

## Determinação do fluxo de calor sensível no sudoeste da Amazônia por intermédio de imagens ASTER e o modelo SEBAL

Gabriel de Oliveira<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Thiago Veloso dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gdo, bete, yosio}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> University of Minnesota  
Zip Code 55108 - Saint Paul - MN, United States of America  
dossa013@umn.edu

**Abstract.** The land use practices adopted in Amazonia, related to deforestation and the intensification of pasture and agricultural areas, can affect the regional climate, ecosystems and global climate. Micrometeorological studies have been conducted in the Amazon for approximately 30 years, however, the measurements obtained by these experiments are generally representative of small areas. The present study aimed to estimate the sensible heat flux, from ASTER data and the SEBAL model, for a region located in the eastern part of Rondônia state (RO), and to validate the results with information acquired by a micrometeorological tower of LBA project installed within the study area. To run the SEBAL model, air temperature and wind speed data obtained by the LBA tower and ASTER reflectance and surface temperature products were used. The estimates obtained by the proposed methodology showed to be very reliable in comparison with observational measurements, presenting a mean relative error of  $\approx 5\%$ . The use of ASTER images and the SEBAL model was a useful procedure for estimating and spatializing the sensible heat flux in Amazonia, which may contribute to a better understanding of the interaction mechanisms between land surface and atmosphere in the region.

**Palavras-chave:** fluxo de calor sensível, modelo SEBAL, região amazônica, sensoriamento remoto, sensible heat flux, SEBAL model, Amazon region, remote sensing.

### 1. Introdução

As práticas de uso da terra adotadas na Amazônia, relacionadas ao desmatamento e a intensificação das áreas de pastagens e agricultura, podem afetar o clima regional, ecossistemas, e o clima global (Davidson et al., 2012). Assim, torna-se cada vez mais importante a compreensão e o monitoramento de tais processos, de maneira a avaliar as consequências e os impactos causados na biodiversidade do maior ecossistema de floresta tropical do globo terrestre (Oliveira et al., 2007).

O desmatamento altera a disposição dos fluxos energéticos pelo aumento do albedo e da radiação infravermelha termal (IVT) emitida pela superfície, o que resulta em uma diminuição do balanço de radiação ( $R_n$ ). O  $R_n$  é particionado em energia para aquecimento do solo e do ar, e para processos evapotranspirativos, ou seja, os fluxos de calor no solo ( $G$ ), sensível ( $H$ ) e latente ( $\lambda E$ ), respectivamente (Hartmann, 1994). Através do fluxo de calor sensível, a superfície terrestre absorve (libera) calor da (para) atmosfera por condução, compensando mudanças acentuadas de temperatura e ajustando o clima local (Chehbouni et al., 1997). Devido à relevância dessa variável no contexto do balanço energético da região amazônica é necessário aprofundar o seu conhecimento tanto em escala espacial quanto temporal. Estudos micrometeorológicos vêm sendo realizados há pelo menos 30 anos na Amazônia (Artaxo, 2012), porém, as medições obtidas são, em geral, representativas de pequenas áreas.

Nesse escopo, o uso de dados orbitais surge como alternativa, pois possibilita obter os fluxos energéticos em superfície com ampla cobertura espaço-temporal. Uma série de modelos têm sido apresentados na literatura científica, dentre os quais se destaca o *Surface*

*Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) (Bastiaanssen et al., 1998). O sensor *Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), a bordo da plataforma Terra, possui resolução espacial superior à dos sensores mais comumente utilizados para estudos nesta temática, como o TM/Landsat e o MODIS (Terra e Aqua).

O presente estudo teve como objetivo gerar estimativas de fluxo de calor sensível, a partir de imagens ASTER/Terra e o modelo SEBAL, para uma região localizada no leste do estado de Rondônia (RO), e validar os resultados com informações adquiridas em superfície por uma torre micrometeorológica do projeto *Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA) instalada no interior da área de estudo.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de estudo

A área definida para estudo está situada na porção leste do estado de Rondônia, entre as latitudes 10° 39' 38'' S e 10° 51' 42'' S e longitudes 62° 24' 04'' W e 62° 03' 04'' W (Figura 1). Dentro do recorte são englobados, em parte, os municípios de Ji-Paraná, Nova União, Ouro Preto do Oeste e Teixeirópolis. A área de estudo compreende cerca de 85.000 hectares e engloba diversos tipos de uso e cobertura da terra, como floresta tropical primária, pastagem, solo exposto, corpos de água e afloramentos rochosos.

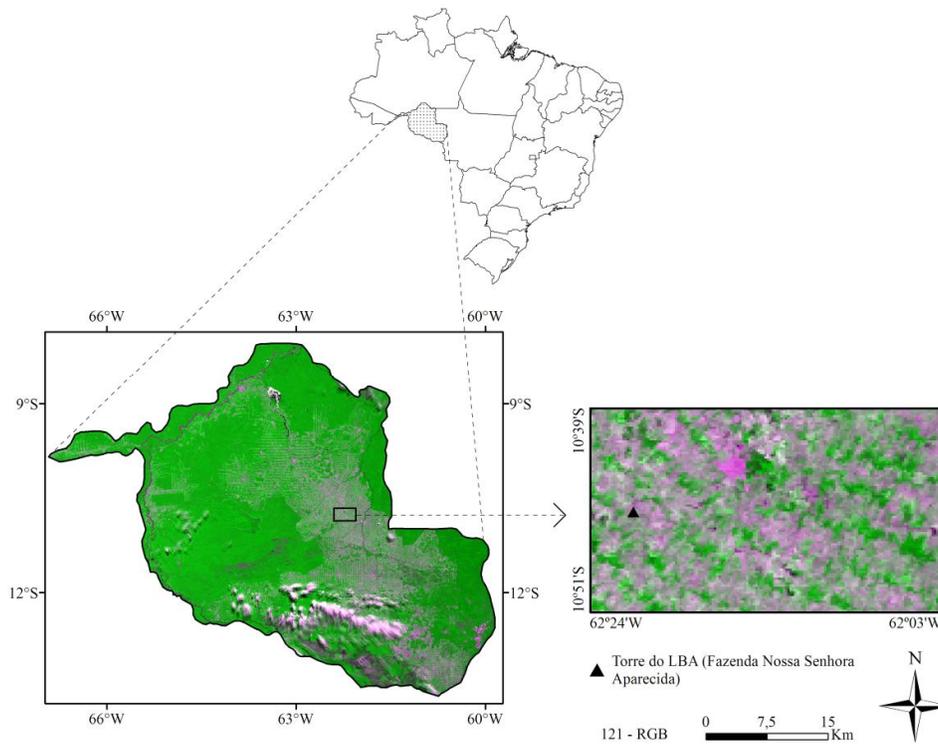


Figura 1. Localização da área de estudo. A composição colorida foi obtida com dados do sensor MODIS/Terra (produto MOD09GQ) de 25/07/2003.

### 2.2 Informações micrometeorológicas e dados orbitais

As medidas *in situ* foram advindas da torre micrometeorológica localizada no sítio experimental da Fazenda Nossa Senhora Aparecida (FNSA) (ilustrada na Figura 1), sob o âmbito do projeto LBA. As variáveis utilizadas, correspondentes à temperatura do ar, velocidade do vento e precipitação, foram necessárias tanto para inserção no modelo SEBAL nos dias de implementação (29/07/2002 e 01/08/2003) quanto para análise dos resultados. Os

dados ASTER foram obtidos do *Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC)/United States Geological Survey (USGS)* (<https://lpdaac.usgs.gov/>). Foram utilizadas duas imagens da órbita/ponto 231/067 dos dias 29/07/2002 e 01/08/2003, referentes aos produtos AST07XT e AST08. O produto AST07XT corresponde à reflectância da superfície para as bandas 1 a 3 e 5 a 10, com resolução espacial de 15 m para as bandas do VNIR (1 a 3) e de 30 m para as bandas do SWIR (5 a 10); e o AST08 diz respeito à temperatura da superfície (K), estimada a partir das bandas 11 a 15, com resolução espacial de 90 m. O processamento dos dados orbitais consistiu, primeiramente, na reamostragem dos *pixels* nos produtos AST07XT (bandas 5 a 10) e AST08 pelo método do vizinho mais próximo, de forma que os dados passassem a ter 15 m de resolução espacial. Em uma segunda etapa, as imagens ASTER foram corrigidas geometricamente a partir de uma imagem Geocover/Landsat 2000 (quadrícula S-20-10\_2000), disponibilizada pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* (<http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>). O algoritmo de interpolação utilizado foi o polinomial linear de primeira ordem e o método foi o do vizinho mais próximo. Nessa etapa se definiu como padrão tais parâmetros de projeção: UTM e datum WGS 84. De porte das imagens processadas foram efetuadas operações de mascaramento de nuvens, que consistiram na identificação visual e delimitação através do programa *Envi 4.5*. É importante salientar que foi verificada a presença de nuvens apenas em 01/08/2003, no entanto, a fim de padronizar as estimativas geradas, optou-se por utilizar esta máscara também no dia 29/07/2002.

### 2.3 Implementação do modelo SEBAL

A implementação do SEBAL foi realizada através do programa *Erdas 9.1*. A primeira variável a ser estimada pelo modelo é o balanço de radiação. Desse modo, o balanço de radiação ( $R_n$ ) ( $W m^{-2}$ ) para o momento de passagem do sensor ASTER ( $\approx 10h30$ ) foi calculado conforme descrito a seguir:

$$R_n = (1 - \alpha_s) K \downarrow + L \downarrow - L \uparrow - (1 - \varepsilon_s) L \downarrow \quad (1)$$

em que  $\alpha_s$  é o albedo da superfície,  $K \downarrow$  representa a radiação solar incidente na superfície ( $W m^{-2}$ ),  $L \downarrow$  é a radiação IVT incidente na superfície ( $W m^{-2}$ ),  $L \uparrow$  é a radiação IVT emitida pela superfície ( $W m^{-2}$ ) e  $\varepsilon_s$  é a emissividade da superfície.

Posteriormente, estimou-se o fluxo de calor no solo ( $G$ ) ( $W m^{-2}$ ) (Bastiaanssen et al., 1998), o que possibilitou obter, através da Equação 2, o fluxo de calor sensível ( $H$ ) ( $W m^{-2}$ ):

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (2)$$

em que  $\rho$  é a densidade do ar ( $1,15 Kg m^{-3}$ ),  $C_p$  é o calor específico do ar à pressão constante ( $1004 J Kg^{-1} K^{-1}$ ),  $dT$  é a diferença de temperatura entre dois níveis (K) e  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $s m^{-1}$ ).

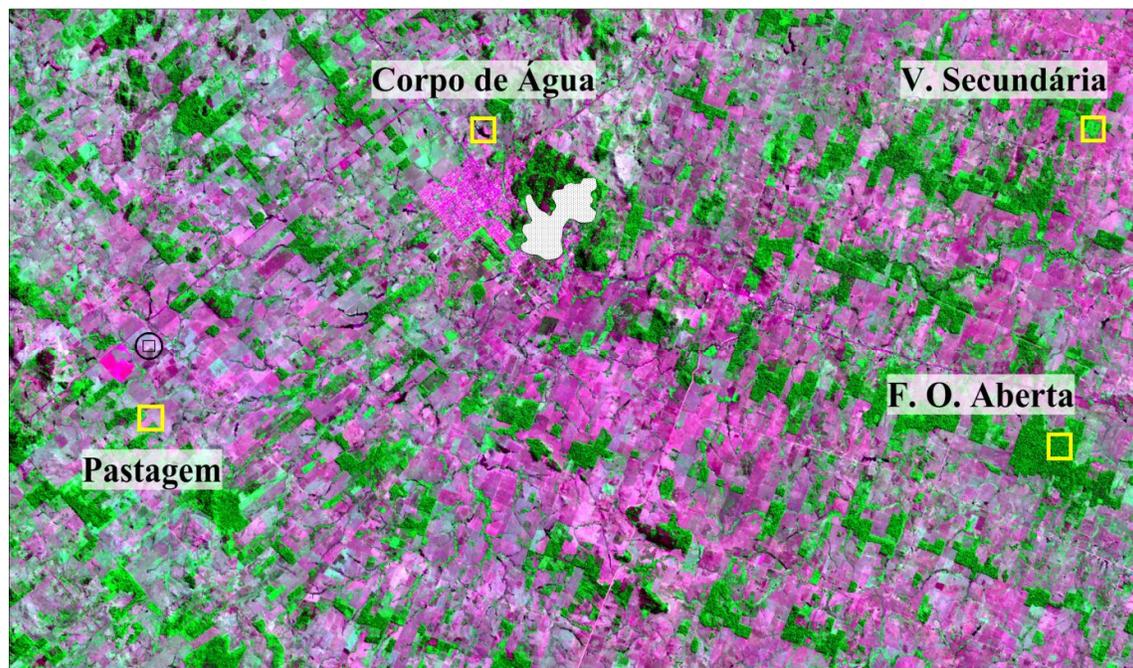
Na metodologia para obtenção de  $H$  a determinação da diferença de temperatura ( $dT$ ) é fundamental. A  $dT$  foi calculada a partir de dois *pixels* (quente e frio), denominados *pixels-âncora*, considerando que a diferença entre a temperatura da superfície destes *pixels* é uma relação linear. O processo de escolha dos *pixels-âncora* é importante e deve ser realizado com critério, de modo que esses *pixels* representem de maneira correta as condições extremas dos fluxos de calor. Neste estudo, utilizou-se a sugestão de Bastiaanssen (1995), em que o *pixel* frio deve ser escolhido sobre uma superfície líquida. Admite-se, portanto, que neste *pixel* o  $H$  é nulo e o fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) é máximo. Com relação ao *pixel* quente, também se considerou a proposição de Bastiaanssen (1995), de que esse *pixel* deve ser escolhido em uma área com pouca ou quase nenhuma cobertura vegetal, onde não há umidade disponível para a ocorrência de evapotranspiração. Deste modo, assume-se que no *pixel* quente o  $\lambda E$  é nulo e o  $H$  é máximo. Conhecendo a  $dT$  e a  $r_{ah}$  (Bastiaanssen et al., 1998) foram obtidos os valores

iniciais de H para cada *pixel*. É importante destacar que os valores de H obtidos inicialmente não são adequados e servem apenas como valores de entrada em um processo iterativo que resultará na condição de estabilidade da atmosfera de todos os *pixels*. Para definição das condições de estabilidade da atmosfera utilizou-se a teoria da similaridade de Monin-Obukhov (Monin e Obukhov, 1954). Definidas tais condições foi possível obter os valores finais de H para cada *pixel* da imagem. É possível encontrar no estudo de Bastiaanssen et al. (1998) informações mais detalhadas sobre os procedimentos do SEBAL para a obtenção de H.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados foram analisados inicialmente por inspeção visual das imagens. Em seguida, de maneira a analisar mais detalhadamente as estimativas para distintos tipos de uso e cobertura da terra, foram selecionadas quatro áreas homogêneas com tamanho de 24 *pixels* cada, representando: floresta ombrófila aberta (10° 47' 32'' S e 62° 04' 37'' W), vegetação secundária (10° 41' 45'' S e 62° 04' 01'' W), pastagem (10° 47' 04'' S e 62° 21' 28'' W) e corpo de água (10° 41' 51'' S e 62° 15' 19'' W) (Figura 2). Para cada área, em ambas as datas estudadas (29/07/2002 e 01/08/2003), foram coletados os valores dos *pixels* para cada imagem de H e computadas estatísticas descritivas básicas.

Imagem ASTER - 29/07/2002

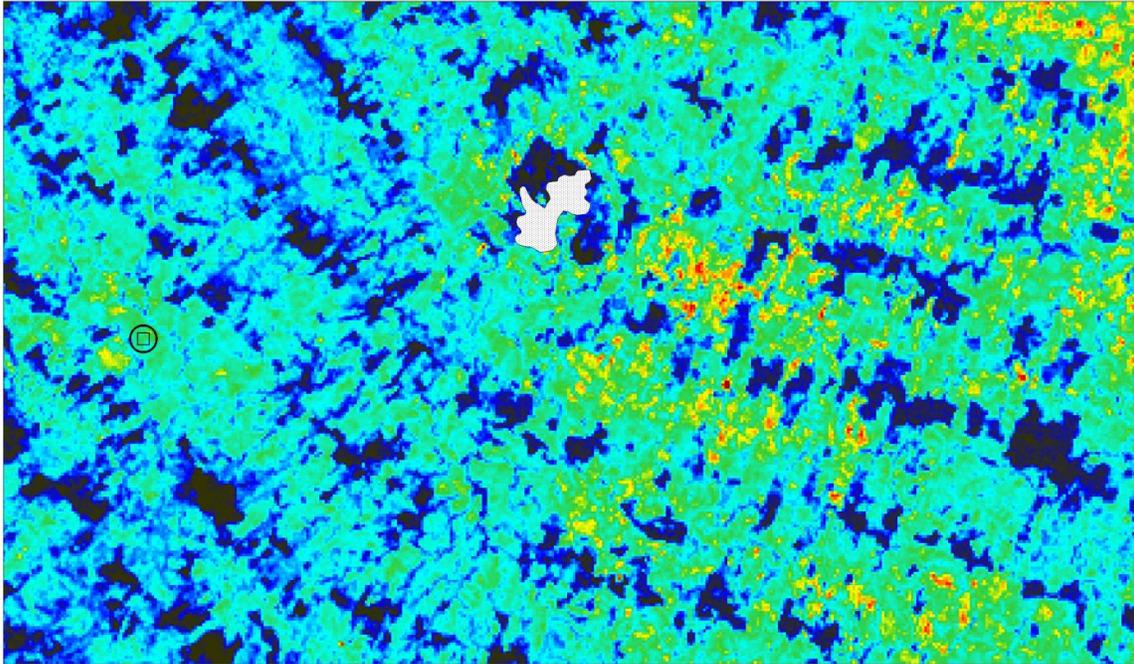


○ Torre LBA    □ Máscara    ■ Banda 2    ■ Banda 3    ■ Banda 1

Figura 2. Área de estudo, situada no leste do estado de Rondônia, em imagem ASTER de 29/07/2002, com a localização das áreas homogêneas selecionadas para análise.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial do fluxo de calor sensível na área de estudo em 29/07/2002 e 01/08/2003. Nas imagens de H os valores mínimos encontrados foram  $-19,0 \text{ W m}^{-2}$  (29/07/2002) e  $-18,3 \text{ W m}^{-2}$  (01/08/2003), e os valores máximos foram  $570,2 \text{ W m}^{-2}$  (29/07/2002) e  $801,0 \text{ W m}^{-2}$  (01/08/2003). Os valores negativos de H estão relacionados aos *pixels* com temperatura da superfície inferior à temperatura do *pixel* frio. Os valores médios foram de  $133,8$  e  $180,4 \text{ W m}^{-2}$  para as imagens de 29/07/2002 e 01/08/2003, respectivamente.

**A)** Fluxo de calor sensível ( $W\ m^{-2}$ ) - 29/07/2002



**B)** Fluxo de calor sensível ( $W\ m^{-2}$ ) - 01/08/2003

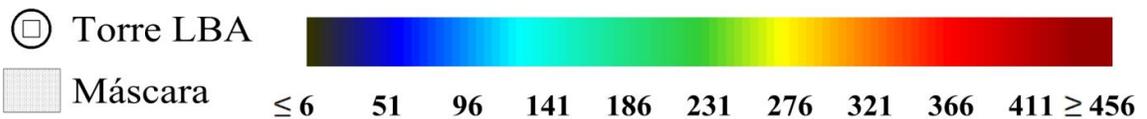
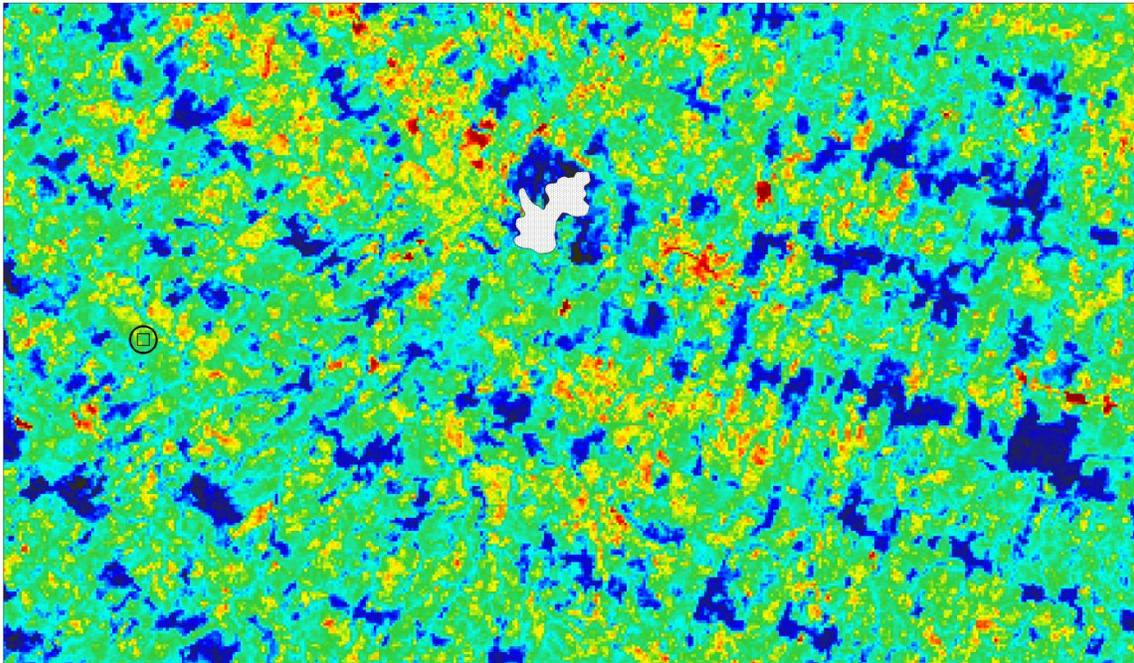


Figura 3. Distribuição espacial do fluxo de calor sensível ( $W\ m^{-2}$ ) na área de estudo. A) Dia 29/07/2002 e B) Dia 01/08/2003.

Os registros de H têm grande influência da temperatura da superfície, ou seja, áreas de altas temperaturas também registram os maiores valores de H, pois geralmente são áreas sem ou com pouca cobertura vegetal. Isso justifica o motivo dos altos valores encontrados na imagem de 01/08/2003, pois nela foram encontradas algumas áreas que haviam sido recentemente queimadas. De modo geral, nas imagens, verifica-se que os menores valores de H correspondem aos corpos de água e às áreas de floresta prístina, e os maiores às áreas de solo exposto e queimadas (círculos tracejados na Figura 3B). É possível observar também que a maior parte dos valores na imagem de 01/08/2003 são superiores aos da imagem de 29/07/2002. Para melhor entender essa diferença foi realizada uma análise dos dados anuais de precipitação na torre do LBA na FNSA e verificou-se que não houve ocorrência de precipitação no mês de julho de 2003, ao contrário de julho de 2002. Nesse sentido, é possível afirmar que o acréscimo no fluxo de calor sensível observado em algumas áreas no dia 01/08/2003 é reflexo da menor umidade disponível no sistema solo-vegetação-atmosfera em relação à 29/07/2002 (Baldocchi et al., 1983).

A Tabela 1 apresenta os valores de fluxo de calor sensível nas áreas homogêneas selecionadas para análise em 29/07/2002 e 01/08/2003. Dentre as áreas analisadas, ao considerar as duas datas, observa-se que o corpo de água apresentou o menor valor médio de H, correspondendo a  $27,6 \text{ W m}^{-2}$ . Esse valor está de acordo com o estudo de Bezerra (2009), que encontrou para corpos de água em Bom Jesus da Lapa (BA) valores de H menores que  $30,0 \text{ W m}^{-2}$ . Com relação à área de floresta ombrófila aberta, verifica-se que não houve grande variação nos valores médios para as duas datas analisadas. Em 29/07/2002, o valor médio de H foi de  $35,6 \text{ W m}^{-2}$  e em 01/08/2003 de  $34,5 \text{ W m}^{-2}$ . Moreira (2009) encontrou no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú (CE) valores de H para áreas de vegetação nativa variando entre  $100,0$  e  $150,0 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto Bezerra (2006), em um estudo na Chapada do Araripe (CE), obteve valores entre  $30,0$  e  $100,0 \text{ W m}^{-2}$ . Denota-se uma maior discrepância dos resultados quando comparados ao estudo de Moreira (2009), porém devem-se considerar as características intrínsecas à floresta amazônica, uma floresta fechada, heterogênea e formada por árvores de grande porte.

Tabela 1. Valores estatísticos de fluxo de calor sensível ( $\text{W m}^{-2}$ ) para as áreas homogêneas selecionadas na área de estudo.

Data	Área selecionada	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
29/07/2002	Floresta Ombrófila Aberta	35,6	31,9	37,5	1,6
	Vegetação Secundária	80,1	70,1	89,2	5,8
	Pastagem	186,4	184,7	189,3	1,2
	Corpo de Água	26,7	26,5	27,7	0,3
01/08/2003	Floresta Ombrófila Aberta	34,5	30,2	37,9	2,9
	Vegetação Secundária	97,4	85,1	102,6	6,9
	Pastagem	254,3	244,6	264,0	9,1
	Corpo de Água	28,5	24,8	46,6	8,3

Na área de vegetação secundária observou-se um aumento de  $\approx 22\%$  no valor médio de H, que passou de  $80,1 \text{ W m}^{-2}$  em 29/07/2002 para  $97,4 \text{ W m}^{-2}$  em 01/08/2003. Percebe-se que houve uma variação muito mais significativa no valor médio de H da área de vegetação secundária do que da área de floresta ombrófila aberta, e isto pode estar relacionado ao fato da vegetação secundária ter sofrido algum tipo de alteração antrópica, ao contrário da floresta ombrófila aberta, que provavelmente permaneceu inalterada. A área de pastagem apresentou um valor médio de H de  $220,4 \text{ W m}^{-2}$ , e os valores variaram entre  $184,7$  e  $264,0 \text{ W m}^{-2}$ . O valor médio em 29/07/2002 foi de  $186,4 \text{ W m}^{-2}$ , e em 01/08/2003 de  $254,3 \text{ W m}^{-2}$ . Salienta-se

que essa diferença entre os valores pode estar relacionada, entre outros fatores, à disponibilidade hídrica em 01/08/2003, e à quantidade de massa vegetal na área de pastagem, que pode variar sazonalmente. Nesse caso, pode-se inferir que o menor valor de H, encontrado em 29/07/2002, está associado a uma pastagem mais densa, com bom desenvolvimento, enquanto que o maior valor, referente à 01/08/2003, está relacionado a uma pastagem mais rala e até mesmo com exposição do solo. Timmermans et al. (2007) encontraram valor médio de H para áreas de pastagem em Oklahoma (EUA) de  $122,0 \text{ W m}^{-2}$ ,  $\approx 34\%$  inferior ao menor valor encontrado na área analisada no presente estudo ( $184,7 \text{ W m}^{-2}$ ).

A Tabela 2 mostra os valores de fluxo de calor sensível obtidos a partir de imagens ASTER e o modelo SEBAL, e os observados na torre micrometeorológica do LBA no sítio da FNSA. As estimativas de H apresentaram erros relativos (ER) de 4,1% (29/07/2002) e de 6,0% (01/08/2003), o que demonstra que o modelo SEBAL gerou valores bastante confiáveis dessa variável.

Tabela 2. Medidas de concordância (erro absoluto (EA), erro relativo (ER), erro médio absoluto (EMA) e erro médio relativo (EMR)) entre os valores de fluxo de calor sensível ( $\text{W m}^{-2}$ ) modelados pelo SEBAL, utilizando imagens ASTER, e observados na torre micrometeorológica do LBA no sítio da FNSA.

Fluxo de calor sensível ( $\text{W m}^{-2}$ )				
	29/07/2002		01/08/2003	
	Modelado	Observado	Modelado	Observado
	199,5	191,6	204,1	217,1
<b>EA</b>		7,9		13,1
<b>ER</b>		4,1		6,0
<b>EMA</b>			10,5	
<b>EMR</b>			5,1	

No dia 29/07/2002 os valores de H modelado e observado foram de 199,5 e 191,6  $\text{W m}^{-2}$ , respectivamente, o que representou um erro absoluto (EA) de 7,9  $\text{W m}^{-2}$ , enquanto que no dia 01/08/2003 o valor modelado foi de 204,1  $\text{W m}^{-2}$  e o observado de 217,1  $\text{W m}^{-2}$ , demonstrando um EA de 13,1  $\text{W m}^{-2}$ . Assim, o H estimado pelo SEBAL apresentou: erro médio absoluto (EMA) de 10,5  $\text{W m}^{-2}$  e erro médio relativo (EMR) de 5,1%. Ma et al. (2002), ao estimar o H em áreas no noroeste da China, encontraram um EMR de aproximadamente 5%. De acordo com Timmermans et al. (2007), o fluxo de calor sensível estimado a partir do SEBAL apresentou os seguintes erros: EMA=39,0  $\text{W m}^{-2}$  e EMR=26,0%. Gomes (2009) obteve ER variando entre  $\approx 52\%$  e  $\approx 89\%$ , e EMR de  $\approx 71\%$ , comparando o H medido pelo método das correlações turbulentas e o estimado pelo SEBAL em uma área de cana de açúcar, enquanto Bezerra (2006) obteve EMR de H de  $\approx 35\%$  em área de algodão irrigado.

#### 4. Conclusões

Os valores de fluxo de calor sensível na área de estudo variaram de acordo com o uso e cobertura da terra e foram coerentes com aqueles obtidos por outras pesquisas em alvos semelhantes. As estimativas obtidas pelo método proposto se mostraram bastante confiáveis na comparação com as observações de superfície, apresentando um erro médio relativo de  $\approx 5\%$ . A utilização de imagens ASTER e o modelo SEBAL constituiu uma proposição adequada para estimativa e espacialização do fluxo de calor sensível na Amazônia, o que pode contribuir para uma melhor compreensão dos mecanismos de interação entre a superfície terrestre e a atmosfera na região.

## **Agradecimentos**

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela infraestrutura disponibilizada e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

## **Referências Bibliográficas**

- Artaxo, P. E. Break down boundaries in climate research. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 239-239, 2012.
- Baldocchi, D.D.; Verma, S. B.; Rosenberg, S. J.; Blad, B. L.; Gray, A.; Specht, J. E. Influence of water stress on the diurnal exchange of mass and energy between the atmosphere and a soybean canopy. **Agronomy Journal**, v. 75, n. 3, p. 543-548, 1983.
- Bastiaanssen, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. 1995. 273 p. Tese (Ph.D.) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1995.
- Bastiaanssen, W. G. M; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. A remote sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, n. 1-4, p. 198-212, 1998.
- Bezerra, B. G. **Obtenção da evapotranspiração diária no Cariri Cearense utilizando imagens Landsat 5 TM e o algoritmo SEBAL**. 2006. 135 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.
- Bezerra, M. V. C. **Determinação do coeficiente de cultivo e da biomassa do algodoeiro irrigado por meio de imagens TM-LANDSAT 5**. 2009. 91 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- Chehbouni, A.; Seen, D. L.; Nkoju, E. G.; Lhomme, J. P.; Monteny, B.; Kerr, Y. H. Estimation of sensible heat flux over sparsely vegetated surfaces. **Journal of Hydrology**, v. 188-189, p. 855-868, 1997.
- Davidson, E. A.; Araújo, A. C.; Artaxo, P. E.; Balch, J. K.; Brown, I. F.; Bustamante, M. M.; Coe, M. T.; Defries, R. S.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J. W.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B. S.; Souza, C. M.; Wofsy, S. C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.
- Gomes, H. B. **Balances de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no Estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 2009. 108 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- Hartmann, D. L. **Global physical climatology**. New York: Academic Press, 1994. 441 p.
- Ma, Y.; Tsukamoto, O.; Ishikawa, H.; Su, Z.; Menenti, M.; Wang, J.; Wen, J. Determination of regional land surface heat flux densities over heterogeneous landscape of HEIFE integrating satellite remote sensing with field observation. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, n. 3, p. 485-501, 2002.
- Monin, A. S.; Obukhov, A. M. Basic laws of turbulent mixing in the atmosphere near the ground. **Trudy Geofizicheskogo Instituta, Akademiya Nauk SSSR**, v. 24, p. 163-187, 1954.
- Moreira, L. C. J. **Evapotranspiração da melancia irrigada por meio do sebal, balanço hídrico e correlações turbulentas**. 2009. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- Oliveira, G. S.; Nobre, C. A.; Costa, M. H.; Prakki, S.; Soares-Filho, B. S.; Cardoso, M. F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, p. 1-7, 2007.
- Timmermans, W. J.; Kustas, W. P.; Anderson, M. C.; French, A. N. An intercomparison of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and the Two-Source Energy Balance (TSEB) modeling schemes. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 4, p. 369-384, 2007.