



AVALIAÇÃO DA IRRADIÂNCIA SOLAR NA LAGOA MANGUEIRA A PARTIR DO PRODUTO CERES

Gláucia dos Santos Nascimento^{1*}; Leticia Naitzel¹; J.Rafael Cavalcanti¹; Andrés Maurício Munar¹; Anderson Ruhoff¹; David da Motta Marques¹ & C.Ruberto Fragoso Jr²

Resumo – A estimativa exata da radiação solar é um importante parâmetro de entrada em diversos modelos ecológicos que baseiam seus processos fotossintéticos e uso de radiação na conversão em energia química. A aquisição e registro de séries de radiação solar não é simples, sendo uma das variáveis climáticas cuja falta de dados é bastante generalizada em quantidade e qualidade. Este estudo comparou e avaliou a radiação solar estimada a partir do produto CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*), com a radiação solar registrada no INMET e os fluxos de radiação simulados no modelo IPH-ECO. Os resultados mostram que a radiação solar estimada a partir do CERES se ajusta bem com a registrada no INMET e a simulada no IPH-ECO. Apesar dos dados do produto CERES subestimar de maneira sistemática os fluxos de radiação, os dados tiveram comportamentos similares ao longo de toda a série, o que sugere para os próximos trabalhos propor uma equação de ajuste para melhorar a precisão e permitir maior utilização desses dados. A radiação fornecida pelo CERES, especialmente a radiação global (*shortwave down*), mostrou-se uma boa alternativa para regiões onde a informação meteorológica não está disponível ou regiões pouco monitoradas.

Palavras-Chave – Radiação, CERES, IPH-ECO.

ASSESSMENT OF IRRADIANCE SOLAR IN LAKE MANGUEIRA BY CERES AND METEOROLOGICAL STATIONS

Abstract – Accurate estimation of solar radiation is an important input parameter in several ecological models base on photosynthetic processes and the use of radiation for the conversion into chemical energy. The acquisition and registration of solar radiation datasets is not simple, due to limitation relate to the lack of datasets availability. This study compared and evaluated the solar radiation estimated from the CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*) product, the solar radiation recorded by the INMET and the simulated from the IPH-ECO model. The results show good performance although the data of the CERES product underestimated in a systematic way, the data had similar behaviors throughout the series, which indicate for the further studies an adjustment equation to improve the precision and to allow use of this data. The radiation provided by CERES, especially the global radiation (*shortwave down*), has proved a good alternative for regions where meteorological information is not available or ungauged sites.

Keywords – Radiation, CERES, IPH-ECO.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil (gal.sn@hotmail.com, lee_naitzel@hotmail.com, rafaelcavalcantii@gmail.com, mauriciomunar4@gmail.com, andersonruhoff@gmail.com, dmm@iph.ufrgs.br).

² Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil (carlosruberto@gmail.com).

* Autor Correspondente.

INTRODUÇÃO

A radiação solar é a fonte mais importante de energia renovável do planeta, sendo uma variável indispensável para uma gama de atividades. Sua estimativa precisa é também um importante parâmetro de entrada em muitos modelos de simulação ecológica-aquática que baseiam seus processos fotossintéticos e uso de radiação na conversão em energia química (Fragoso et al., 2009).

A aquisição e registro de séries de radiação solar não é simples, requerendo o uso de equipamentos específicos que tem requisitos caros de manutenção e calibração. A radiação solar é uma das variáveis climáticas cuja falta de dados é bastante generalizada em quantidade e qualidade (Will *et al.*, 2013). Além disso, mesmo nos casos em que a radiação solar é medida, existem limitações relacionadas com a organização para centralizar essas informações, verificar sua consistência e calibrar os sensores. Nas últimas décadas, os produtos de sensoriamento remoto vêm sendo utilizados com sucesso facilitando a obtenção de informações de radiação com continuidade temporal e homogeneidade espacial (Almorox *et al* 2017). Devido à importância desses dados, a NASA opera o programa CERES - *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*, com o objetivo de compreender melhor o papel das nuvens e do balanço de radiação no contexto das mudanças climáticas (NASA, 2017). Os dados coletados pelos sensores do CERES cobrem a radiação de ondas curtas incidentes e refletidas e radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera e pela superfície, sendo esta uma alternativa interessante para a aquisição de dados de radiação.

O objetivo deste trabalho foi comparar e avaliar a radiação solar estimada a partir do CERES com os registros de radiação do INMET e os fluxos de radiação simulados no modelo IPH-ECO para a Lagoa Mangureira, buscando validar estas informações como alternativa para regiões pouco monitoradas ou com informação meteorológica não disponível.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A Lagoa Mangureira é um ecossistema raso subtropical localizado no Rio Grande do Sul, Brasil, entre as coordenadas 32°30' e 33°45'S e 52°10' e 52°30'W. A lagoa possui uma área aproximada de 820 km² ao longo do oceano Atlântico, profundidade variando de 2,6 a 6,5 metros e pertencente ao Sistema Hidrológico do TAIM (SHT). O clima regional é subtropical com temperatura média anual de 16°C e precipitação anual entre 1.800 e 2.200 milímetros (Kottek *et al.*, 2006).

Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto de Meteorologia (INMET, 2017) para a estação meteorológica do Chuí (33°45'S e 53°21'W). Para fins de análise, foram escolhidas as séries de radiação solar, temperatura do ar, precipitação, evaporação, umidade relativa do ar, vento e direção no período de 25 de Outubro de 2011 a 27 de Janeiro 2012. Este período foi escolhido por apresentar o maior número de dias consecutivos sem falhas para todas as variáveis consideradas. Como os dados são horários, foram calculadas médias de 3 horas para os dados de radiação, a fim de garantir correta comparação com os dados do CERES, disponibilizados em intervalos de 3 horas.

Dados CERES

O conjunto de dados utilizados neste trabalho foi obtido do CERES a partir da plataforma <https://ceres.larc.nasa.gov/index.php>. Foram selecionados os fluxos de ondas curtas incidentes na superfície (*shortwave flux down*), fluxos de ondas curtas refletidas (*shortwave flux up*), fluxos de

ondas longas emitidas pela atmosfera (*longwave flux down*) e fluxos de ondas longas emitidas pela superfície (*longwave flux up*). Neste trabalho consideramos a condição sem cobertura de nuvens (*all sky*), para o ponto mais próximo da estação do BDMEP/INMET, nas coordenadas 33°30'S e 53°30'W, para o mesmo período (25/Outubro/2011 a 27 de Janeiro de 2012).

Modelo Utilizado

Neste trabalho, para avaliar a dinâmica da temperatura superficial da água na Lagoa Mangueira, utilizou-se o modelo IPH-ECO (Fragoso et al., 2009) disponível em <http://ipheco.org/>. Para a área considerada neste estudo, foi utilizado o modelo previamente calibrado e validado por Cavalcanti (2017).

No IPH-ECO a temperatura da água de um ecossistema aquático pode ser estimada a partir do balanço de calor entre a superfície da água e a atmosfera, segundo a equação:

$$\Delta Q = Q_{\text{RAOC}}^{\text{água}} + Q_{\text{RAOL}} - Q_{\text{RWOL}} - Q_{\text{COND}} - Q_{\text{EVAP}} \pm Q_{\text{IN/OUT}} \dots \dots \dots (1)$$

onde $Q_{\text{RAOC}}^{\text{água}}$ é o fluxo de calor referente à radiação atmosférica de onda curta; Q_{RAOL} é o fluxo de calor referente à radiação atmosférica de onda longa; Q_{RWOL} é o fluxo de calor referente à radiação da água de onda longa; Q_{COND} é o fluxo de calor referente à condução para atmosfera; Q_{EVAP} é o fluxo de calor referente ao processo de evaporação; e $Q_{\text{IN/OUT}}$ é o fluxo de calor resultante das entradas e saídas por advecção, tais como escoamento superficial e subterrâneo, o fluxo de afluentes, a precipitação e os fluxos de saída.

A quantidade de calor armazenado durante um intervalo de tempo pode ser convertida em termos de temperatura por meio da seguinte expressão:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\Delta Q}{\rho \cdot V \cdot c} \dots \dots \dots (2)$$

Onde V é o volume (m³); ρ é a densidade da água (kg m⁻³); e c é o calor específico da água (J kg⁻¹ °C⁻¹).

A radiação atmosférica de onda curta pode ser medida diretamente nas estações meteorológicas, ou estimada em função da inclinação solar e cobertura de nuvens. Vale ressaltar que a radiação medida pela estação meteorológica é o valor medido acima da superfície em condições padronizadas, desconsiderando a parcela refletida pela superfície (albedo), que depende da latitude do local e pode ser estimada empiricamente. As demais parcelas de radiação na equação (1), bem como o albedo, são estimadas pelo IPH-ECO através de equações matemáticas, conforme descrito por Fragoso *et al* (2009), em função da temperatura do ar, umidade relativa, intensidade e direção do vento, refração da luz na interface água-ar e do gradiente de temperatura entre a água e o ar.

Neste estudo, foram aplicados testes com os quatro fluxos de radiação fornecidos pelo CERES e comparadas com o fluxo radiação global fornecida pelo INMET e os restantes dos fluxos de radiação estimadas pelo IPH-ECO.

O saldo de radiação, sendo o fluxo mais importante na determinação das componentes do balanço de energia, também foi quantificado, segundo a equação:

$$R_n = (Q - Q_r) + (Q_a - Q_s) \dots \dots \dots (3)$$

Onde, R_n é o saldo de radiação (w/m²); Q é a radiação global, Q_r é a radiação solar refletida; Q_a é a radiação emitida pela atmosfera e Q_s é a radiação emitida pela superfície.

Métricas para avaliação de precisão

Para avaliar os valores de radiação fornecidos pelo CERES e os registrados em estações meteorológicas, o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio quadrático (RMSE) e a diferença entre os dois valores (Bias) foram calculados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliando os dados de radiação obtidos via estação meteorológica e produto CERES, é possível observar uma pequena diferença entre os dados (**Figura 1**). O produto CERES subestimou alguns picos do fluxo de radiação global, mas de maneira geral apresentou comportamento similar aos dados INMET, a partir das métricas de desempenho ($R^2= 0.971$, $RMSE = 5.5\%$ e $Bias = 9.52\text{w/m}^2$).

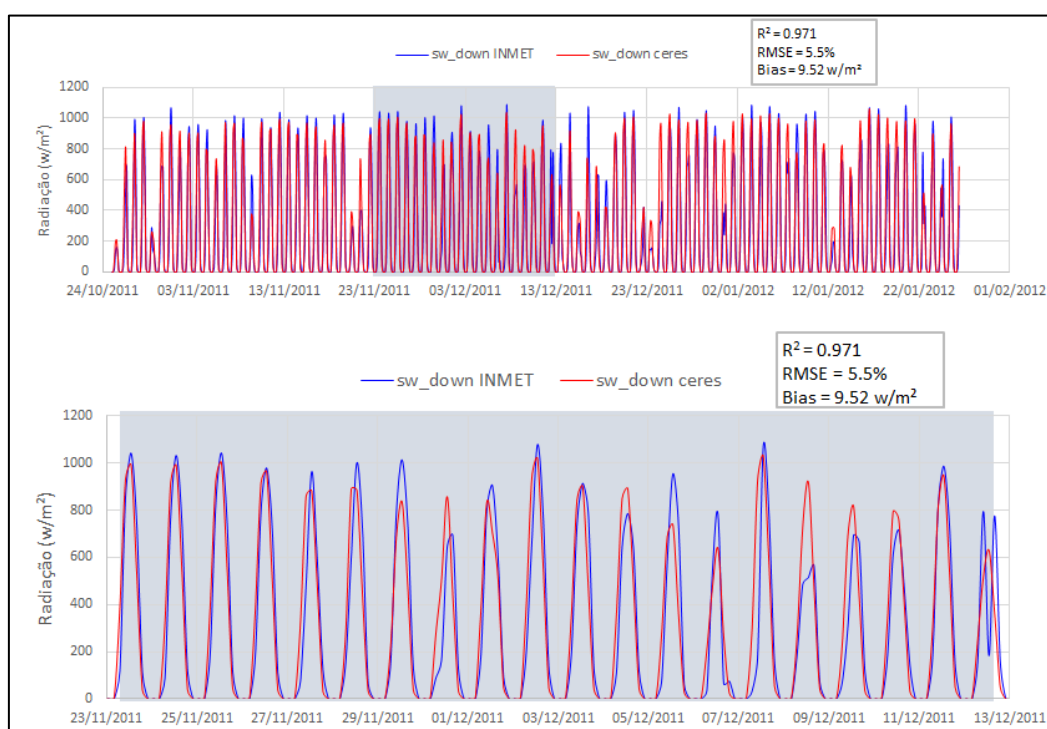


Figura 1 – Comparação da radiação global obtida a partir dos dados observados do INMET e estimados a partir do produto CERES (região destacada em cinza corresponde ao trecho ampliado do gráfico).

De maneira similar, os dados de radiação solar refletida do produto CERES foram subestimados na maioria dos picos de radiação quando comparado com os dados INMET ($R^2= 0.961$, $RMSE = 9.7\%$ e $Bias = 6.629\text{ w/m}^2$) (**Figura 2**).

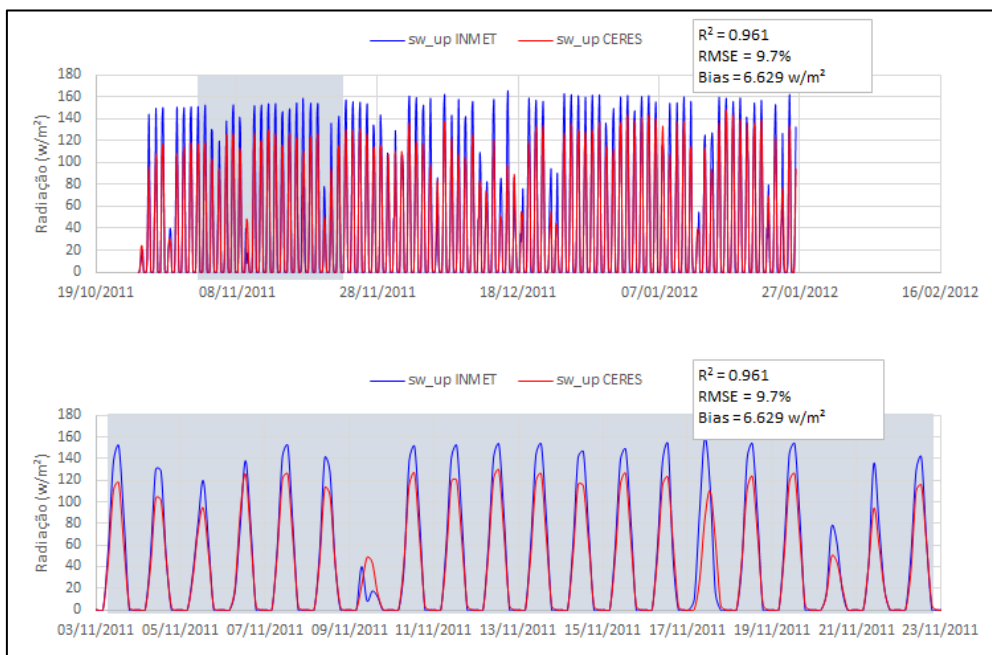


Figura 2 – Comparação da radiação solar refletida estimada a partir dos dados observados do INMET e estimada a partir dados CERES.

Os fluxos de radiação emitidos pela atmosfera (lw_down) (**Figura 3**) e emitidos pela superfície (lw_up) (**Figura 4**) e estimados a partir do CERES apresentaram diferenças significativas quando comparados com os registrados no INMET ($R^2 = 0.563$, $RMSE = 27\%$ e $Bias = -24.87 \text{ w/m}^2$ para a radiação emitida pela atmosfera, e $R^2 = 0.298$, $RMSE = 40.1\%$ e $Bias = -16.87 \text{ w/m}^2$ para radiação emitida pela superfície).

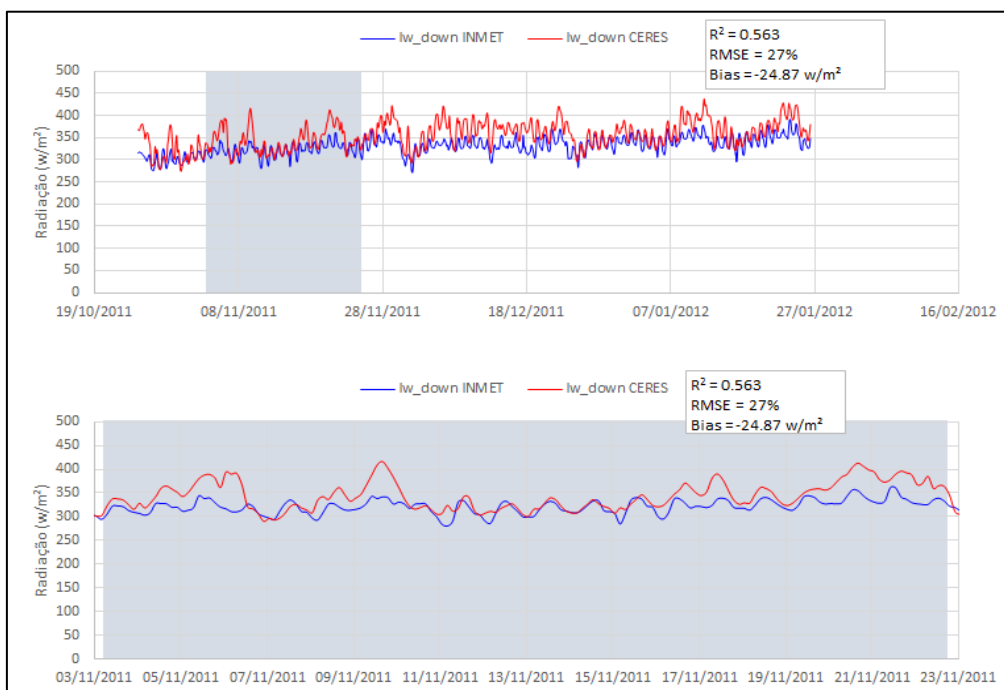


Figura 3 – Comparação da radiação emitida pela atmosfera, estimada via IPH-ECO e estimada a partir de dados CERES.

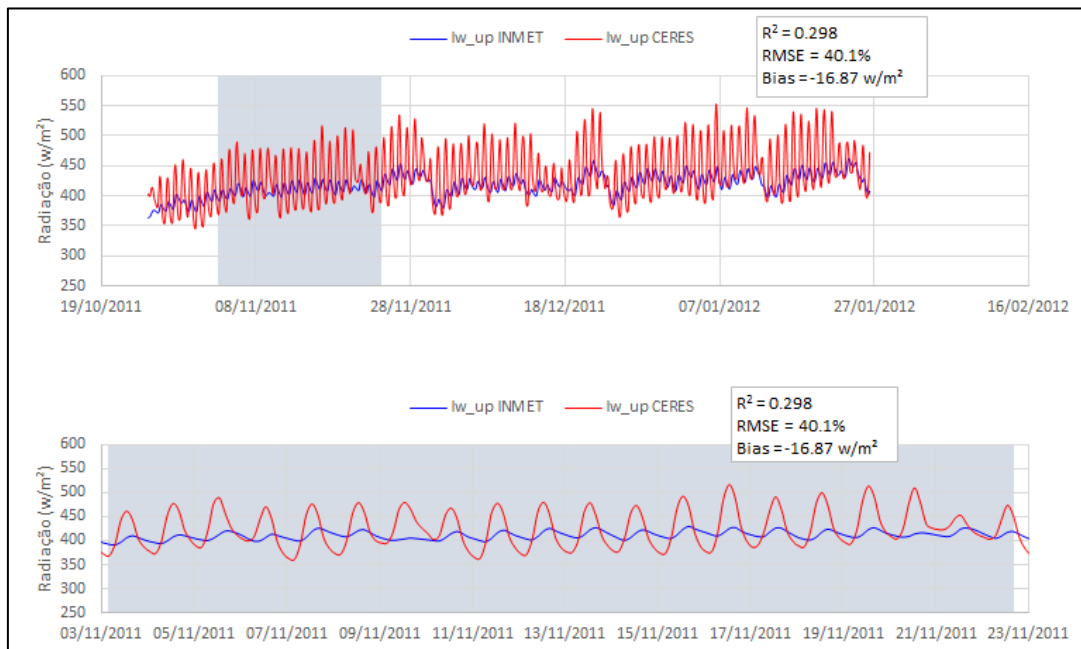


Figura 4 – Comparação da radiação emitida pela superfície, estimada via IPH-ECO e a partir de dados CERES.

Apesar das diferenças significativas encontradas para a radiação emitida pela superfície e pela atmosfera, o saldo de radiação (R_n) (**Figura 5**) e o balanço do fluxo de calor (ΔQ) (**Figura 6**) estimado apresentou ajustes consistentes ($R^2 = 0.963$, $RMSE = 7.2\%$ e $Bias = -38.05 \text{ w/m}^2$ para o R_n e $R^2 = 0.949$, $RMSE = 7.5\%$ e $Bias = 40.84$ para o ΔQ). O produto CERES não ajustou bem os limites inferiores e superiores, entretanto ainda assim os dados apresentam comportamento similar e a tendência foi bem representada.

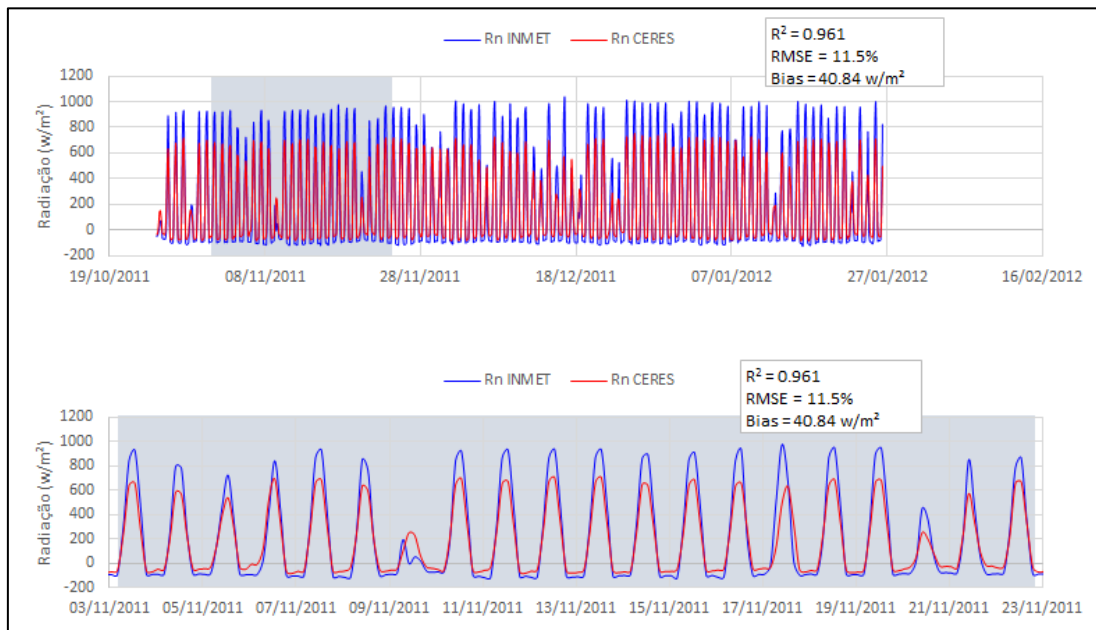


Figura 5 – Comparação do saldo de radiação, estimado a partir da equação 3

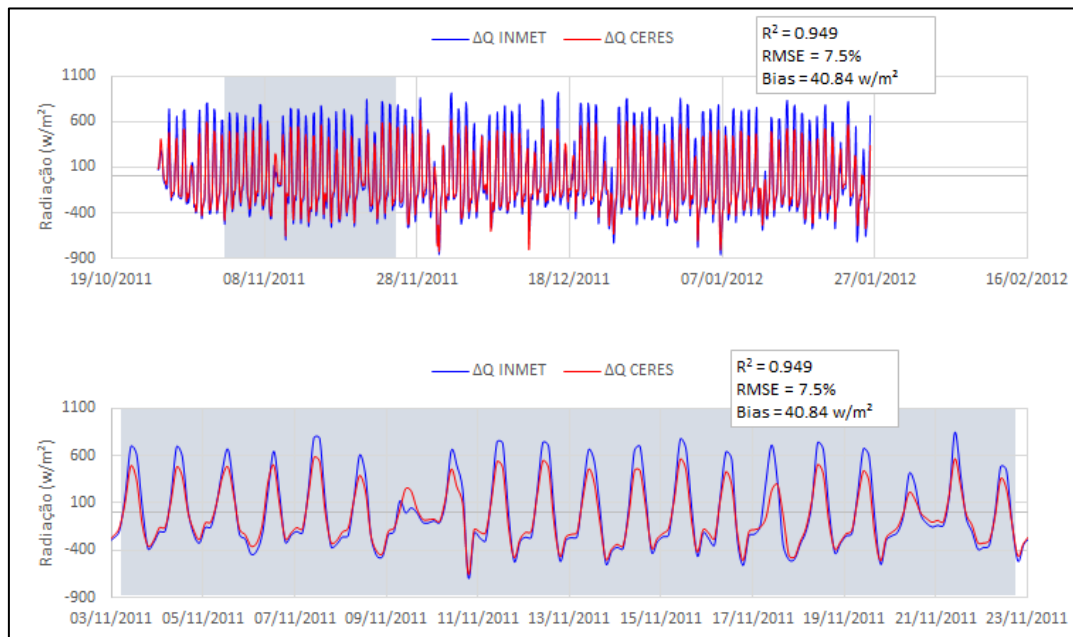


Figura 6 – Comparação do balanço do fluxo de calor, estimado a partir da equação 1.

A temperatura foi estimada inicialmente usando as quatro componentes de fluxos de radiação do produto CERES (**Figura 7**) e posteriormente utilizando apenas o fluxo de radiação de ondas curtas incidentes na superfície (sw_down) (**Figura 8**). Os resultados permitem observar ajustes consistentes para ambas as situações, no entanto, usando apenas o fluxo de radiação de ondas curtas incidentes na superfície, o desempenho foi melhor ($R^2 = 0.988$, $RMSE = 2.6\%$ e $Bias = 0.301 \text{ w/m}^2$), quando comparado às estimativas usando as quatro componentes do balanço de radiação CERES.

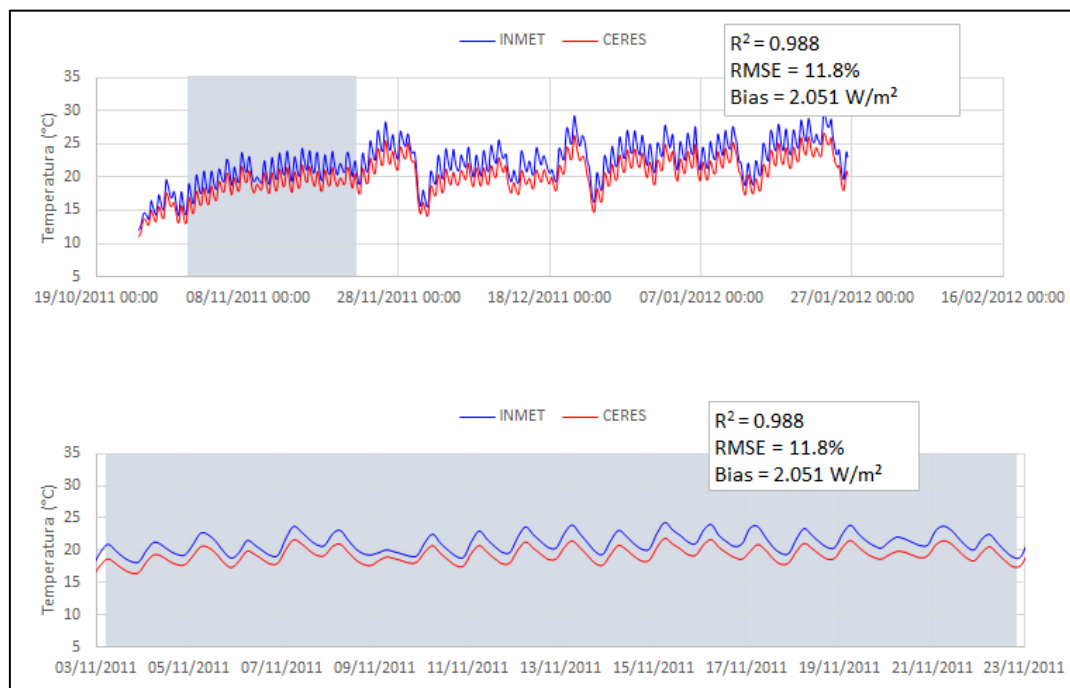


Figura 7 - Estimativa da temperatura utilizando as quatro componentes do balanço de radiação dos dados CERES.

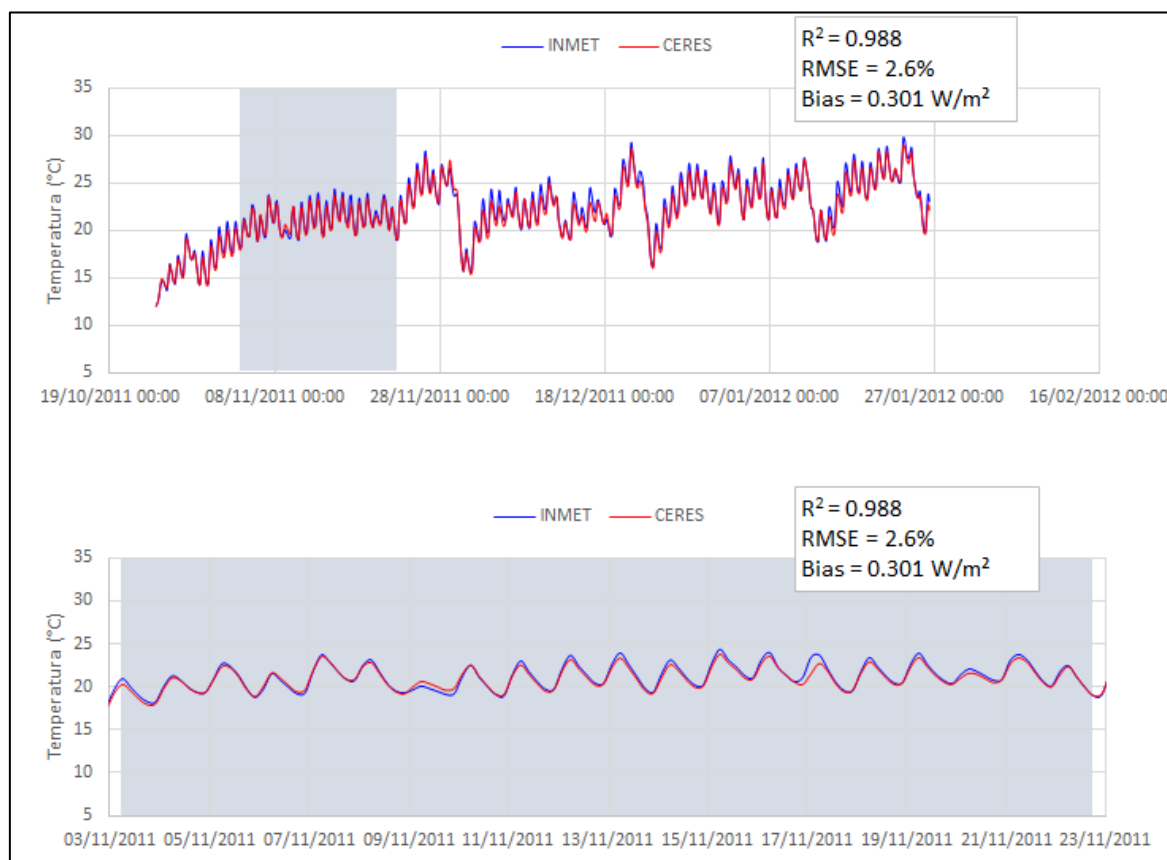


Figura 8 – Estimativa de temperatura utilizando apenas a radiação de ondas curtas incidentes em superfície a partir de dados CERES.

CONCLUSÕES

Este estudo verificou que a radiação solar fornecida pelo produto CERES possui boa acurácia quando comparada a radiação fornecida pelo INMET e a simulada através do modelo IPH-ECO. É importante notar que, embora existam diferenças entre a radiação registrada e a derivada do CERES, a tendência geral foi bem representada em todo o período.

Para os fluxos de radiação de onda longa, as estimativas aplicadas aos dados do INMET foram feitas de forma empírica a partir dos dados de temperatura do ar, umidade relativa, intensidade e direção do vento, conforme descrito por Fragoso *et al.*, 2009. Já as estimativas do produto CERES são estimativas diretas feitas através de sensores e modelos, que podem ser influenciadas pelas condições de céu claro, vapor de água, e processos de absorção/emissão de radiação e temperatura da superfície.

A radiação fornecida pelo CERES, especialmente a radiação global de ondas curtas mostrou-se uma boa alternativa para regiões onde a informação meteorológica não esta disponível, desde que redimensionada.

Uma subestimativa sistemática para as parcelas de radiação de onda curta do produto CERES foi detectada, o que sugere para os próximos trabalhos propor um modelo de ajuste para melhorar a acurácia, permitindo assim maior utilização desse produto. Nesse contexto, é necessário ainda analisar o comportamento das componentes do balanço de radiação à superfície comparando estimativas por satélite com medidas diretas na superfície disponíveis para todas as componentes de radiação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as bolsas de pós - graduação CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

ALMOROX, J.; OVANDO, G.; SAYAGO, S.; BOCCO, M. (2017); Assessment of surface solar irradiance retrieved by CERES. *International Journal of Remote Sensing* 38:12, 3669-3683, DOI: 10.1080/01431161.2017.1302111.

CAVALCANTI, J. R. A.(2017). Dinâmica espacial e temporal do metabolismo aquático em sistemas subtropicais. (Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FRAGOSO JR., C. R.; FERREIRA, T. F.; MOTTA MARQUES, D. M. L. Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. v. 1. 304p.

FRAGOSO JR., C. R. Modelagem tridimensional da estrutura trófica em ecossistemas aquáticos continentais. 2009. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GUPTA, S.; WILBER, A.; SOTHCOTT, V.; (2009); Validation of the CERES Edition 2B Surface-Only Flux Algorithms. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* v 49, 164 - 180. DOI: 10.1175/2009JAMC2246.1

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, Estações Automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em Maio de 2017.

IPH-ECO – Modelo Hidrodinâmico e de Qualidade da Água. Disponível em: <http://ipheco.org/> Acesso em Maio de 2017.

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. (2006). World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol.* v. 15. n. 3 p. 259–263

NASA CERES - Clouds and the Earth's Radiant Energy System. Disponível em: <https://ceres.larc.nasa.gov/index.php>. Acesso em Maio de 2017

WILL, A., BUSTOS, J.; BOCCO, M.; GOTAY, J.; LAMELAS, C. 2013. “On the Use of Niching Genetic Algorithms for Variable Selection in Solar Radiation Estimation.” *Renewable Energy* 50: 168–176. doi:10.1016/j.renene.2012.06.039.

YAN, H.; HUANG,J.; MINNIS P.; WANG, T.; BI, J. (2011); Comparison of CERES surface radiation fluxes with surface observations over Loess Plateau. *Remote Sensing of Environment* 115 (2011) 1489–1500. doi:10.1016/j.rse.2011.02.008