



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## **Análise comparativa de modelos matemáticos para estimativas do saldo de radiação em áreas de pastagens**

Francesca Lima Crews<sup>1</sup>, Emilly Rayane dos Santos Oliveira<sup>2</sup>, Willames de Albuquerque Soares<sup>3</sup>, José Romualdo Souza Lima<sup>4</sup>, Antônio Celso Dantas Antonino<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia Elétrica de Telecomunicações – Universidade de Pernambuco. francesca\_746@hotmail.com. <sup>2</sup>Graduanda em Engenharia Elétrica Eletrotécnica – Universidade de Pernambuco. emillyrso10@hotmail.com. <sup>3</sup>Professor Adjunto, Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco. was@poli.br (autor correspondente). <sup>4</sup>Professor da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco. romualdo.lima@ufpe.br. <sup>5</sup> Professor Titular, Universidade Federal de Pernambuco. acda@ufpe.br.

Artigo recebido em 29/06/2017 e aceito em 15/02/2018

### **RESUMO**

O saldo de radiação é um parâmetro fundamental para diversos processos físicos, químicos e biológicos. Apesar de ser um parâmetro de grande importância, muitas das estações meteorológicas do Brasil ainda não dispõem de equipamentos para medir o saldo de radiação. Uma alternativa é a utilização de métodos matemáticos para estimar o saldo de radiação, todavia há poucos estudos com relação ao saldo de radiação no Nordeste do Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estimativa de quatro modelos (um proposto por Iziomon, dois por Fietz e Fisch e um pela FAO) propostos na literatura em áreas de pastagens. Primeiramente determinou-se os parâmetros de ajustes, utilizando os dados referentes ao ano de 2011, e, depois a estimativa para os anos de 2012 a 2015, utilizando os parâmetros obtidos para o ano de 2011. De forma geral, os quatro modelos apresentaram desempenho satisfatórios durante a fase de calibragem dos parâmetros. Na fase de validação, o modelo proposto por Iziomon conseguiu apenas o quarto desempenho, os modelos propostos por Fietz e Fisch obtiveram resultados bastante semelhantes, ficando na segunda e terceira posição. O modelo proposto pela FAO obteve o melhor desempenho no período de validação dos modelos

Palavras-chave: saldo de radiação, estimativa, saldo radiômetro.

## **Comparative analysis of mathematical models for estimate of radiation net in grasslands**

### **ABSTRACT**

The net radiation is a fundamental parameter for various physical, chemical and biological processes. Although it is a parameter of great importance many of the weather stations in Brazil not yet have equipment to measure the net radiation. An alternative is to estimate the net radiation using mathematical models, however, few studies have evaluated the estimation of the net radiation in the Northeast of Brazil. The objective of this study was to evaluate four models (One proposed by Iziomon, two by Fietz and Fisch and one by FAO) proposed to estimate Rn in grasslands. Initially the parameters of adjustments were determined using data for the year 2011, and then for the estimation data for the years 2012 to 2015, using the parameters obtained for the year 2011. Overall, the four models presented satisfactory performance during the calibration phase of the parameters. In the validation phase, the model proposed by Iziomon achieved only the fourth performance, the models proposed by Fietz and Fisch obtained very similar results, being in second and third position. The model proposed by the FAO achieved the best performance in the validation period of the models.

Keywords: net radiation, estimate, net radiometer.

### **Introdução**

O saldo de radiação (Rn), definido pela diferença entre os fluxos radiativos (ondas longas e curtas) à superfície, disponibiliza a energia para inúmeros processos físicos (aquecimento/evaporação), físicos biofísicos

(transpiração) e biológicos (fotossíntese), que ocorrem na superfície terrestre além de fornecer energia para a atividade fotossintética das plantas (Lu et al., 2014, 2013; Jiang et al., 2015; Wang and Liang, 2008).

Apesar de ser um parâmetro fundamental as observações do saldo de radiação, por meio de

1889

equipamentos de medição, ainda são relativamente escassas. Grande parte das estações meteorológicas do Brasil não dispõe de equipamentos para medida do saldo de radiação, pelo fato dos saldo-radiômetros apresentarem custo elevado e dificuldade de manutenção (Fietz e Fish, 2009).

Muitos estudos têm estimado a  $R_n$  a partir de técnicas de sensoriamento remoto a partir de imagens de sensores, a bordo de satélite (LANDSAT 5 – TM, MODIS/Aqua), obtendo valores com erros inferiores a 5%, quando comparados aos obtidos in loco (Santos et al., 2014; Andrade e Corrêa, 2014).

Outra forma de se estimar a  $R_n$  se dá por meio de equações que relacionam outras variáveis atmosféricas, mais fáceis de serem determinadas, ou para períodos em que não havia monitoramento da  $R_n$ , em determinada localidade.

Existe uma estimativa padrão para o saldo de radiação dada pela FAO (Food and Agriculture Organization), mas há uma dificuldade em sua estimativa devido ao excesso de variáveis nas equações. Por esses motivos, diversos pesquisadores (Borges, et al., 2010; Mendonça e Dantas, 2010; Azevedo et al., 2011; Morais, et al., 2015) passaram a ter interesse nesta área, objetivando o desenvolvimento de modelos matemáticos para estimar o saldo de radiação e avaliar a eficiência desses modelos para diferentes regiões.

Iziomon et al. (2000), por exemplo, estudaram durante quatro anos a parametrização do saldo radiação tomando como referência três locais na Alemanha, com variabilidade orográfica: Bremgarten, Geirsnest e Feldberg. Utilizando um conjunto de dados de radiação solar global, albedo de superfície de ondas curtas e temperatura do ar, eles propuseram quatro modelos: o Modelo Básico de Regressão, que faz boas previsões de uma base geral. Em seguida eles acrescentaram ao modelo o albedo criando o Modelo de Regressão Modificado, obtendo assim melhores resultados. Quando não se tinha as medições de albedo disponíveis percebeu-se que o modelo mais indicado seria o modelo de regressão com índice de claridade. Por fim, eles incluíram a temperatura criando o Modelo de Regressão Estendido, obtendo um ganho de 10% com relação aos outros modelos.

Fietz e Fisch (2009), por sua vez, compararam os modelos de estimativa do saldo de radiação para a região de Dourados (MS) utilizando quatro equações. No primeiro modelo, calcularam o  $R_n$  em função das temperaturas

máximas e mínimas; no segundo, em função da variação das temperaturas por seus parâmetros e a radiação extraterrestre; enquanto no terceiro pela radiação solar; e no quarto, em função da radiação solar e radiação extraterrestre. Os modelos um e dois apresentaram índice de confiança mediano enquanto os modelos três e quatro, obtiveram um ótimo desempenho.

Há poucos estudos com relação ao saldo de radiação no Nordeste do Brasil, e bem menos em áreas de pastagens na região agreste de Pernambuco. Tendo algumas literaturas como Silva et al. (2010), que avaliaram as tendências das séries temporais do saldo radiação no Nordeste do Brasil. Araújo et al. (2010) que estudaram a influência de áreas urbanizadas no saldo de radiação para a Região de Recife. E para a região de Garanhuns, Lima et al., (2014), por exemplo, estudaram a relação entre o saldo de radiação e a radiação solar global incidente sobre os dosséis de mamona e feijão caupi.

Tendo em vista a importância do saldo de radiação e a carência de equipamentos que realizem sua medição, neste trabalho procura-se comparar 4 modelos matemáticos para a estimativa do saldo de radiação. Possibilitando uma avaliação de suas eficiências e compatibilidades para a Mesorregião do Agreste Pernambucano.

## Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em área de pastagem localizada na Fazenda Riacho do Papagaio, no município de São João, na mesorregião do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco (8°52' 30'' S e 36° 22' 00'' O, com altitude de 705 m), bacia hidrográfica do Rio Mundaú. Segundo Borges Júnior et al. (2012), o clima da região é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. As médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, 21,1 °C e 82,5%, com precipitação pluvial de 897 mm anuais, sendo o quadrimestre mais chuvoso representado pelos meses de maio a agosto. O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006). Foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar (termohigrômetro, modelo HMP45C, Vaisala, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA), radiação solar global (piranômetro, modelo LI-200X, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), e o saldo de radiação (saldo radiômetro, modelo NRLITE,

Kipp & Zonen, Delft, Netherlands)., durante os anos de 2011 a 2015. Todos os dados foram

armazenados em uma central de aquisição de dados (Figura 1).

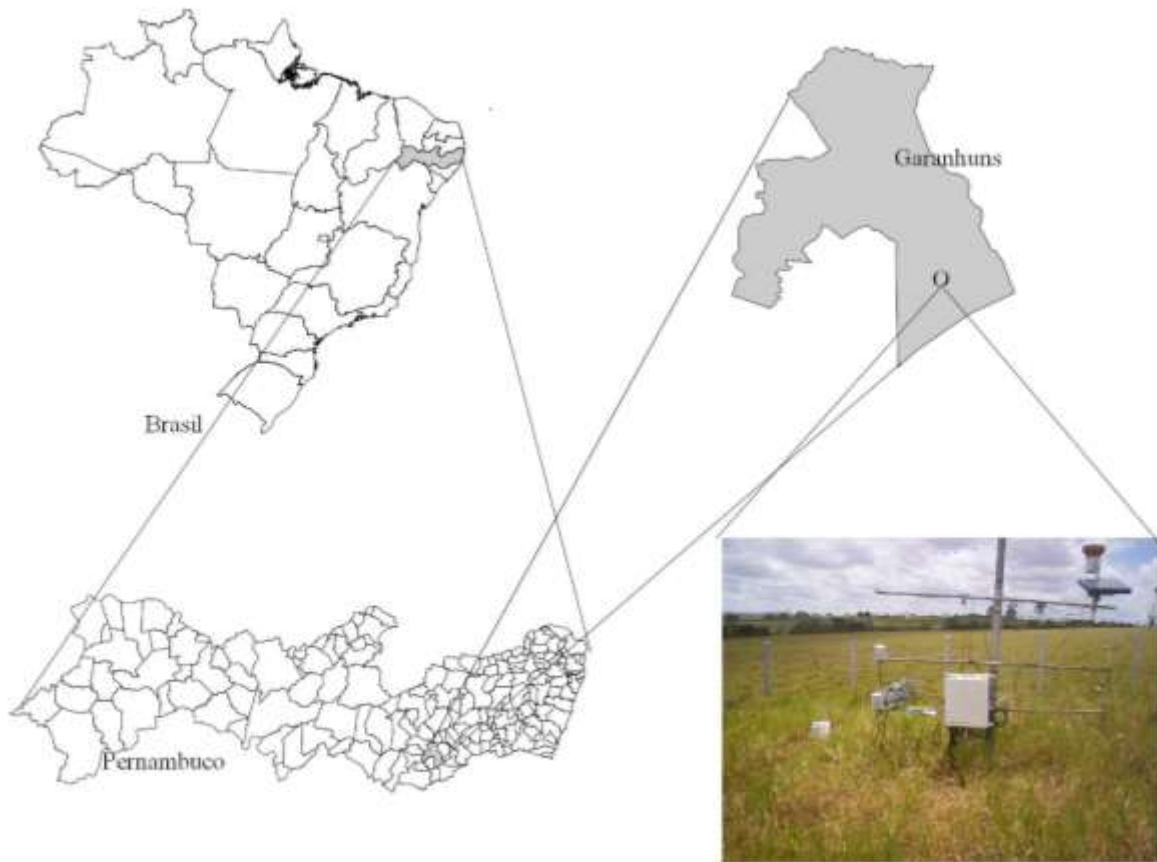


Figura 1. Localização da região de Garanhuns, em destaque, no mapa do Estado de Pernambuco.

Para a estimativa do saldo de radiação ( $Rn, Wm^{-2}$ ) foram utilizados quatro modelos (equações de 1 a 4). O primeiro modelo ( $Rn_{IZI}$ ), foi proposto por Iziomon *et al* (2000), que leva em consideração o albedo da superfície de ondas curtas ( $a = 0,2$ ), a radiação solar global ( $Rs, Wm^{-2}$ ) a Temperatura do ar ( $T_a, K$ ) e a constante de Stefan Boltzann ( $\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9}$ ), além dos coeficientes de ajustes  $A, B$  e  $C$ .

$$Rn_{IZI} = A(1 - a)Rs + B\sigma T_a^4 + C \quad (1)$$

Os segundo ( $Rn_{FF1}$ ) e terceiro ( $Rn_{FF2}$ ) modelos foram utilizados por Fietz e Fisch (2009), considerando a  $Rs$  (modelo 2) e a radiação solar extraterrestre ( $Ra, Wm^{-2}$ ), para o modelo 3, além dos coeficientes de ajustes  $A$ , e  $A$  e  $B$ , respectivamente.

$$Rn_{FF1} = ARs \quad (2)$$

$$Rn_{FF2} = ARs + BRa \quad (3)$$

O quarto modelo utilizado é o modelo proposto pela FAO (Allen *et al.*, 1998), que estima o  $Rn$  através da diferença entre o balanço de ondas curtas (primeiro termo da equação 4) e o balanço de ondas longas.

$$Rn_{FAO} = (1 - a) Rs - \sigma T_a^4 (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left[ 1,35 \left( \frac{Rs}{(0,75 + \frac{z}{100000})Ra} \right) - 0,85 \right] \quad (4)$$

sendo  $z$  a altitude local (m), e  $e_a$  a pressão de vapor.

Os dados obtidos no ano de 2011 foram utilizados para determinar os parâmetros de ajuste, e os dados dos anos de 2012 a 2015 foram utilizados para validar os modelos. Após realizar as estimativas de  $Rn$  com os quatro modelos citados, comparou-se com os valores medidos.

Para determinar as eficiências das equações quatro critérios estatísticos foram utilizados para a

análise dos dados calculados: o erro quadrático médio, *EQM*; a razão de desvios, *RD*; a eficiência da modelagem, *EM* e o coeficiente de massa residual, *CRM* (Loague e Green 1991).

$$EQM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - M_i)^2}{N} \right] \cdot \frac{100}{\bar{M}} \quad (5)$$

$$RD = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{M})^2} \quad (6)$$

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2 - \sum_{i=1}^N (T_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \quad (7)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N M_i - \sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad (8)$$

sendo *T<sub>i</sub>* os valores calculados pelo modelo, *M<sub>i</sub>* os valores experimentais,  $\bar{M}$  a média dos valores experimentais e *N* o número de determinações. Os valores ótimos

de *EQM*, *RD*, *EM* e *CRM* são 0, 1, 1 e 0, respectivamente.

### Resultados e discussão

Na Figura 2 estão apresentados os dados de temperatura do ar (°C), radiação global (W/m<sup>2</sup>), umidade relativa (%) e saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>), medidos durante os anos de 2011 a 2015. Observa-se que ocorreram poucas variações na distribuição dos valores de temperatura do ar e da radiação global, durante os cinco anos de dados. O mesmo não ocorreu com os dados de umidade relativa e saldo de radiação. Os valores de temperaturas do ar apresentaram medianas que variaram entre 21,95°C, no ano de 2013, a 23,02°C, no ano de 2011. Uma variação de 1,07°C. A maior e a menor temperatura do período analisado ocorreram no ano de 2013, com valores de 27,5°C e 17,44°C, respectivamente.

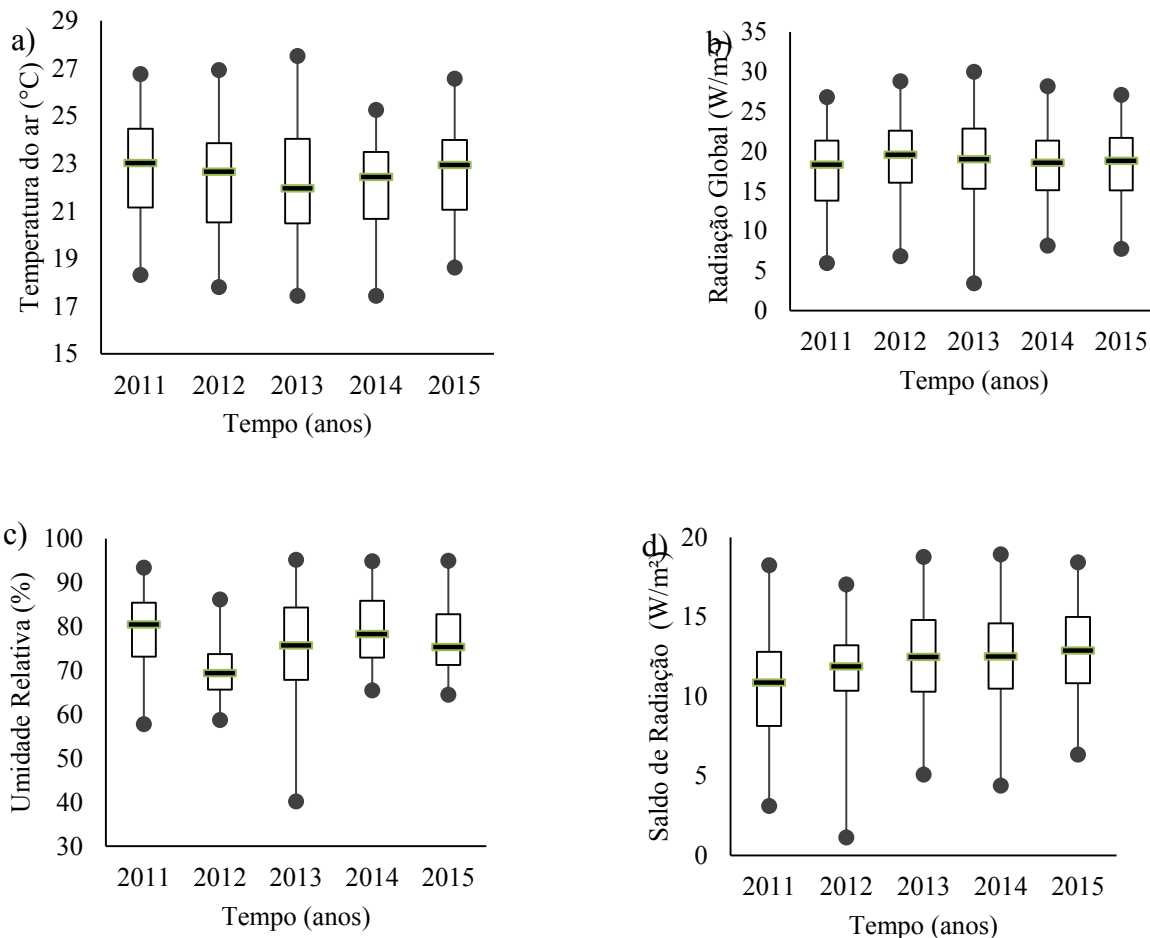


Figura 2. Valores médios anuais de a) temperatura do ar (°C), b) radiação global (W/m<sup>2</sup>), c) umidade relativa (%) e d) saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>), medidos durante os anos de 2011 a 2015, em área de pastagem.

A radiação global apresentou valores de mediana com uma variação de 1,24 W/m<sup>2</sup>, obtendo o maior valor de mediana (19,56 W/m<sup>2</sup>) no ano de 2012, e o menor (18,32 W/m<sup>2</sup>), no ano de 2011. No ano de 2013 ocorreram o seu maior (29,98 W/m<sup>2</sup>) e o menor valor (3,43 W/m<sup>2</sup>).

A umidade relativa apresentou valores de mediana de 80,5%, no ano de 2011, e de 69,4%, no ano de 2012, uma variação pouco maior a 11%. A maior e a menor umidade relativa do período foram obtidas no ano de 2013, apresentando valores de 95,2% e 40,2%, respectivamente.

Os valores medianos do saldo de radiação apresentaram um crescimento ao longo dos anos, com o menor valor de 10,8 W/m<sup>2</sup>, no ano de 2011, e de 12,88 W/m<sup>2</sup>, no ano de 2015. O valor máximo do período foi observado no ano de 2014, onde atingiu 18,93 W/m<sup>2</sup> e a menor no ano de 2012, atingindo 1,13 W/m<sup>2</sup>.

Os resultados decorrentes das estimativas dos quatro modelos avaliados estão separados em dois momentos. Primeiramente são apresentados os resultados obtidos na determinação dos parâmetros de ajustes, onde foram utilizados os dados referentes ao ano de 2011, e, depois os resultados estimados para os anos de 2012 a 2015, utilizando os parâmetros obtidos para o ano de 2011.

Na Figura 3 estão apresentados o Rn medido versus os estimados pelos quatro modelos avaliados. Visualmente, não existem diferenças significativas na capacidade dos modelos descreverem os dados experimentais. Todos os modelos apresentaram correlações positivas, e respeitam os limites mínimos e máximos impostos pelos valores medidos.

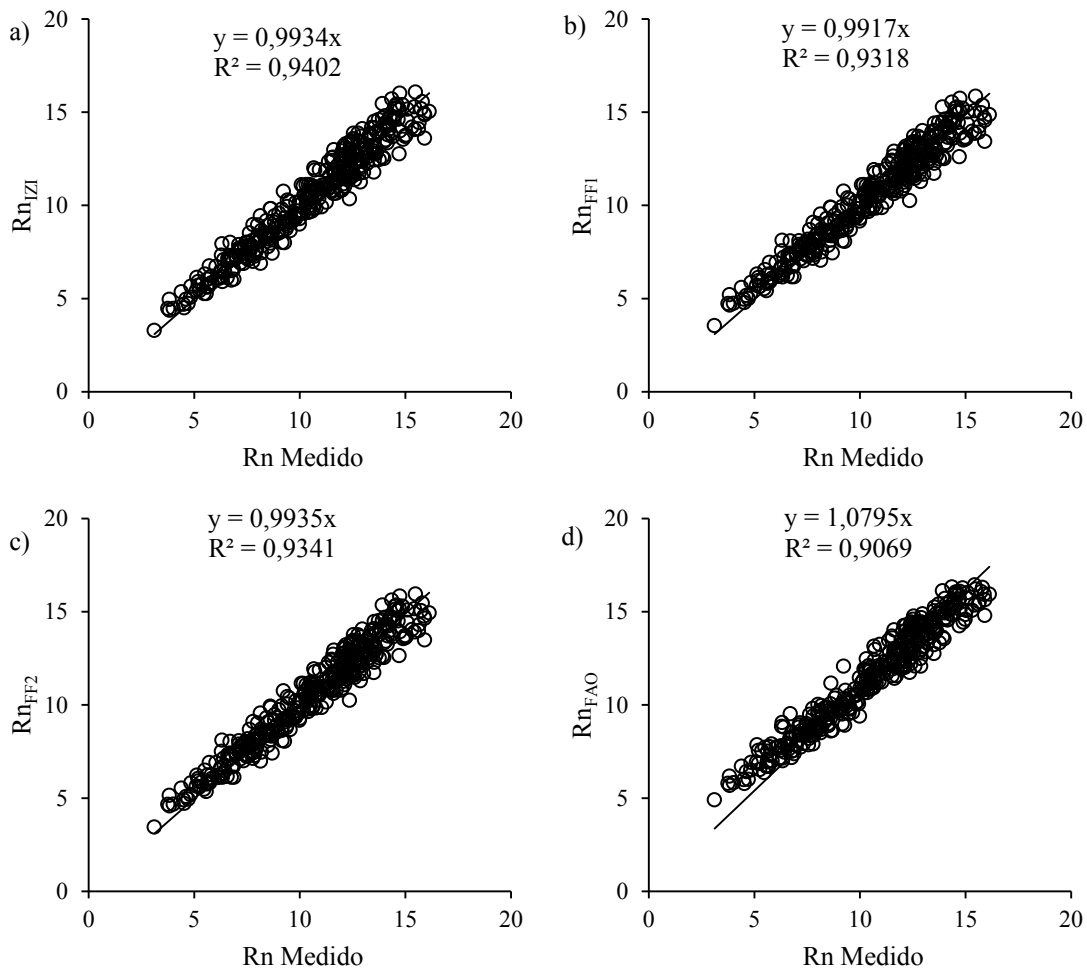


Figura 3. Saldo de radiação medidos (Rn, W/m<sup>2</sup>) versus estimados pelos modelos a)  $Rn_{IZI}$ , b)  $Rn_{FF1}$ , c)  $Rn_{FF2}$  e d)  $Rn_{FAO}$ , durante o ano de 2011, na cidade de Garanhuns- PE.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos parâmetros ajustados, dos erros quadrático médio (*EQM*), das razão de desvios (*RD*), das eficiência das modelagens (*EM*), dos coeficientes

de massa residual (*CRM*), além dos valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), para cada modelo ajustado.

Tabela 1. Valores dos parâmetros de ajustes e critérios estatísticos na fase de ajuste de parâmetros.

Modelo	Parâmetro			EQM (%)	RD	EM	CRM (x10 <sup>-3</sup> )	r <sup>2</sup>
	A	B	C					
<i>Rn<sub>IZI</sub></i>	0,76	168,57	-0,545	6,65	1,07	0,94	2,40	0,940
<i>Rn<sub>FF1</sub></i>	0,59	---	---	6,83	1,17	0,94	0,00	0,932
<i>Rn<sub>FF2</sub></i>	0,61	-0,01	---	6,79	1,13	0,94	0,00	0,934
<i>Rn<sub>FAO</sub></i>	---	---	---	11,49	1,02	0,83	-92,90	0,907

De forma geral, os quatro modelos apresentaram desempenho satisfatórios durante a fase de ajuste dos parâmetros. Os três primeiros apresentaram valores de erro quadrático médio inferior a 7% e apenas o modelo proposto pela FAO obteve valores de *EQM* superiores a 10%. A razão dos desvios *RD* aproximou-se bastante da unidade, sem exceção. Com relação aos valores da eficiência da modelagem (*EM*), nota-se que os três primeiros modelos apresentaram uma excelente estimativa uma vez que os valores tendem para 1,0. Já o modelo da FAO obteve uma boa estimativa, com valores de *EM* um pouco maior a 0,8. O coeficiente de massa residual (*CRM*), indica que ocorreu uma pequena superestimava pelo modelo proposto pela FAO ( $CRM < 0$ ), enquanto que nas estimativas dos outros três modelos houve uma pequena subestimativa ( $CRM > 0$ ). Todos os modelos

apresentaram valores de coeficientes de determinação superiores a 0,9.

Vale ressaltar que o modelo proposto pela FAO, não foram ajustados nenhum parâmetro, utilizando-se todos os parâmetros propostos em Allen *et al.*, (1998).

Na Figura 4 estão apresentados o saldo de radiação medido versus estimados pelos quatro modelos avaliados. Como visto na fase de ajuste de parâmetros, visualmente, não existem diferenças significativas na capacidade de os modelos descreverem os dados experimentais. Todos os modelos apresentaram correlações positivas, e respeitam os limites mínimos e máximos impostos pelos valores medidos. Entretanto, observa-se uma maior quantidade de desvios, que não ocorreram na fase de ajuste de parâmetros.

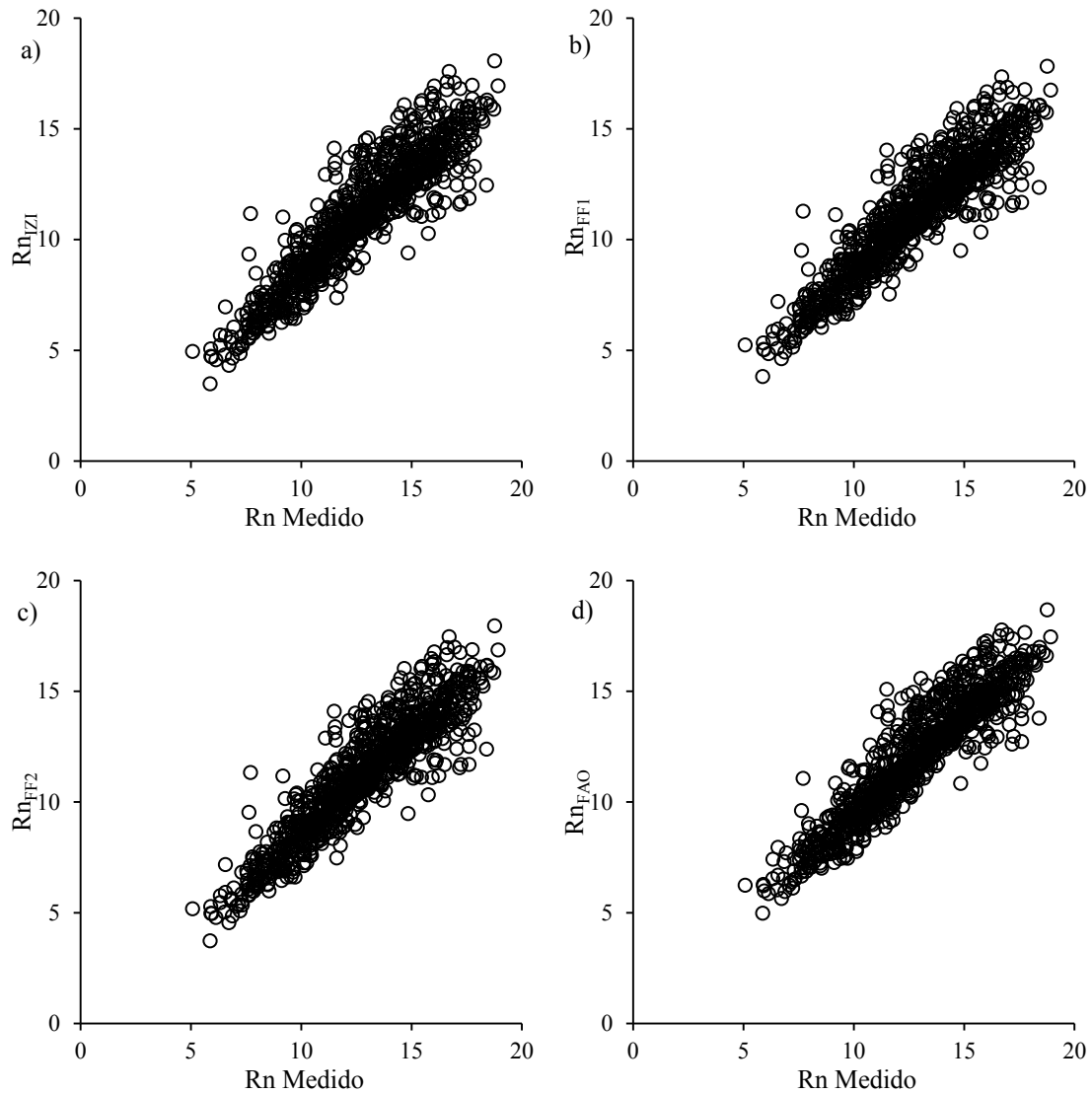


Figura 4. Saldo de radiação medidos ( $R_n$ ,  $W/m^2$ ) versus estimados pelos modelos a)  $R_{n_{IZI}}$ , b)  $R_{n_{FF1}}$ , c)  $R_{n_{FF2}}$  e d)  $R_{n_{FAO}}$ , durante os anos de 2012 a 2015, na cidade de Garanhuns- PE.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores dos erros quadrático médio ( $EQM$ ), das razão de desvios ( $RD$ ), das eficiência das modelagens ( $EM$ ), dos coeficientes de massa residual ( $CRM$ ),

além dos valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), para cada modelo ajustado, sob as condições atmosféricas da cidade de Garanhuns, para os anos de 2012 a 2015.

Tabela 2. Valores dos critérios estatísticos na fase de validação dos modelos.

Modelos	EQM %	RD	EM	CRM ( $\times 10^{-3}$ )	$r^2$
$R_{n_{IZI}}$	15,74	0,76	0,45	0,11	0,838
$R_{n_{FF1}}$	15,43	0,82	0,47	0,11	0,839
$R_{n_{FF2}}$	15,38	0,81	0,47	0,10	0,838
$R_{n_{FAO}}$	11,18	0,97	0,72	0,04	0,854

De forma geral, os quatro modelos apresentaram desempenho satisfatórios durante a

fase de validação. Todos os modelos apresentaram pequenas subestimativas ( $CRM > 0$ ).

O modelo  $Rn_{IZI}$  conseguiu apenas o quarto desempenho, dentre os modelos analisados. Apresentando o maior valor para o erro quadrático médio ( $EQM = 15,74\%$ ) e os menores valores para a razão dos desvios ( $RD = 0,76$ ), Eficiência da modelagem ( $EM = 0,45$ ) e coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,838$ ).

Os modelos  $Rn_{FF1}$  e  $Rn_{FF2}$  propostos por Fietz e Fisch (2009) obtiveram resultados bastante semelhantes. Se em todos os critérios estatísticos fossem considerados apenas uma casa decimal, teríamos um empate em todos eles. Assim como o modelo  $Rn_{IZI}$ , os valores para o  $EQM$  foram superiores a 15%, a  $RD$  ficaram na casa dos 0,8, e  $EM$  foi de 0,47 e o coeficiente de determinação não chegou a 0,85. Considerando que o modelo  $Rn_{FF2}$  utiliza um parâmetro e uma variável a mais, podemos classificar os modelos  $Rn_{FF1}$  e  $Rn_{FF2}$  na segunda e terceira posição.

O modelo  $Rn_{FAO}$  obteve o melhor desempenho no período de validação dos modelos, apresentando os menores valores de  $EQM$  (11,18) e  $CRM$  ( $0,04 \cdot 10^{-3}$ ), e, os maiores valores de  $RD$  (0,97), de  $EM$  (0,72) e de  $r^2$  (8,54). Todavia, vale ressaltar que para esta estimativa é utilizado um maior número de variáveis.

O melhor desempenho do modelo da FAO quanto aos outros deve-se aos outros modelos terem sido concebidos para regiões com diferentes condições de altitude, de umidade relativa e de velocidade do vento, o que influenciam significativamente a estimativa do saldo de radiação (Sabziparvar e Mirgaloybayat, 2015).

## Conclusões

Embora os três primeiros modelos tenham sido calibrados com sucesso para a região, observou-se uma discrepância em relação aos valores medidos, para os anos de validação dos modelos, demonstrando que estes parâmetros apresentam uma variabilidade temporal.

O modelo recomendado pela FAO apresentou o melhor desempenho para região de Garanhuns, mesmo sem possuir nenhum parâmetro de ajuste, isto é, proposto para qualquer região e não especificamente a região estudada.

## Referências

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. And Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and drainage paper 56,

United Nations Food and Agriculture Organization, Rome.

Andrade, S.C.P., Correa, J.A.J., 2014. Estimativa do saldo de radiação instantâneo à superfície para a cidade de Santarém-PA, através de imagens do Landsat 5-TM. Revista Brasileira de Geografia Física 7, 653-661.

Araújo, T.L., Souza, Ê.P., 2010. Influência da Superfície no Balanço de Energia e na Intensidade da Precipitação Urbana. Revista Brasileira de Geografia Física 3, 204-217.

Azevedo, B.M., Borges, R.L.M., Fernandes, C.N. V., Viana, F.T.V.A., 2011. Influência da metodologia de cálculo da radiação solar global na evapotranspiração de referência. Irriga 16, 317-328.

Borges Júnior, J.C.F., Anjos, R.J., Silva, T.J.A., Lima, J.R.S., Andrade, C.L.T., 2012. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 16, 380-390.

Borges, R.L.M., Azevedo, B.M., Campêlo, A.R. R., Neto, G.P.L., Viana, T.V.A., 2010. Evapotranspiração de referência utilizando a equação de penmanmonteith com diferentes metodologias para o cálculo da temperatura média diária do ar. Agropecuária Técnica 31, 25-31.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro.

Fietz, C.R., Fisch, G.F., 2009. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13, 449-553.

Iziomon, M.G., Mayer, H., Matzarakis, A., 2000. Empirical Models for estimating net radiative flux: a case study for three mid-latitude sites with orographic variability. Astrophysics and Space Science 273, 313-330.

Jianga, B. et al., 2015. Empirical estimation of daytime net radiation from shortwave radiation and ancillary information. Agricultural and Forest Meteorology 211/212, 23–36.

Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Souza, E.S., Lira, C.A.B.O., Borges Júnior, J.C.F.E, Silva, B.B., 2014. Saldo de Radiação em Caupi e Mamona nos Municípios de Areia-PB e Garanhuns-PE. Revista Brasileira de Geografia Física 7, 93-102.

Lu, J., Tang, R.L., Tang, H.J., Li, Z.L., Zhou, G.Q., Shao, K., Bi, Y.Y., Labed, J., 2014. Daily evaporative fraction parameterization

- scheme driven by day–night differences in surface parameters: improvement and validation. *Remote Sensing* 6, 4369–4390.
- Lu, J., Tang, R.L., Tang, H.J., Li, Z.L., 2013. Derivation of daily evaporative fraction based on temporal variations in surface temperature, air temperature, and net radiation. *Remote Sensing* 5, 5369–5396.
- Mendonça, E.A., Dantas R.T., 2010. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 196–202.
- Morais, J.E.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Diniz, W.J.S. Souza, C.A.A., 2015. Avaliação do Método de Penman Monteith FAO 56 com Dados Faltosos e de Métodos Alternativos na Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Submédio Vale do São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1644-1660.
- Sabziparvar A.A., Mirgaloybayat, R., 2015. Evaluation of Some Existing Empirical and SemiEmpirical Net Radiation Models for Estimation of Daily ET<sub>0</sub>. *Journal of Advanced Agricultural Technologies* 2, 46-49.
- Santos, C.A.C, Wanderley, R.N., Araújo, A.L., Bezerra, B.G., 2014. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 420 – 432.
- Silva, R.A., Silva, V.P.R., Cavalcanti, E.P., Santos, D.N., 2010. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 501-509.
- Wang, K.C., Liang, S.L., 2008. An improved method for estimating global evapotranspiration based on satellite determination of surface net radiation, vegetation index, temperature, and soil moisture. *Journal Hydrometeorology* 9, 712–727.