosa (2005) detectou em 04/10/2001 valores de LE em áreas de solo exposto menores que 130 W m^{-2} , enquanto que nas áreas com baixa cobertura vegetal (vegetação caatinga) os valores de LE ficaram entre 130 e 250 W m^{-2} .

4. Conclusões

Os valores instantâneos dos fluxos de calor no solo, sensível e latente foram coerentes com pesquisas que utilizaram a metodologia SEBAL, e os valores de cada pixel representaram a real configuração das áreas verdes, urbanas e corpos hídricos, evidenciando a sensibilidade do SEBAL em diferentes tipos de ocupação do solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) – Projeto REHIDRO; à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e à Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA).

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 Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, 2007.
- Anderson, M.C.; Allen, R.G.; Morse, A.; Kustas, W.P. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. **Remote Sensing of Environment**, v.122, p.50-65, 2012.
- Andrade, R.G. **Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar**, 164p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – MG, 164p., 2008.
- Bastiaanssen, W.G.M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin. Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p.87-100, 2000.
- Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.; Holtslag, A.A.M. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL). Part 1, formulation, **Journal of Hydrology**, n. 212-213, p.198-298, 1998.
- Bezerra, B.G.; Silva, B.B.da; Ferreira, N.J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.305-317, 2008.
- Feitosa, J.R.P. **Uso de técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat – TM e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de energia à superfície**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 145p., 2005.
- Fernandes, E.J. Estudo do calor sensível e latente obtidos por intermédio da razão de Bowen em uma cultura de soja irrigada. **Irriga**, v.12, n.3, p.281-296, 2007.
- Lima, E.deP. **Estimativa da evapotranspiração e do balanço hídrico a partir de imagens de satélite de duas sub-bacias do Paracatu**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 161p., 2010
- Machado, C.C.; Silva, B.B.da; Albuquerque, M.B.de; Galvêncio, J.D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM-Landsat 5 e o Algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.1, p.55-67, 2014.
- Mendonça, J.C. **Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 145p., 2007.
- Nicácio, R.M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco**. Tese de Doutorado em Ciência em Engenharia Civil – Universidade do Rio de Janeiro, 320p, 2008.

Oliveira, I.A.; Lima, J.R. de S.; Silva, I.de F. da; Antonino, A.C.D.; Gouveia Neto, G. da S.; Lira, C.A.B. de O. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.185-191, 2009.

Oliveira, L.M.M.; Montenegro, S.M.G.L.; Antonino, A.C.D.; Machado, C.C.C.; Oliveira, T.H.; Silva, B.B.da; Galvêncio, J.D. Diagnóstico do albedo de superfície e índice de área foliar na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE. (2011). In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, São José dos Campos, INPE, pp. 1888 – 1894. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0777.pdf>

Oliveira, L.M.M.de; Montenegro, S.M.G.L.; Silva, B.B.da; Antonino, A.C.D.; Moura, A.E.S.Sde. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1039-1046, 2014.

Papadavid, G.; Hadjimitsis, D.G; Toullos, L.; Michaelides, S.A Modified SEBAL modeling approach for estimating crop evapotranspiration in Semi-arid conditions. **Water Resources Management**, v.27, p.3493-3506, 2013.

REHISA. **Relatório Final da Caracterização das bacias exp. do semi-árido, IBESA – Implantação de bacias exp. do semi-árido para o desenvolvimento de metodologias de avaliação dos balanços hídricos e energéticos em diferentes escalas temporais e espaciais**. Projeto integrado UFRN-UFC-UFPB-UFCG-UFRPE-UFPE-UFBA, 2004, 143 p.

Rodrigues, J.O.; Andrade, E.M. de; Teixeira, A. dos S.; Silva, B.B.da. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v.29, n.3, p.452-465, 2009.

Santos, T.V. dos; Fontana, D.C.; Alves, R.C.M. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.488-496, 2010a.

SILVA, B.B.da, BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.145-152, 2011.

Silva, B. B. da; Braga, A. C.; Braga, C. C.; Oliveira, L. M. M. de, Galvêncio, J.D.; Montenegro, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1218-1226, 2012.

Silva, B.B.da; Bezerra, M.V.C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.14, p.174-186, 2006.

Silva, B.B.da; Silva, S.T.A.; Gomes, H.B. Alterações climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra mediante sensoriamento remoto. **Revista Mercator**, v.9, n. especial 1, p.91-106, 2010.