

## Mapeamento do saldo de radiação no Parque Nacional de São Joaquim – SC

Aline Bernarda Debastiani<sup>1</sup> Eder Alexandre Schatz Sá<sup>2</sup> Rorai Pereira Martins Neto<sup>3</sup> Marcos Benedito Schimalski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Rodovia Régis Bittencourt, 9082-9174 - Jardim Botânico, Curitiba - PR, CEP: 80050-540.

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Av. Luís de Camões, 2090 - Conta Dinheiro, Lages - SC, 88520-000.

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Roberto Símmons, 305, Presidente Prudente - SP, 19060-900.

\* Author for correspondence: aline.debastiani@gmail.com

Received: 03 May 2017 / Accepted: 18 June 2018 / Published: 30 September 2018

### Resumo

A quantificação da radiação solar é de suma importância, pois é a principal fonte de energia para os processos de aquecimento ou resfriamento da superfície terrestre e do ar, para a evapotranspiração e para o metabolismo das plantas e animais. Os equipamentos denominados de saldo radiômetros permitem mensurar o saldo de radiação, porém são limitados por fornecerem medidas pontuais. Diante disso, dados de sensoriamento remoto aparecem como ferramenta para fornecer estimativas distribuídas espacialmente. O objetivo do presente estudo foi estimar o saldo de radiação por meio de técnicas de sensoriamento remoto e comparar com estimativas de dados de uma estação de superfície. O estudo foi realizado no Parque Nacional de São Joaquim para o dia 30 de janeiro de 2014. Foram utilizadas: uma imagem do Satélite Landsat 8, modelo digital do terreno e dados meteorológicos obtidos em uma estação de superfície. O saldo de radiação obtido utilizando a imagem de satélite seguiu a metodologia do SEBAL e o saldo de radiação para a estação de superfície resultou da Equação de Brunt. Os maiores valores do saldo de radiação foram encontrados nas classes de água e floresta, enquanto os menores valores foram obtidos em locais de solo exposto e agricultura.

**Palavras-chave:** Albedo, sebal, Landsat 8, Equação de Brunt

### Abstract

Quantification of solar radiation is of importance paramount because it is the main source of energy for process heating or cooling of the earth's surface and the air to evapotranspiration and plant metabolism and animals. The equipment called balance radiometers allow measure the net radiation, but are limited by providing specific measures. In the face, of which remote sensing data appear as a tool to provide estimates spatially distributed. The aim of this study was to estimate the net radiation through remote sensing techniques and comparing data with estimates of a surface station. The study was conducted in São Joaquim National Park for the day January 30 of 2014, were used: an image of the satellite Landsat 8, digital terrain model and meteorological data from a surface station. The net radiation obtained using a satellite image follows the methodology of SEBAL and net radiation for station of surface resulted from Brunt equation. The highest values of net radiation were found in the water and forest classes, while the lowest values were obtained in exposed soil and agricultural sites.

**Keywords:** Albedo, sebal, Landsat 8, Brunt equation

### Introdução

De acordo com Weligepolage (2005) o saldo de radiação (Rn) representa a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre sendo definido como o balanço de radiação de todos os fluxos radiativos que chegam e saem de uma superfície. De acordo com Giongo (2010) a quantificação da radiação solar, da energia incidente e emitida por uma superfície e do Rn são de suma importância

para a implantação de modelos meteorológicos, agrometeorológicos e hidrológicos, já que de acordo com Pereira et al. (1997) é o principal responsável pelo aquecimento do solo e do ar, bem como pela evapotranspiração.

Os saldo-radiômetros permitem a mensuração do Rn, no entanto, estes equipamentos fornecem medidas pontuais dessa variável, sendo representativos somente para pequenas áreas homogêneas. Estudos em áreas maiores e com grande variabilidade espacial necessitam de uma determinação do Rn de forma distribuída, que permita inferir sobre os diferentes efeitos da cobertura da terra e sobre as características refletivas da superfície (Di Pace et al. 2008).

Neste contexto, as técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto são alternativas para a estimativa do Rn de forma distribuída para todas as classes de uso da terra. Alguns trabalhos vêm utilizando o método SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), proposto por Bastiaanssen et al. (1998) para a estimativa deste balanço radioativo. O SEBAL é um modelo de processamento de imagens de satélite para o computo da evapotranspiração em grandes áreas. Este algoritmo calcula a evapotranspiração como um resíduo do balanço de energia da superfície, tendo o Rn como parte de sua formulação.

A estimativa do saldo de radiação por meio de imagens de satélite já vem sendo utilizada em diversos estudos nos últimos anos, porém não existem estudos publicados que avaliem o uso do satélite Landsat 8, sensor OLI e a validação dos resultados não tem recebido merecida atenção.

Dado o exposto acima, o objetivo do presente estudo foi estimar e espacializar para diferentes classes do uso do solo o Rn utilizando dados do satélite Landsat 8, sensor OLI/TIRS e validá-los com estimativas oriundas de dados de estação meteorológica de superfície aplicados à equação de Brunt.

### Material e Métodos

#### Área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Nacional de São Joaquim, esse é uma unidade de conservação federal localizado no estado de Santa Catarina, engloba os municípios de Urubici, Bom Jardim da Serra, Grão-Pará e Orleans (ICMBIO 2015).

O parque está inserido no bioma mata atlântica, possui 49.300 ha, e tem sua formação geológica composta por rochas magmáticas extrusivas, com predomínio de basalto, que formam conjuntamente com as formações de arenito um local propício a recarga e descarga do aquífero guarani (ICMBIO 2015).

#### Base de dados

Para este estudo foi utilizada uma imagem multiespectral do satélite Landsat 8, sensor OLI/TIRS (Operational Land Imager/ Thermal InfraRed Sensor), sendo órbita 221 e ponto 79, obtida do catálogo de imagens do Serviço Geológico Americano (USGS). A data de passagem do satélite foi o dia

30 de janeiro de 2014, às 13h13 horário local. Esta data foi escolhida devida a ausência de nuvens na área de estudo. Para o cálculo do SEBAL, foram utilizadas as bandas correspondentes as regiões do azul (banda 2), vermelho (banda 4), infravermelho próximo (banda 5), infravermelho de ondas curtas (banda 6) e infravermelho de ondas longas – termal (banda 10).

Como o intuito do trabalho foi estimar o Rn nos diferentes usos do solo do Parque Nacional de São Joaquim, a imagem Landsat 8, com a composição RGB 654, foi classificada por meio classificador supervisionado Support Vector Machine (SVM), cujas classes temáticas foram definidas de acordo com o conhecimento empírico na ocupação do solo na área de estudo. A classe sombra foi separada na classificação, porém não é apresentada nos resultados.

Além da imagem Landsat 8, foi utilizado o modelo digital de terreno ASTER GDEM no cálculo da transmitância

atmosférica ( $\tau_{sw}$ ) a qual é necessária para o cálculo do saldo de radiação. O modelo digital de terreno possui uma resolução espacial de 30m, também obtido pela plataforma USGS. Optou-se por este modelo por ser compatível com a resolução espacial da imagem Landsat.

As etapas de processamento para o cálculo do Rn utilizando o SEBAL e classificação da imagem pelo método SVM foram realizados no software ENVI 5.1.

Os dados meteorológicos para este estudo foram adquiridos junto a EPAGRI, correspondendo ao posto na cidade de São Joaquim (353), para a mesma data da imagem de satélite. Os dados utilizados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis mensuradas na estação meteorológica de São Joaquim no dia 30 de janeiro de 2014.

	Estação São Joaquim
Temperatura máxima	28,4 °C
Temperatura mínima	18,2 °C
Umidade máxima	68%
Umidade mínima	39%
Horas de Insolação	11,2 h
Velocidade do vento	7,2 km/h

#### Estimativa do Rn com dados do satélite Landsat 8

Para cada pixel da imagem de satélite foram convertidos os números digitais (ND) em valores de radiância e realizada a correção atmosférica para a obtenção dos valores de reflectância de superfície na imagem. Nesta etapa foi utilizado o algoritmo FLAASH (Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) que corrige os efeitos do espalhamento e absorção atmosférica baseado no modelo de transferência radiativa MODTRAN (EXELIS, 2014). Posteriormente, foram calculados o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e LAI (Índice de Área Foliar), transformada a banda 10 em temperatura de superfície (°C), e também transformado estes valores em albedo da superfície para a estimativa do Rn.

O Rn se refere a diferença entre os ganhos e perdas radiativas, sendo expresso pela Equação 1.

$$Rn = (1 - \alpha_{sup})R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \delta_0)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

Em que: Rn: é o saldo de radiação ( $W m^{-2}$ );  $\alpha_{sup}$ : é o albedo da superfície (adimensional);  $R_{s\downarrow}$ : radiação de onda curta incidente ( $Wm^{-2}$ );  $R_{L\downarrow}$ : radiação de onda longa incidente

( $Wm^{-2}$ );  $R_{L\uparrow}$ : radiação de onda longa emitida ( $Wm^{-2}$ );  $\delta_0$ : emissividade da superfície (adimensional).

O Rn varia no espaço e no tempo, dependendo das características da superfície estudada, em que varia o valor do albedo, irradiância solar global, temperatura e umidade da superfície e do ar. Por isso tomou-se o cuidado de adquirir dados de estação meteorológica para a mesma data e local.

Por não existir cálculo específico para obtenção do albedo da superfície para o satélite Landsat 8 optou-se por utilizar a equação específica para o satélite Landsat 7, Equação 2.

$$\alpha_{sup} = \frac{0.35\rho_2 + 0.130\rho_4 + 0.373\rho_5 + 0.085\rho_6 + 0.072\rho_7 - 0.0018}{0.356 + 0.130 + 0.373 + 0.085 + 0.072} \quad (2)$$

Onde:  $\rho_2, \rho_4, \rho_5, \rho_6$  e  $\rho_7$  são as refletâncias de superfície das bandas 2 (azul), 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo), 6 e 7 (infravermelho de ondas curtas 1 e 2) do satélite Landsat 8, respectivamente.

A radiação da onda longa incidente pode ser obtida pela Equação 3.

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos\theta \cdot dr \cdot \tau_{sw} \quad (3)$$

Onde: S: constante solar ( $1367 Wm^{-2}$ );  $\cos\theta$ : cosseno do ângulo zenital solar, calculado utilizando o ângulo de elevação solar; dr: inverso do quadrado da distância relativa da terra-sol;  $\tau_{sw}$ : transmitância atmosférica.

O inverso do quadrado da distância relativa da terra ao sol pode ser obtido pela Equação 4.

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos \frac{Dj \cdot 2 \cdot \pi}{365} \quad (4)$$

Onde: Dj: corresponde ao dia sequencial do ano.

A transmitância atmosférica é calculada através da Equação 5.

$$\tau_{sw} = 0,75 + (2 \cdot 10^{-5} \cdot Z) \quad (5)$$

Onde: Z: altitude obtida pelo modelo digital de terreno (m).

A radiação de onda longa emitida pode ser obtida pela Equação 6.

$$R_{L\uparrow} = \delta_0 \cdot \theta T_s^4 \quad (6)$$

Onde:  $\theta$ : constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ );  $T_s$ : temperatura da superfície (°K).

Para a determinação da emissividade da superfície ( $\delta_0$ ) utilizou-se a Equação 7, quando o valor do NDVI > 0 e LAI < 3 e quando LAI > 3 adotou-se o valor 0,98. Para a água quando o NDVI < 0 adotou-se  $\delta_0 = 0,985$ .

$$\delta_0 = 0,95 + 0,01 \cdot LAI \quad (7)$$

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) (Equação 8) é obtido de medidas radiométricas de vegetação, índices estes utilizados para avaliar a variação temporal e espacial dos dados biofísicos, como o Índice de Área Foliar (IAF). O IAF foi obtido pela Equação 9, descrita por Xavier e Vettorazzi (2004).

$$NDVI = \frac{IV - V}{IV + V} \quad (8)$$

Onde: IV: banda 5 do satélite landsat 8, correspondendo ao infravermelho próximo; V: banda 4 do satélite landsat 8, correspondendo a banda do vermelho.

$$LAI = 1,4560 * NDVI^{5,5249} \quad (9)$$

A radiação de onda longa incidente é computada usando a Equação 10.

$$R_{L\downarrow} = \delta_a \cdot T_a^4 \quad (10)$$

Onde:  $T_a$ : é a temperatura (°K), e  $\delta_a$ : representa a emissividade da atmosfera, computada pela Equação 11.

$$\delta_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{SW})^{0,09} \quad (11)$$

Onde:  $\tau_{SW}$ : representa a transmitância da atmosfera.

Em seguida foi estimado o Rn médio diário ( $Rn_{24h}$ ) que é descrito por De Bruin (1987), expresso pela Equação 12.

$$Rn_{24h} = (1 - \alpha_{sup}) * R_{c\downarrow 24h} - 110\tau \quad (12)$$

Onde,  $R_{c\downarrow 24h}$ : corresponde a radiação de ondas curtas incidentes ( $W m^{-2}$ );  $\tau$ : é a transmissividade da atmosfera, razão entre a radiação solar global diária e a radiação solar no topo da atmosfera ( $R_{toa}$ ), estimada pela Equação 13.

$$R_{toa} = 37,58d_r (w_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin w_s) \quad (13)$$

Onde,  $d_r$ : inverso do quadrado da distância relativa da terra ao sol;  $\varphi$ : é a latitude (rad);  $\delta$ : declinação solar (rad);  $w_s$ : ângulo horário do pôr do sol (rad).

Em que o ângulo horário do pôr do sol é calculado pela Equação 14.

$$Ws = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (14)$$

#### Estimativa do Rn com dados de estação de superfície

Os dados mensurados pela estação de superfície foram aplicados a equação de Brunt (1932) para estimar o Rn diário e comparar aos resultados obtidos pela imagem do satélite Landsat 8. Essa equação relaciona a radiação de ondas curtas, que são absorvidas pela superfície terrestre e a radiação de ondas longas, emitida pela mesma (Equações 15 e 16).

$$Rn = R_c - R_l \quad (15)$$

$$Rn = R_s (a + b \cdot \frac{n}{N}) (1 - r) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 e_a^{\frac{1}{2}}) \cdot (0,1 + 0,9 \cdot \frac{n}{N}) \quad (16)$$

Onde: Rn: corresponde ao saldo de radiação ( $cal/cm^2/dia$ );  $R_c$ : é a radiação de ondas curtas ( $cal/cm^2/dia$ );  $R_l$ : é a radiação de ondas longas ( $cal/cm^2/dia$ );  $r$ : é o albedo para cada classe de uso do solo constante em literatura (-);  $R_s$ : corresponde a radiação solar no topo da atmosfera ( $cal/cm^2/dia$ );  $a$ ,  $b$ : são os constantes de Angstrom para o local;  $n$ : é a insolação (h);  $N$ : insolação máxima possível (h);  $\sigma$   $T_a^4$ : é a radiação teórica do corpo negro à temperatura média ( $T_a$ ) do ar ( $880 cal/cm^2/dia$ );  $e_a$ : é a tensão atual do vapor d'água (mmHg).

Ainda a fim de comparação, foi realizado o teste de Tukey a 95% de probabilidade para comparações de médias dos valores estimados pela imagem de satélite e pela estação de superfície.

#### Resultados e discussão

O mapa de uso e ocupação do solo apontou que o Parque Nacional de São Joaquim possui aproximadamente 45962,37 ha, destes, mais de metade da área é dominada por floresta natural (50,98%), seguida por pastagens (27,09%) e áreas de banhado (11,36%). Essas proporções de áreas florestadas já eram esperadas visto que o Parque Nacional de São Joaquim é uma unidade de conservação de controle do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação).

Os valores do Rn obtidos por meio do processamento da imagem Landsat 8 para cada classe de uso da terra estão descritos na Figura 1, onde podem ser vistos os valores mínimo, médio e máximo.

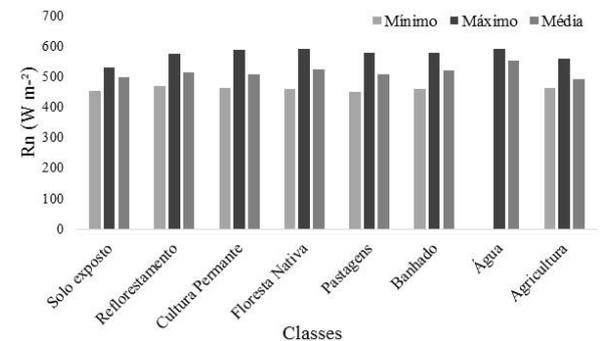


Figura 1. Descrição do Rn para o Parque Nacional de São Joaquim

Verifica-se que os valores máximos do Rn correspondem a classes de água ( $592,20 W m^{-2}$ ) e nas áreas ocupadas por floresta nativa ( $590,44 W m^{-2}$ ). Já os menores valores de Rn estão nas classes de agricultura ( $490,99 W m^{-2}$ ) e solo exposto ( $498,89 W m^{-2}$ ).

Esses resultados conferem com o descrito por Gusmão et al. (2011) que encontraram para a água valores de Rn acima de  $575 W m^{-2}$  para uma área no Tocantins, Silva et al. (2005) se depararam com valores superiores a  $731 W m^{-2}$  para uma área na Bahia. Para a vegetação nativa, Gusmão et al. (2011) encontraram valores entre 500 e  $575 W m^{-2}$ , já Gomes et al. (2009) encontraram valores entre 376,2 e  $628,5 W m^{-2}$  para o cerrado. Para a classe de solo exposto, Gomes et al. (2009) registraram valores entre 300 e  $400 W m^{-2}$  e Chavez et al. (2007) encontraram valores entre 500 e  $550 W m^{-2}$ .

Uda et al. (2013) encontraram os maiores valores de Rn para água, floresta natural, reflorestamento e solo exposto escuro e os menores valores nas áreas com menor biomassa, sendo na área urbana e nas áreas de solo exposto com coloração mais clara. Moreira et al. (2011) também observaram que os menores valores de Rn estão associadas as áreas urbanas, que apresentam uma coloração mais escura e os valores maiores aparecem nas áreas de vegetação e corpos hídricos. Essas diferenças estão relacionadas aos diferentes valores de albedo obtidos na superfície. Segundo Uda et al. (2013) os maiores valores de Rn estão associados às classes com menores valores de albedo, isso pode ser observado comparando os valores médios encontrados para cada classe de uso da terra e os valores de albedo encontrados na literatura (Tabela 2).

Maiores valores de albedo favorecem uma maior refletância dos alvos, isso é, quanto maior o albedo, maior é a quantidade de radiação que a superfície perde para a atmosfera e consequentemente menor é o Rn. Observa-se que áreas mais claras, como as de solo exposto e agricultura, por possuírem maiores albedos, acabam refletindo uma maior porcentagem da radiação de ondas curtas, que em conjunto com uma maior perda por radiação de ondas longas reduzem a quantidade de energia na forma de Rn.

Os valores de CV indicam que as áreas com Rn mais homogêneas foram as de banhado (1,84%), a classe com maior CV é a água (4,40%), a qual apresenta a maior amplitude dos valores de Rn encontrados, possivelmente está classe apresenta maior mistura espectral dos pixels e confusão na classificação.

Na Figura 2 é possível observar a distribuição espacial do Rn para o Parque Nacional de São Joaquim para o momento de aquisição da imagem de satélite.

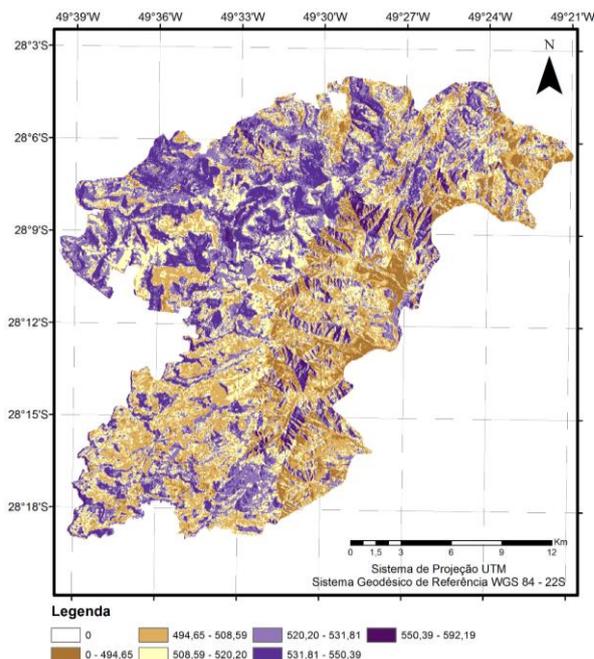


Figura 2. Distribuição espacial do Rn (W m<sup>2</sup>) no Parque Nacional de São Joaquim

Na Tabela 2 podem ser visualizados os valores da amplitude do albedo e Rn médio diário obtido do satélite Landsat 8 e Rn diário calculado com dados de uma estação de superfície e albedo encontrado na literatura para cada classe de cobertura da terra.

Tabela 2. Amplitude do albedo e Rn médio diário obtido com dados do satélite Landsat 8, Rn calculado com dados de uma estação de superfície e albedo descrito na literatura

	Satélite Landsat 8		Estação de superfície	
	Albedo Mín - Máx	Rn (W m <sup>2</sup> ) Mín - Máx	Albedo	Rn (W m <sup>2</sup> )
Solo exposto	0,10 – 0,26	137,93 181,97	0,27	158,56
Reflorestamento	0,04 – 0,24	142,93 197,96	0,14	202,89
Cultura Permanente	0,05 – 0,25	140,53 196,43	0,23	172,22
Floresta Nativa	0,02 – 0,23	144,06 204,20	0,15	199,42
Pastagens	0,06 – 0,28	131,30 192,82	0,22	175,58
Banhado	0,03 – 0,25	140,91 201,70	0,15	199,42
Água	0,02 – 0,18	160,39 205,19	0,04	236,92
Agricultura	0,10 – 0,26	138,07 182,12	0,23	172,22

Verifica-se que os valores de albedo obtidos a partir dos dados do satélite Landsat 8 variaram de 0,02 a 0,28, enquanto os valores obtidos na literatura variaram de 0,04 a 0,27. Entretanto, os dados demonstram que os valores de albedo seguiram o mesmo padrão de variação nas diferentes coberturas da terra.

Com exceção do albedo para a classe de solo exposto, todos os valores listados na literatura estão dentro da amplitude estimada a partir dos dados do satélite Landsat 8. Com relação ao Rn, os valores estimados com dados da estação de superfície para as classes de reflorestamento e água não estão dentro da amplitude de valores estimados a partir dos dados do satélite Landsat 8. Optou-se em comparar toda a amplitude de valores obtidos pela imagem do satélite Landsat 8 pela variabilidade encontrada dentro de cada classe de uso do solo, e por se desconhecer as características específicas dos locais utilizados para obter o albedo existente

na literatura. Dessa forma, é possível constatar mais uma vantagem das estimativas por meio de imagens de satélite, estimativas distribuídas espacialmente e obtidas em diferentes particularidades de uma mesma classe.

Os valores do Rn e albedo seguiram o mesmo padrão de variação nas diferentes coberturas da terra, os menores valores de Rn encontrados foram referentes as classes de solo exposto, cultura permanente e agricultura, sendo para estas classes os maiores albedos, e os maiores valores de Rn estão associados aos menores albedos, sendo para a classe ocupada por água.

A dispersão do Rn médio obtido pelos dados do satélite e para o Rn estimado a partir dos dados da estação de superfície (Figura 3) apresentou coeficiente de determinação de 0,887 e coeficiente de correlação de 0,942, o que indica um bom ajuste entre os valores estimados. Resultado semelhante foi encontrado por Giongo et al. (2010) que obteve uma correlação de 0,994 e 0,984 entre os valores estimados com dados do satélite Landsat 5 e calculados por estações meteorológicas de superfície.

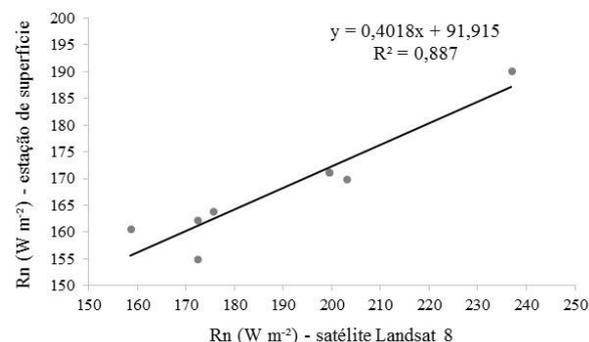


Figura 3. Dispersão gráfica do Rn médio obtido pelos dados do satélite e para o Rn estimado a partir dos dados da estação de superfície.

Gomes et al. (2009) com a utilização de uma imagem do satélite Landsat 5, compararam os dados obtidos com os mensurados em duas torres micrometeorológicas. Nas áreas irrigadas houve uma subestimativa do Rn em 7% e 0,78% nas áreas secas. Os autores concluíram que a metodologia alcançou valores consistentes.

Santos et al. (2010) encontraram uma diferença de aproximadamente 23% nos valores do Rn estimados com imagem do sensor ASTER (687 W m<sup>-2</sup>) e medido por instrumentos sensores instalados em torres micrometeorológicas (558 W m<sup>-2</sup>).

O teste de média de Tukey apontou que existem diferenças significativas a 95% de probabilidade, entre os valores médios de Rn obtido a partir da imagem de satélite e o obtido pela estação de superfície. Este fato pode estar relacionado ao fato justificado anteriormente, da alta variabilidade dos valores encontrados para cada classe, que em média se diferem estatisticamente.

**Conclusões**

De acordo com as estimativas obtidas pela imagem do satélite Landsat 8, pode-se concluir que o método avaliado estimou valores de saldo de radiação com amplitude dentro do obtido em estação de superfície para os diferentes usos da terra encontrados no Parque Nacional de São Joaquim. Além disso, estes resultados estão coerentes com os resultados encontrados na literatura.

Verifica-se que o método de estimativa avaliado representa uma boa alternativa para a obtenção dos valores de saldo de radiação para áreas de grande extensão e com heterogeneidade espacial, de forma rápida e com precisão similar aos métodos tradicionais.

## Referências

- Bastiaanssen WGM (1995) *Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate*. Tese, Wageningen Agricultural University, 1995, 273p.
- Brunt D (1932) *Notes on radiation in the atmosphere*. *Quart. Journal of Royal Meteorological Society*, 58: 389-420.
- Chavez JL, Gowda PH, Marek TH, New LL (2007) *Evapotranspiration mapping using METRIC™ for region with highly advective conditions*. In: ASABE Annual International Meeting, Minneapolis. Anais...Minneapolis: ASABE, 2007. CD Rom.
- Di Pace FT, Silva BB, Silva VPR, Silva STA (2008) Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4): 385-392.
- Exelis Visual Information Solutions (2014). *ENVI Version 5.1*.
- Giongo PR, Moura GBA, Silva APN, Medeiros SRR (2010) Uso do sensoriamento remoto para estimar o saldo de radiação em área de cana-de-açúcar e cerrado. *Revista científica eletrônica de agronomia*, 18(1): 8-21.
- Gomes HF, Silva BB, Cavalcanti EP, Rocha HR (2009) Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. *Geociências*, 28: 153- 164.
- Gusmão ACVL, Silva BB, Montenegro SMGL, Galvêncio JD (2012) Determinação do saldo radiativo na ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(10): 1107-1114.
- ICMBIO (2015) Parque Nacional de São Joaquim. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/parnasaojoaquim/>>.
- Moreira EBM, Nóbrega RS, Silva BB (2011) Estimativa do saldo de radiação instantâneo na cidade do Recife, através de imagens do satélite Landsat 5 TM. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3: 589-601.
- Pereira AR, Nova NAV, Sediya GC (1997) *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba. FAELQ.
- Uda PK, Corseuil CW, Kobiyama M (2013) Mapeamento do saldo de radiação da bacia do alto Rio Negro, região sul brasileira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(2): 249-258.
- Weligepolage K (2005) *Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration by satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek, the Netherlands*. Tese, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, p.114.
- Xavier AC, Vettorazzi CA (2004) Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1661-1672.
- Santos VS, Fontana DC, Alves RCM (2010) Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 45(5): 488-496.
- Silva BB, Lopes GM, Azevedo PV (2005) Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20: 243-252.