

DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DO SALDO DE RADIAÇÃO EM FOOTPRINT DE UM SENSOR LAS (LARGE APERTURE SCINTILLOMETER) NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Higor Costa de Brito¹, Rochele Sheila Vasconcelos², Iana Alexandra Alves Rufino³ e John Elton de Brito Leite Cunha⁴

¹Graduando do curso de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande, PB. E-mail: h_igor@hotmail.com; ²Pesquisadora, Bolsista Pós-doc CAPES-ANA, UFCG, Campina Grande-PB. E-mail: rochelly17@hotmail.com; ³ Professor Associado, Doutora, UAEC-CTRN-UFCG, Campina Grande-PB. E-mail: iana.alexandra@ufcg.edu.br ⁴Professor Adjunto, Doutor, CDSA-UFCG, Sumé-PB. E-mail: john.e.cunha@gmail.com

RESUMO

Os cintilômetros são instrumentos de campo que, a partir do uso da equação do balanço de energia podem auxiliar a determinar a evapotranspiração. Para tanto, são necessárias estimativas do saldo de radiação (R_n), geralmente obtidos por sensores acoplados ao mesmo aparelho. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica espacial e temporal do saldo de radiação na área do *footprint* de sensor LAS (Large Aperture Scintillometer), comparando com o valor do pixel onde está localizada uma estação meteorológica (*ground truth*). Os resultados foram obtidos através do processamento de imagens LANDSAT-8 (OLI) utilizando o algoritmo SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm for Land (Bastiaansen, 1995) para duas datas de passagem. Os valores médios obtidos do saldo de radiação apresentaram uma diferença média relativa de cerca de 3,5%, indicando que estes valores podem servir como dados de entrada para obtenção do balanço de energia, junto aos dados do LAS, pois os mesmos representam bem a área de estudo. PALAVRAS-CHAVE: Cintilômetro, balanço de energia, evapotranspiração; saldo de radiação.

ABSTRACT

Scintillometers are field instruments, which can help to estimate the evapotranspiration using an energy balance equation. As an intermediary step, it is necessary to obtain radiation data (R_n) by the sensor. This work aimed to evaluate the spatial and temporal dynamics of the radiation balance in footprint area of the LAS sensor in order to compare with the in situ meteorological data. LANDSAT-8 (OLI) images is used under a SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) algorithm processing for two different dates. The results showed a deviation of 3.5%. So, it means that it is a valid data to obtain the energy balance with the LAS, because they are a good representation for the study area.

Key words: Scintillometers, Energy Balance, Evapotranspiration, Net radiation.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços recentes das tecnologias de sensoriamento remoto via satélite proporcionam uma alternativa para quantificar os fluxos de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre com um fornecimento quase contínuo de dados com alta resolução temporal [1], [2].

Os princípios físicos ligados ao fenômeno da evapotranspiração são relativamente complexos e variáveis no tempo e no espaço [3]. Apesar dessa complexidade, vários métodos foram desenvolvidos para estimar a evapotranspiração (ET). Segundo [4] Entre os métodos experimentais, essa estimativa pode ser feita de diferentes maneiras: balanço hídrico em bacias, lisímetro, métodos das correlações turbulentas, cintilometria, método do balanço de energia baseado na Razão de Bowen, método aerodinâmico, balanço hídrico no solo e sensoriamento remoto. Apesar dos métodos experimentais apresentarem uma boa precisão, alguns métodos são bem pontuais, como é o caso do lisímetro. Outros métodos como o método das correlações turbulentas (Eddy Covariance) e a cintilometria (LAS) apresentam uma maior abrangência espacial.

O cintilômetro consiste em um instrumento óptico composto de um receptor e de um transmissor posicionados a uma determinada distância horizontal no terreno. O transmissor registra a intensidade das flutuações na radiação emitida provocadas por vórtices turbulentos presentes no caminho do feixe de luz. São comumente usados com a equação do balanço de energia para determinar a evapotranspiração (ET), sendo necessárias medidas do saldo de radiação, geralmente obtidos por sensores acoplados ao cintilômetro [5].

A cintilometria tornou-se um método estabelecido de sensoriamento remoto terrestre para determinar fluxos de calor sensíveis e latentes em larga escala em caminhos de 1 a 10 km [6]. Isso fornece representatividade espacial comparável com modelos numéricos meteorológicos e satélite de observação - muitas vezes em terrenos heterogêneos [7].

Alguns cintilômetros, por exemplo, podem realizar medições para um intervalo espacial entre o emissor e receptor do instrumento de até 12.000m [8]. Tais medições permitem uma validação de dados de sensoriamento remoto

no que tange às variáveis biofísicas possíveis de serem extraídas de imagens de satélite para grandes áreas.

A estimativa da ETr através de técnicas de sensoriamento remoto ocorre de forma indireta com base no balanço de energia à superfície. Vários modelos foram desenvolvidos para obter estimativas da ETr a partir de técnicas de sensoriamento remoto. O SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) desenvolvido por Bastiaanssen (1995) e aprimorado por Bastiaanssen et al. (1998) é um modelo para estimativa da ETr amplamente utilizado [9] e que requer o mínimo de dados meteorológicos de campo para sua operação.

Através de valores de reflectância das imagens de SR e de dados meteorológicos, torna-se possível a obtenção de saldo de radiação, fluxo de calor latente e evapotranspiração dentre outras variáveis [10].

Este trabalho configura-se como uma parte inicial da implantação de um experimento de campo usando cintilometria. O principal objetivo deste estudo é avaliar a dinâmica espacial e temporal do saldo de radiação na área do footprint do sensor LAS (*Large Aperture Scintillometer*) comparando valores obtidos por SR com valores medidos na estação meteorológica acoplada ao sensor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA) localizado na Fazenda Lagoa Bonito, Sítio Salgadinho no município de Campina Grande – PB. A escolha da área para instalação dos equipamentos do LAS se deu por apresentar cobertura vegetal homogênea do tipo Caatinga arbórea arbustiva preservada (Figura 1).



Figura 1. Torres onde estão instalados os sensores LAS (Fazenda experimental do INSA em Campina Grande-PB).

É recomendável que o Transmissor e o Receptor estejam em altitudes próximas, para que seja feito o alinhamento entre os mesmos. A altura de medição é

necessária para a aplicação da teoria de *Monin-Obukhov* no cálculo do fluxo de calor sensível turbulento. A grandeza de medição, principalmente a função do índice de refração do ar, depende fortemente da altura, e um caminho inclinado levaria uma média indesejada. No entanto os equipamentos foram instalados aproximadamente em um mesmo nível. Devido não se tratar de uma área plana, foi necessário elevar as torres para alcançar um alinhamento desejável. A primeira torre (Figura 1A), onde está instalado o Transmissor, foi preciso elevar aproximadamente 14 m, chegando a uma altitude de aproximadamente 514 m, a segunda torre (Figura 1B) foi elevada aproximadamente 7 m, com uma altitude final de aproximadamente 513 m. É interessante que as torres estejam a uma altura significativamente maior do que a altura da rugosidade dos elementos.

O footprint do LAS é influenciado pela passagem do vento num caminho perpendicular entre receptor-transmissor, o equipamento foi instalado no sentido norte-sul (Figura 2A), com base na direção dos ventos para a cidade de Campina Grande fornecido pelo portal *Projeteee* (<http://projeteee.mma.gov.br/>).

O footprint da área delimitada para análise foi obtido de acordo com [11], obtendo um total de 2468 pontos e suas representatividades (peso de cada pixel na área) (Figura 2B), onde tons mais escuros referem-se aos pixels mais representativos, decaindo gradualmente.

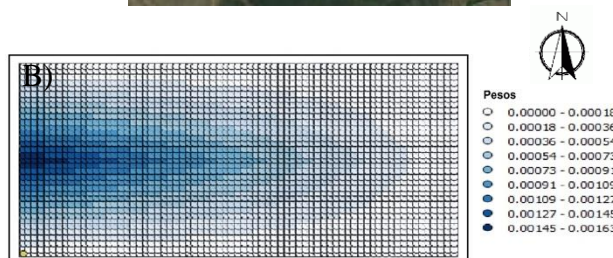


Figura 2. A) Posicionamento do equipamento com área ilustrativa do footprint e B) footprint e sua representatividade.

Para a determinação do saldo de radiação foram utilizadas imagens do sensor OLI, a bordo do LANDSAT 8, adquiridas junto ao United States Geological Survey (USGS). Os dados meteorológicos (temperatura do ar, umidade

relativa e velocidade do vento) que foram utilizados no processamento das imagens para obtenção do balanço de radiação, fornecidos pela Agência executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

A atmosfera pode ser entendida como uma máquina térmica, que depende, basicamente, da energia solar para seu movimento [12]. A principal fonte de energia utilizada no processo de evapotranspiração é a radiação solar.

O saldo de radiação à superfície R_n (Wm^{-2}), apresentado pela Figura 3, é o resultado de um balanço entre a radiação de ondas curtas absorvidas e a radiação de ondas longas emitidas. O balanço de radiação é computado utilizando a equação 1:

$$R_n = R_{s\downarrow} (1 - \alpha) - R_{L,emit} + R_{L,atm} - (1 - \epsilon_0) \cdot R_{L,atm} \quad (1)$$

Onde:

$R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente,

α é o albedo corrigido de cada pixel;

$R_{L,atm}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel;

$R_{L,emit}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel;

ϵ_0 é a emissividade de cada pixel.

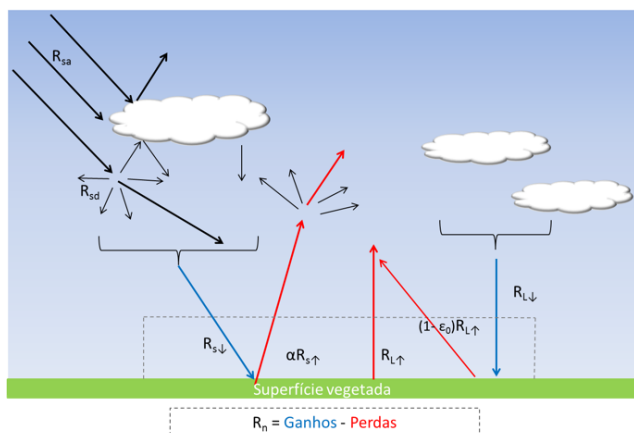


Figura 3. Saldo de radiação na superfície (Fonte: Cunha, 2011)

A radiação solar incidente na superfície é constituída de radiação na faixa de ondas curtas ($0,3\mu m$ a $3,0\mu m$). A radiação de onda curta incidente à superfície ($R_{s\downarrow}$) é igual a radiação direta (R_{sa}) acrescida da radiação difusa (R_{sd}) (Figura 1). Parte de $R_{s\downarrow}$ é refletida pela superfície e, a parcela da radiação incidente refletida, é definida como albedo da superfície (α) [8]. O restante é absorvido pela superfície.

As magnitudes das componentes do balanço de energia dependem de muitos fatores tais como: tipo de superfície e suas características (umidade do solo, textura, vegetação, etc), localização geográfica, estação do ano, hora do dia e clima [13]. Em superfícies vegetadas, a evapotranspiração, modulada pelo fluxo de calor latente, é normalmente o processo que mais demanda energia [14].

O processamento dos dados orbitais para obtenção do saldo de radiação da superfície (R_n) foi realizado na linguagem de programação R[®] através da interface RStudio[®]. Todas as etapas de processamento ([15] e [16]) são apresentadas no fluxograma da Figura 4.

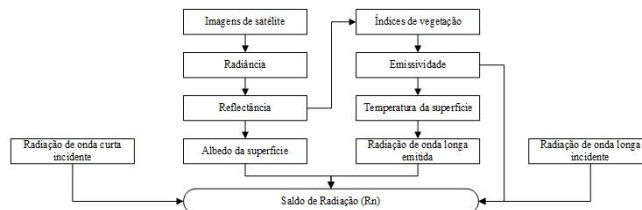


Figura 4. Etapas de processamento para obtenção do saldo de radiação.

Os dados de saldo de radiação para a área do footprint do LAS (R_n_{LAS}) e para o pixel referente a estação meteorológica ($R_n_{Estação}$) foram analisados através da Diferença Média Relativa (DMR%) conforme a equação 2.

$$DMR\% = \left(\frac{R_{n_{LAS}} - R_{n_{Estação}}}{R_{n_{LAS}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

3. RESULTADOS

Pode-se verificar a variação espacial e temporal do saldo de radiação correspondente à área do footprint do sensor LAS (Figura 5) para os dias 08/10/2016 e 11/12/2016. Para o dia 08/10/2016 o valor médio do saldo de radiação foi de $540 W/m^2$, enquanto para o dia 11/12/2016 a média foi de $537,26 W/m^2$.

Pode-se notar que os mapas exibem uma distribuição heterogênea, e que, na direção noroeste apresentaram valores menores em ambas as imagens, esse comportamento indicou que o footprint do LAS ultrapassa a área de vegetação Caatinga preservada, atingindo áreas de vegetação rala e solo exposto, uma vez que apresentou altos valores de albedo e baixos índices de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

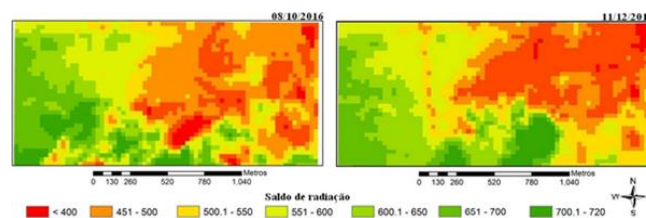


Figura 5. Saldo de radiação (W/m^2) na área experimental do footprint.

De acordo com [17], a diferença no saldo de radiação na análise de classes de solo está ligada a estrutura e/ou falta de vegetação, a disponibilidade hídrica da superfície e as propriedades térmicas da superfície.

A Tabela 1 compara o valor de R_n representativo para o footprint, levando em consideração seus respectivos pesos, e o valor medido no pixel onde se encontra a estação meteorológica e sua respectiva DMR (%) para os dias em estudo.

Tabela 1 – Análise dos valores de R_n para os dias estudados.

	08/10/2016	11/12/2016
R_{nLAS} (W/m ²)	565,48	553,99
$R_{nEstação}$ (W/m ²)	585,27	573,08
DMR (%)	3,50	3,45

Os valores obtidos no *footprint* apresentam uma diferença média relativa na faixa de 3,5%, o que demonstra boa aproximação entre os valores obtidos do saldo de radiação nas duas áreas.

5. CONCLUSÕES

Os dados obtidos por sensoriamento remoto representaram de maneira eficiente as variações temporais e espaciais do saldo de radiação.

Os valores do saldo de radiação obtidos para o pixel da estação meteorológica representaram bem a área de estudo, podendo ser utilizado como dado de entrada para obtenção do balanço de energia, junto aos dados do LAS. Mesmo diante dos bons resultados são necessários estudos futuros de validação com mais dados medidos em campo para confirmação desse estudo preliminar. Ressalta-se que o experimento citado neste trabalho continua sendo executado e que campanhas de dados coletados pelo LAS poderão assegurar uma maior validação de dados de SR na Caatinga.

6. REFERÊNCIAS

[1] Lu, M.; Hamunyela, E.; Verbesselt, J.; Pebesma, E. “Dimension Reduction of Multi-Spectral Satellite Image Time Series to Improve Deforestation Monitoring”. *Remote Sensing*, volume (9), no.10: 1025, 2017.

[2] Hamunyela, E.; Reiche, J.; Verbesselt, J.; Herold, M. “Using Space-Time Features to Improve Detection of Forest Disturbances from Landsat Time Series”. *Remote Sensing*, volume (9), no.6: 515, 2017.

[3] Allen, R. G. “Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, volume 122: 97–106, 1996.

[4] Oliveira, M.L. Estimativa da evapotranspiração utilizando SEBAL automatizado em clima mediterrânico. Dissertação de Mestrado. PPGECA-UFCG, Campina Grande:2018.

[5] Meijninger, W.M.L.; Hartogensis, O. K.; Kohsiek, W.; Hoedjes, J. C. B.; Moorhead, J. E.; Marek, G. W.; Colaizzi, P. D.; Gowda, P. H.; EVett, S. R.; Brauer, D. K.; Marek, T. H.; Porter, D. O. “Evaluation of Sensible Heat Flux and Evapotranspiration Estimates Using a Surface Layer Scintillometer and a Large Weighing Lysimeter”. *Sensors*, volume 17:1-23, 2017.

[6] Kohsiek, W.; Meijninger, W. M. L.; Moene, A. F.; Heusinkveld, B. G.; Hartogensis, O. K.; Hillen, W.; De Bruin, H. A. R. “An extra Large Aperture Scintillometer for long range applications”. *Boundary-Layer Meteorology*, volume 105:119-127, 2002.

[7] Beyrich F.; De Bruin H. A. R.; Meijninger W. M. L.; Schipper J. W.; Lohse H. “Results from one-year continuous operation of a Large Aperture Scintillometer over a heterogeneous land surface”. *Boundary-Layer Meteorology*, volume 105: 85–97, 2002.

[8] Cunha, J. E. B. L. Estimativa do Balanço de Energia e Evapotranspiração: Aplicações no Semiárido Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado, PPGECA-UFCG, Campina Grande:2011.

[9] Gowda, P.; Chavez J.; Colaizzi, P.; Evett, S.; Howell, T.; Tolk, J. “Remote sensing based energy balance algorithms for mapping ET: Current status and future challenges”. *Transactions of the ASABE*, 2007.

[10] Machado, C.C.C; Galvêncio, J.D.; Oliveira, T.H. “Estimativa dos valores de Saldo de Radiação e de Fluxo de Calor no Solo no município de São José do Sabugi – PB (Brasil), utilizando o algoritmo SEBAL. In: *VI Seminário Latino Americano de Geografia Física/II Seminário Ibero Americano de Geografia Física*, Anais. Coimbra: 2010.

[11] Sampaio, R. J. “Estimativa de fluxo de calor sensível com suporte de cintilometria – estudo de caso: cidade universitária - Ilha do Fundão/RJ”. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFRJ. Rio de Janeiro: 2017.

[12] Collischonn, W.; Dornelles, F. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

[13] Kjaersgaard, J.H.; Cuenca, R. H.; Plauborg, F. L.; Hansen. S. “Long-term comparisons of net radiation calculation schemes”. *Boundary-Layer Meteorology*, 2007.

[14] Santos, T. V. Fluxos de calor na superfície e evapotranspiração diária em áreas agrícolas e de vegetação nativa na bacia do jacuí por meio de imagens orbitais. *Dissertação de Mestrado*, UFRGS, 2009.

[15] Bastiaanssen, W. G. M. “SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey”. *Journal of Hydrology*, volume 229, p.87-100, 2000.

[16] Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R.; Waters, R.; Bastiaanssen, W. “Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL)”. *Advanced Training and users Manual*, Kimberly, Idaho, 2007.

[17] Oke, T. R.; Spronken-Smith, R. A.; Jahuregui, E.; Grimmond, C. S. B. “The energy balance of central Mexico City during the dry season”. *Atmospheric Environment*, volume 33, p. 3919-3930, 1999.