

Estimativa do Balanço de Radiação via sensoriamento remoto na Amazônia Ocidental

Josiane de Brito Gomes¹
Célia Maria Paiva²
Marcos Leandro Alves Nuñez¹
Alberto Dresch Webler¹
Otto Corrêa Rotunno Filho¹

¹ Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE
Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Bloco B, CEP: 21941-972, Ilha do Fundão, Cidade
Universitária - Rio de Janeiro - RJ – Brasil
josianebrito@coc.ufrj.br
marcosbatarelli@hotmail.com
albertowebler@coc.ufrj.br
otto@coc.ufrj.br

² Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco G1, CEP: 21941-916, Ilha do Fundão, Cidade
Universitária - Rio de Janeiro - RJ – Brasil
célia@lma.ufrj.br

Abstract. Changes in Amazonian landscape are strongly related to physical processes in the hydrological cycle at the watershed scale, regional climate and also biota. Therefore, the evaluation of aspects concerning the energy fluxes at the surface in different regions of this biome is essential to understanding the possible effects of changes in land use. However, due to its vast extent, the measurement of surface fluxes at various points of the Amazon is a challenge, requiring a tool to provide responses for larger areas at lower costs. Thus, with the purpose of validating a methodology for determination of microclimatic parameters and also to support future applications based on studies of impacts of land use change in the Amazon region, this study estimated the radiation balance in a forest area located in Southwest Amazonia, through the surface energy balance algorithm for land – SEBAL, which uses remotely sensed techniques and some surface data. The surface measurements were performed by instruments installed in micrometeorological towers of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia - LBA Program. The evaluation of the data set using the SEBAL algorithm provided reliable estimates for the albedo, the balance of short waves and net radiation, with errors that varied from 3 to 7%. For the balance of long waves, the errors were more expressive, around 30%.

Palavras-chave: SEBAL algorithm, image processing, LBA Program, algoritmo SEBAL, processamento de imagens, Programa LBA.

1. Introdução

Na atualidade, a Amazônia tem sido alvo de intensa preocupação, não somente pelos severos impactos de mudanças climáticas previstas sobre a mesma, como também pela determinante influência que esse ecossistema pode exercer na intensificação ou na mitigação de futuras alterações no clima (Fearnside, 2008).

A forma mais presente e detectável de mudanças no ecossistema amazônico tem sido a conversão de florestas de dosséis fechados em campos de pastagens para a pecuária, que é a principal atividade econômica da região. Tal prática, apesar de representar um expressivo avanço na economia regional, acarreta implicações como emissão de gases de efeito estufa, degradação do solo, perda da biodiversidade, além de possíveis efeitos no microclima. Assim, avaliar os aspectos do clima da região sob diferentes formas de uso do solo é imprescindível ao entendimento de como a Amazônia está mudando por meio do desenvolvimento.

Contudo, devido à ampla heterogeneidade e à vasta extensão territorial do bioma Amazônico, o monitoramento em diferenciados pontos por medidas em superfície é

dificultado. Desse modo, o grande desafio atual é o de estimar os fluxos em superfície com elevado grau de exatidão por meio de ferramentas mais simples e menos onerosas.

Nesse contexto, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido bastante difundidas para obter informações de parâmetros de superfície e da atmosfera, que são importantes para o monitoramento de fluxos ou de parâmetros associados em escala regional e global. Para o monitoramento de extensas áreas, como a Amazônia, é comum a utilização de sensores espaciais a bordo de satélites ambientais (Paiva, 2005; Nicácio, 2008; Ruhoff, 2011; Barros, 2012).

Mediante o exposto, o presente estudo propõe estimar o balanço de radiação em área de floresta localizada na Amazônia Ocidental por meio do algoritmo *Surface Energy Balance for Land – SEBAL*, proposto por Bastiaanssen (1995), que utiliza um número reduzido de dados de superfície e imagens de sensoriamento remoto, buscando validar o algoritmo *SEBAL* para as condições amazônicas, determinando os erros dos valores estimados pelo modelo em relação aos medidos em superfície, para uma análise de dois dias do ano de 2010.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Descrição da área de estudo

O presente estudo foi realizado em um sítio experimental pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Programa LBA), sendo uma área de floresta tropical úmida, situada na Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru), localizada a leste do estado de Rondônia, a aproximadamente 80 km do município de Ji-Paraná (10°11'11,4''S; 61°52'29,9'' W).

Com uma área de 352.000 ha, a REBIO Jaru é classificada como *Floresta Ombrófila Aberta* (Culf *et al.*, 1996). Possui uma vegetação com características de terra-firme, com altura média do dossel de aproximadamente 35 m, sendo que algumas árvores emergentes podem atingir até 45 m. A altitude da área da reserva varia entre 120 m e 150 m, e o solo é caracterizado como podzólico vermelho-amarelo (Hodnett *et al.*, 1996). Com estações seca e chuvosa bem definidas, essa área tem um índice de precipitação médio anual superior a 2000 mm (Webler *et al.*, 2007), sendo a estação chuvosa compreendida entre os meses de novembro a março e a estação seca de julho a setembro. A temperatura média anual registrada é de 25 °C, e a umidade relativa média é de aproximadamente 82%.

2.2 Descrição dos instrumentos e medidas

Foram realizadas medições contínuas de elementos meteorológicos. Os sensores, que medem a temperatura do ar, a radiação solar incidente e refletida, a radiação de onda longa para a superfície e para a atmosfera e o saldo de radiação, foram instalados em torres micrometeorológicas e conectados a um sistema de aquisição de dados (Datalogger CR10X na REBIO Jaru e Datalogger CR23X na FNS, ambos da Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) programado para fazer uma leitura das medidas a cada 30 segundos e depois armazenar uma média a cada 30 minutos. Os instrumentos correspondentes a cada variável medida e suas respectivas alturas de instalação estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1. Lista dos elementos meteorológicos, unidades de medidas, instrumentos e respectivas alturas dos sensores instalados na torre da REBIO Jaru.

Elemento meteorológico	Unidade de medida	Instrumento	Altura do sensor REBIO
Temperatura do ar	°C	Termohigrômetro Vaisala (HMP45D)	61 m

Radiação Solar incidente e refletida	W. m ⁻²	Piranômetros Kipp&Zonen (CM21)	19,3 m
Radiação de onda longa	W. m ⁻²	Pirgiômetros Kipp&Zonen (CG1)	19,3 m
Radiação líquida	W. m ⁻²	Conjunto Saldo radiômetro Kipp&Zonen	58 m

3. Estimativa do balanço de radiação - Algoritmo *SEBAL*

O algoritmo *SEBAL* consiste em um conjunto de combinações de relações empíricas e parametrizações físicas que visa realizar estimativas dos componentes do balanço de energia e, principalmente, da evapotranspiração.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, optou-se por trabalhar com as imagens geradas pelo sensor *moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS)*, pertencente ao Programa EOS a bordo do satélite TERRA. As imagens analisadas foram dos dias julianos 130 (10 de maio) e 132 (12 de maio), período úmido-seco, no ano de 2010, às 14h 09 minutos.

Uma observação importante acerca da estimativa do balanço de radiação via sensoriamento remoto orbital é o fato de tal técnica requerer imagens de satélites que não tenham seus píxeis contaminados pela presença de nuvens. Assim, os dias foram selecionados após a análise dos gráficos da radiação global (R_g); os dias selecionados apresentaram curvas de R_g sem influência de nuvens para a região em estudo.

O *SEBAL* foi processado utilizando ferramentas computacionais. Na estimativa do balanço de ondas curtas (BOC), o *SEBAL* solicita o emprego da imagem com as sete bandas de reflectância da superfície (produto MOD09GA), da radiação global, do dia juliano, da latitude e da hora. Como saída, foram geradas imagens de BOC, de albedo da superfície e do valor da transmitância de ondas curtas.

Na estimativa do balanço de ondas longas (BOL), o *SEBAL* solicita a entrada da transmitância de ondas curtas, da temperatura do ar e da imagem de albedo da superfície. Como saída, foram geradas imagens de BOL e da radiação líquida (RI).

2.3 Determinação dos erros da estimativa do balanço de radiação

Com o intuito de validar a estimativa do balanço de radiação pelo algoritmo *SEBAL*, foi realizada a determinação dos erros, comparando os resultados gerados com os dados medidos em superfície no instante da passagem do satélite.

A diferença entre os resultados é expressa pela Equação 1.

$$\left(\frac{\text{valor estimado} - \text{valor medido}}{\text{valor medido}} \right) * 100 \quad (1)$$

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2, estão resumidos os valores medidos e os estimados pelo *SEBAL* para BOC, BOL, RI e albedo, bem como os erros relativos referentes à comparação dos valores estimados com os dados medidos *in situ*.

Os dados estimados apresentaram valores similares nos dois dias, a saber: o albedo igual a 0,12 em ambos os dias; o BOC igual a 702,24 e 712,24 W.m⁻², respectivamente; o BOL igual a -70,95 e -95,19 W.m⁻², respectivamente; e RI igual a 631,28 e 617,90 W.m⁻², respectivamente. Os resultados aqui apresentados são condizentes aos valores encontrados por diversos autores que analisaram o balanço de radiação na mesma região de estudo utilizando os dados medidos nas torres meteorológicas (Von Randow *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 2006; Andrade *et al.*, 2009; Rocha *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2010).

Para o BOC, o dia 132 apresentou melhores resultados, com um erro relativo de -2,41% entre valores estimados e medidos. Vale salientar que o dia 130 também apresentou resultados satisfatórios, com um erro de 7,39%. Já o BOL estimado pelo *SEBAL* apresentou erros mais elevados com valores iguais a -33,26% e -25,74%.

Tabela 2. Erro relativo (%) das variáveis BOC, BOL, RI e Albedo estimadas pelo *SEBAL*.

	Variáveis	<i>SEBAL</i>	Medido	Erro relativo (%)
Dia 130	BOC	702,24	653,90	7,39
	BOL	-70,95	-106,31	-33,26
	RI	631,28	615,68	2,53
	Albedo	0,12	0,12	4,24
Dia 132	BOC	712,24	729,80	-2,41
	BOL	-95,19	-128,19	-25,74
	RI	617,90	601,61	2,71
	Albedo	0,12	0,12	2,79

A radiação líquida (RI) em ambos os dias apresentou valores de acordo com os medidos, com um pequeno desvio. Os erros encontrados foram iguais a 2,53% (dia 130) e 2,71% (dia 132).

O albedo apresentou bons resultados com erros de 4,24% para o primeiro dia e 2,79% para o segundo. Os erros relativos aqui apresentados são condizentes aos encontrados por Oliveira (2012), que apresentou erros de estimativa de RI e albedo variando entre 5 a 15% para a mesma região.

4. Conclusões

A determinação dos erros dos valores estimados pelo algoritmo em relação aos medidos em superfície denota que o *SEBAL* determina, de forma satisfatória, o albedo, o balanço de ondas curtas (BOC) e a radiação líquida (RI), uma vez que os erros relativos variaram de 3 a 7%. Por outro lado, a estimativa do balanço de ondas longas (BOL) apresentou erros superiores a 25%. Estudos subsequentes focarão a estimativa dos fluxos de calor latente, calor sensível e calor no solo, com objetivo de estimar a evapotranspiração.

Agradecimentos

Ao Programa LBA pela disponibilidade dos dados; ao Programa de Engenharia Civil-COPPE/UFRJ e ao Departamento de Meteorologia – IGEO/UFRJ; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas; aos técnicos do ICMBio pelo suporte nas coletas e aos alunos bolsistas da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) – Ji-Paraná pela coleta e processamento dos dados. Adicionalmente, os autores reconhecem o suporte da FAPERJ pelo apoio financeiro através dos projetos PEC/COPPE – FAPERJ 014/2010 (2010-2012), projeto FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), projeto

FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e projeto IME-PEC/COPPE - CAPES - Aux-PE-PRO-Defense 1783/2008 (2008-2012).

Referências Bibliográficas

Andrade, N. L. R.; Aguiar, R. G.; Sanches, L.; Alves, E. C. R. F.; Nogueira, J. S. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta Amazônica e Floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p. 346-355, 2009.

Aguiar, R. G.; Von Randow, C.; Priante Filho, N.; Manzi, A. O.; Aguiar, L. J. G.; Cardoso, F. L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 248-257, 2006.

Barros, V.R. **Avaliação da evapotranspiração utilizando o algoritmo SEBAL e imagens Landsat5-TM – Estudo de caso: bacia do rio Piabanha/RJ**, 2012. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Costa, M. H.; Biajoli, M. C.; Sanches, L.; Malhado, A. C. M.; Hutyrá, L. R.; Rocha, H. R.; Aguiar, R. G.; Araújo, A. C. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1-9, 2010.

Culf, A. D.; Fisch, G.; Malhi, Y.; Nobre, C. A. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, p. 149-158, 1996.

Fearnside, P. The Roles and Movements of Actors in the Deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v.13, p. 33-55, 2008.

Hodnett, M. G.; Oyama, M. D.; Tomasella, J.; Marques Filho, A. O. Comparisons of long-term soil water storage behavior under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: **Amazonian deforestation and climate** (eds. J.H.C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts, R. L. Victoria). Chichester: John Wiley, 1996. p. 57-77.

Nicácio, R.M. **Mapeamento da evapotranspiração real e da umidade do solo através de sensores orbitais de alta e moderada resolução - Estudos de caso: pólo irrigado Petrolina-PE/Juazeiro-BA e bacia do rio de Ondas**, 2008. 320f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Oliveira, G. **Modelagem do balanço de energia e evapotranspiração na Amazônia brasileira com uso de imagens modis e áster**, 2012. 263f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José do Rio Preto – SP, 2012.

Paiva, C.M. **Estimativa do Balanço de Energia e da Temperatura da Superfície Via Satélite NOAA AVHRR**, 2005. 248f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Rocha, R. H.; Manzi, A. O.; Cabral, O. M.; Miller, S. D.; Goulden, M. L.; Saleska, S. R.; Coupe, N. R.; Wofsy, S. C.; Borma, L. S.; Artaxo, P.; Vourlits, G.; Nogueira, J. S.; Cardoso, F. L.; Nobre, A. D.; Kruijt, B.; Freitas, H. C.; Von Randow, c.; Aguiar, R. G.; Maia, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-8, 2009.

Ruhoff, L.A. **Sensoriamento Remoto Aplicado à Estimativa da Evapotranspiração**, 2011. 166f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Von Randow, C.; Manzi, A. O.; Kruijt, B.; Oliveira, P. J.; Zanchi, F.B.; Silva, R. L.; Hodnett, M. G.; Gash, J. H. C.; Elbers, J. A.; Waterloo, M. J.; Cardoso, F. L.; Kabat, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-22, 2004.

Webler, A. D.; Aguiar, R. G.; Aguiar, L. J. G. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. **Revista Ciência e Natura**, v. Esp., p. 55-58, 2007.

