

VALIDAÇÃO DA ESTIMATIVA DE IRRADIAÇÃO SOLAR DIRETA NORMAL POR SATÉLITE

Anthony Carlos Silva Porfirio – anthony.carlos@cptec.inpe.br

Juan Carlos Ceballos – jcc.1943@gmail.com

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais – DSA

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Resumo. O presente trabalho teve por objetivo realizar validações de um método físico de estimativa de irradiação solar direta normal Q_n à superfície que combina o uso de imagens de satélite geoestacionário (GOES, canal VIS) e informações meteorológicas auxiliares. As validações foram realizadas para dois sítios experimentais da rede SONDA (Petrolina-PE e Natal-RN), com uma base de dados referente ao período 2007-2008. Análises da variabilidade temporal da Q_n no Nordeste do Brasil (NEB) e em mesorregiões dos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte são reportadas. Verificou-se uma relação linear entre a Q_n medida e a estimada por satélite (coeficientes de determinação $R^2 > 0,80$). Em geral, os resultados mostram leve superestimativa (MBE = 1,0 e RMSE = 17,8%) para Petrolina, e subestimativa (MBE = -8,6 e RMSE = 17,2%) para Natal. No caso de Natal, as maiores diferenças podem estar associadas ao contraste entre continente e oceano, que podem implicar em erros na estimativa da refletância de superfície. De todo modo, os índices estatísticos encontrados são similares aos difundidos na literatura. A Q_n mostrou-se fortemente sensível aos fenômenos meteorológicos sazonais atuantes no NEB (que modulam a quantidade de nuvens na região). Decréscimos significativos da Q_n média mensal (entre janeiro e julho) foram percebidos para as mesorregiões mais próximas do oceano. Os resultados aqui apresentados são de caráter preliminar, mas sugerem que o método por satélite tem aplicabilidade potencial em estudos climáticos e de recurso energético solar.

Palavras-chave: Irradiação solar direta normal, Radiação solar, Satélite GOES, Nordeste do Brasil

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento acurado da radiação solar à superfície possui diversas implicações em hidrologia, climatologia, agricultura, engenharia, e muitas outras atividades humanas. Só para mencionar alguns exemplos: no cômputo do balanço de radiação e energia global, na conversão alternativa para energia elétrica, na modelagem da evapotranspiração em coberturas vegetais.

Em nossos dias, a problemática do crescimento do consumo energético e as limitações associadas aos combustíveis fósseis (emissão de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, impacto sobre o clima e diminuição das reservas naturais) têm motivado a pesquisa científica e tecnológica de fontes de energia alternativas (renováveis), tais como a solar, a eólica, a de biomassa, entre outras. Segundo o MME (2007), estima-se que para manter o ritmo crescente do país, a geração de energia elétrica deverá ser duplicada ou triplicada nas próximas duas décadas. A radiação solar apresenta grande destaque neste contexto, devido a sua potencial utilização na geração de energia elétrica por meio de processos fotovoltaicos e processos heliotérmicos. Resulta evidente a necessidade de avaliar a disponibilidade desse recurso energético no território brasileiro.

Na última década, foram realizados esforços científicos que resultaram no mapeamento da radiação solar à superfície no Brasil. Tiba (2000) gerou um banco de dados piranométrico e heliográfico que permitiu a elaboração do Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Pereira et al. (2006) utilizando imagens GOES e o modelo Brasil-SR lançaram o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Ainda, o monitoramento operacional do recurso solar na América do Sul tem sido realizado na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (DSA/CPTEC/INPE) através do modelo GL desde 1996 (Ceballos et al. 2004), utilizando imagens do canal VIS do satélite GOES (vide página internet <http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>). Tais estudos destacam que a região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta características climáticas favoráveis para o aproveitamento do recurso solar.

O projeto CAPES "Sistema de informação geográfica (SIG) para localização de centrais termoelétricas solares de grande porte (100 MWe) no semi-árido nordestino" visa o desenvolvimento de metodologias de avaliação e monitoramento da irradiância solar a incidência direta (DNI) no NEB. O conhecimento da DNI é fundamental em projetos heliotérmicos com tecnologia de concentração dos raios solares (Concentrating Solar Power, CSP). Essa componente solar pode ser mensurada via pireliômetros ou combinando observações de irradiância solar global e difusa. Entretanto, as componentes difusa e DNI são pouco monitoradas nas estações solarimétricas do Brasil, devido ao alto custo instrumental e complexidade do registro. Assim, métodos de estimativa baseando-se em técnicas com distintas complexidades (empíricas, físicas e de sensoriamento remoto) têm sido desenvolvidos, com intuito de diminuir essa deficiência de informações. A componente DSA/CPTEC/INPE do projeto tem contribuído desenvolvendo

metodologias de estimativa de DNI e produtos mediante o uso de imagens de satélite (Porfirio, 2012; Porfirio e Ceballos, 2013). Os resultados de satélites são especialmente atrativos desde que exibam razoável acurácia, têm a vantagem de sua cobertura contínua no espaço (4 x 4 km) e no tempo (entre 15 a 30 minutos), além de produzir informações em áreas remotas. Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivos: (a) realizar algumas comparações entre medidas de Qn e estimativas por satélite, através do modelo proposto por Porfirio e Ceballos (2013), utilizando-se de medidas em Petrolina e Natal e (b) analisar a variabilidade temporal da Qn no NEB (mais especificamente, nos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a determinação da DNI foram utilizadas medidas de irradiância solar global (Eg) e irradiância solar difusa (Ed) obtidas de estações pertencentes à rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) em Petrolina-PE (09°04'S, 40°19'W, 387m) e Natal-RN (05°50'S, 35°12'W, 58m), durante o período 2007-2008. A Fig. 1 apresenta a distribuição espacial das estações SONDA utilizadas neste estudo. Em ambos os sítios, a DNI é calculada segundo $DNI = (Eg - Ed)/\mu$, onde μ é o cosseno do ângulo zenital solar. A Eg e Ed são medidas com dois piranômetros CM11 (Kipp & Zonen, faixa espectral sensível 0,305-2,800 μm). Para a aquisição da Ed utiliza-se um anel de sombreamento CM121 (Kipp & Zonen), para impedir a incidência dos raios solares diretos. Os registros obtidos pelos sensores são armazenados em médias de 1 minuto num sistema automático de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific, EUA). As componentes da radiação solar (DNI, Ed e Eg) foram integradas do nascer ao pôr do Sol a fim de produzir irradiações na base diária (MJ m^{-2}).

A descrição detalhada do método de estimativa de DNI por satélite encontra-se em Porfirio (2012) e Porfirio e Ceballos (2013). De forma resumida, o método utiliza o modelo físico parametrizado REST (Gueymard, 2003) para inferir a DNI sob céu claro DNI_{cc} conforme

$$DNI_{cc} = S T_R T_o T_g T_w T_a \quad (1)$$

onde S é a constante solar ($= 1367 \text{ W m}^{-2}$) corrigida pela distância média Terra-Sol e T associa-se às transmitâncias de cinco processos de atenuação da radiação solar na atmosfera: T_R por dispersão Rayleigh, T_o pelo ozônio, T_g por gases com distribuição uniforme, T_w pelo vapor d'água e T_a pelo aerossol. As informações meteorológicas e imagens de satélites necessárias como dados *input* no modelo são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos utilizados no modelo, resolução temporal e fonte.

Parâmetro meteorológico	Resolução temporal	Fonte
Pressão	Média mensal	SONDA, INMET
Coluna total de ozônio	Média mensal	OMI/NASA
Água precipitável	Média diária às 12 GMT	Modelo global do CPTEC
Turbidez atmosférica	Média mensal	AERONET, MODIS/NASA
Cobertura de nuvens	30 minutos	DSA/CPTEC/INPE

A parametrização da fração de cobertura de nuvens é avaliada a partir da refletância observada no canal VIS do satélite GOES (Ceballos et al. 2004; Porfirio e Ceballos, 2013), conforme o seguinte critério: i) A refletância R_{vis} observada pelo sensor do satélite representa um valor médio de áreas com refletância máxima (R_{max} , associada à transição entre cobertura por nuvens C_u e por S_t) e refletâncias mínimas (R_{min} , associadas à superfície), ponderadas pela cobertura parcial de nuvens C, dentro do pixel considerado; $R_{vis} = CR_{max} + (1-C)R_{min}$, o que possibilita a estimativa de nebulosidade C. O algoritmo utiliza campos médios mensais de R_{min} , obtidos utilizando imagens VIS GOES, durante 2007-2008. Assim, a Qn estimada por satélite pode ser avaliada como segue

$$Qn(sat) = \sum_i (1 - C_i) (DNI_{cc})_i \delta t_i \quad (2)$$

O desempenho do método na estimativa de irradiação direta normal foi avaliado sazonalmente, considerando as estações de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Plotaram-se gráficos de dispersão entre a Qn medida e estimada e histogramas de frequência dos desvios (satélite - medida), afim de visualizar o comportamento do modelo nas diversas situações meteorológicas. Mapas ilustrando a variação temporal da Qn no NEB (meses de janeiro e julho) foram gerados. Adicionalmente, essa análise foi realizada considerando a divisão dos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte em mesorregiões geográficas, conforme critério do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A localização geográfica das mesorregiões utilizadas neste estudo é apresentada na Fig. 1. A qualificação do método por

satélite foi inferida através dos índices estatísticos usuais: R^2 , MBE (*Mean Bias Error*) e RMSE (*Root Mean Square Error*).

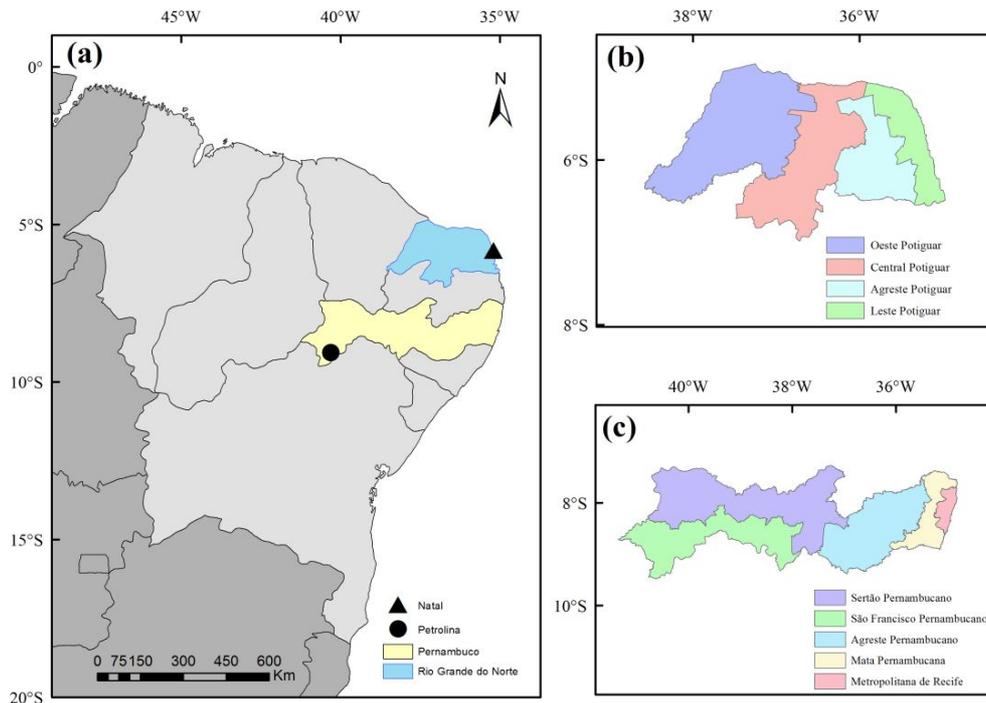


Figura 1 - Localização geográfica: (a) Nordeste e estações da rede SONDA em Petrolina e Natal; (b) Mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte e (c) Mesorregiões do Estado de Pernambuco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Medida vs satélite

A Fig. 2 permite comparar a relação existente entre a Q_n medida e a inferida por satélite em diferentes épocas do ano para as estações de Petrolina e Natal. Salienta-se a importância da validação do modelo para diferentes condições climáticas e ambientais. A estimativa de Q_n por satélite apresenta uma boa relação linear com a Q_n medida, sendo modulada pela dispersão dos pontos. Nota-se que o modelo apresentou comportamentos distintos de subestimativa/superestimativa de acordo com a época do ano e estação de observação. No sítio de Petrolina durante o verão, observou-se uma tendência de subestimativa do modelo da ordem de 10,8%. Em contrapartida, na estação de outono, a Q_n por satélite apresentou valores superiores, superestimativas médias de 8,7%. Observa-se nas estações de inverno e primavera leves subestimativas em torno de 2,7 e 2,2%, respectivamente. No caso de Natal, o modelo subestimou a Q_n medida para todas as épocas do ano, variando em cerca de 17 (outono) e 0,2% (inverno). Os ajustes lineares entre a Q_n medida e estimada por satélite e seus respectivos coeficientes de determinação R^2 são apresentados na Tab. 2.

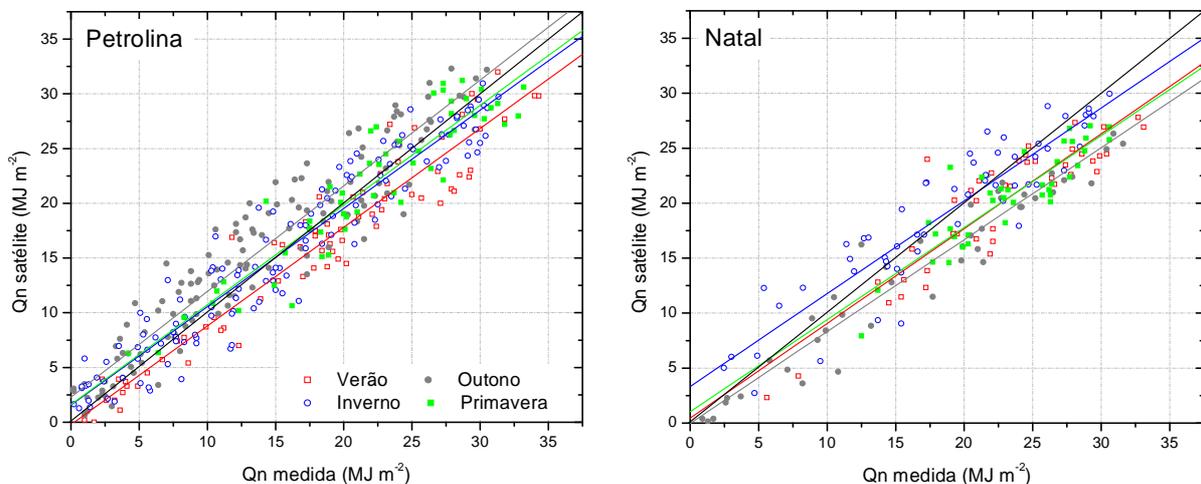


Figura 2 - Irradiação solar direta normal medida e estimada por satélite em distintas épocas do ano. Ajustes lineares entre a Q_n medida e satélite para o verão, outono, inverno e primavera são representados pelas linhas vermelha, cinza, azul e verde, respectivamente.

Tabela 2 - Ajustes lineares entre Q_n medida (Q_{n_m}) e Q_n satélite (Q_{n_s}) para cada época do ano e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e número de observações (N).

Estação do ano	Petrolina			Natal		
	Equação	R^2	N	Equação	R^2	N
Verão	$Q_{n_s} = 0,892 Q_{n_m}$	0,93	74	$Q_{n_s} = 0,88 Q_{n_m}$	0,81	42
Outono	$Q_{n_s} = 1,087 Q_{n_m}$	0,89	128	$Q_{n_s} = 0,83 Q_{n_m}$	0,93	44
Inverno	$Q_{n_s} = 0,973 Q_{n_m}$	0,91	130	$Q_{n_s} = 0,998 Q_{n_m}$	0,81	57
Primavera	$Q_{n_s} = 0,978 Q_{n_m}$	0,86	54	$Q_{n_s} = 0,879 Q_{n_m}$	0,80	38

A Fig. 3 permite caracterizar o comportamento dos desvios (satélite - medida) para distintas épocas do ano. Verifica-se para Petrolina durante a estação de verão uma predominância de valores negativos entre $-3,5 < \text{desvio} < 0,5$, assim, indicando subestimativas na estimativa de Q_n . Já para o outono, observa-se maior frequência de valores positivos entre $-0,5 < \text{desvio} < 4,5$. Durante a estação de inverno e primavera, o intervalo $-2,5 < \text{desvio} < 2,5$ foi o de maior predominância, com frequências de 75,4 e 68,5%, respectivamente. Em relação a Natal, nota-se uma predominância de desvios negativos, ratificando os resultados reportados na Fig. 2.

Com base nos resultados descritos nesta seção e estudos de sensibilidade do modelo podem ser enumeradas algumas fontes de erros: i) desvios negativos na estimativa de Q_n , podem ser provocados pelo valor de R_{min} adotado, pois este parâmetro pode induzir a presença (falsa) de nuvens; ou seja, uma estimativa acurada da refletância da superfície R_{min} faz-se necessário; ii) erros na calibração aplicada no canal VIS do GOES, iii) o uso de dados médios mensais de β e apenas 1 valor diário de w (12 GMT) podem agregar erros a estimativa; esses parâmetros possuem alta variabilidade espaço-temporal e iv) no caso de Natal, a proximidade com o oceano (diferentes características de refletância espectral) pode exercer impacto considerável na parametrização da R_{min} no modelo.

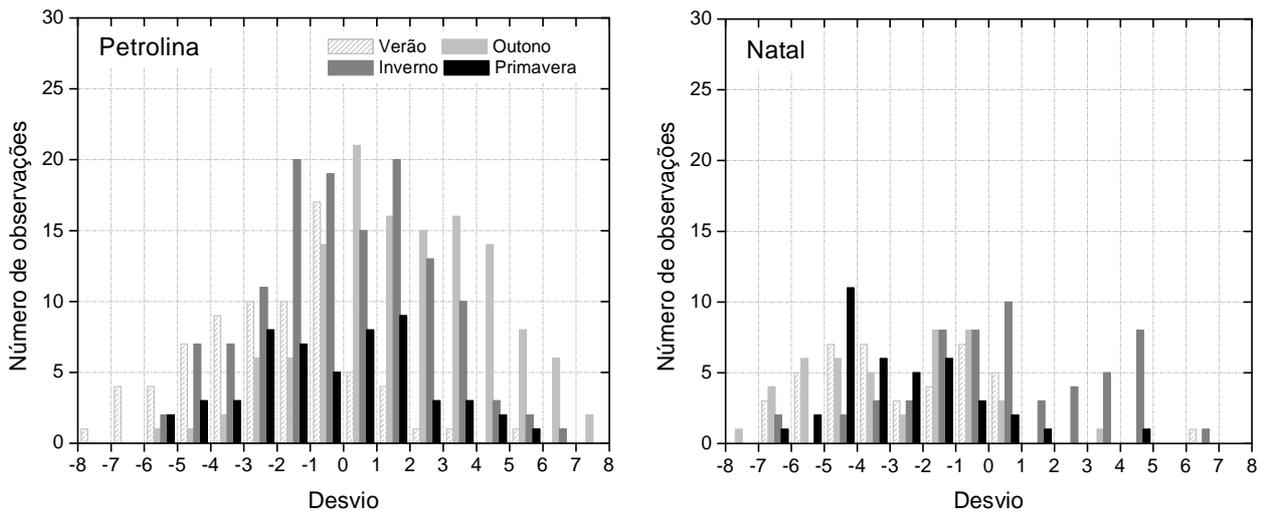


Figura 3 - Histograma sazonal do desvio (satélite - medida).

A relação entre os valores diários da Q_n medida e estimada por satélite nos sítios experimentais de Petrolina e Natal é ilustrada na Fig. 4. De modo geral, o comportamento observado sugere que o modelo apresentou uma boa concordância com as medidas à superfície. Este fato é ressaltado pelos elevados valores de R^2 , superiores a 0,84. Percebe-se que para Petrolina e Natal o modelo apresentou tendência de superestimar (subestimar) a medida em baixos (altos) valores de Q_n (vide reta de regressão). Para Petrolina, os índices estatísticos reportam tendência de superestimar à medida, $MBE = 1,0$ e $RMSE = 17,8\%$. Comportamento inverso, foi observado em Natal, com tendência média de subestimativa, $MBE = -8,6$ e $RMSE = 17,2\%$. O valor médio de MBE e $RMSE$ foi de $-3,8$ e $17,5\%$. Os resultados reportados neste estudo revelam-se similares aos reportados por outros pesquisadores. Mais especificamente, Schillings et al. (2004) noticiaram $RMSE$ médio de 27,5%. Martins e colaboradores (2007) reportaram superestimativas do modelo BRASIL-SR, com valores médios de 3,5 e 23,9% de MBE e $RMSE$, respectivamente. Mais recentemente, Janjai (2010) encontrou valores inferiores de MBE e $RMSE$, $-1,6$ e 16%, respectivamente. Assim, os resultados evidenciam o bom desempenho deste método, o que encoraja o seu uso para o desenvolvimento de mapas médios mensais de Q_n .

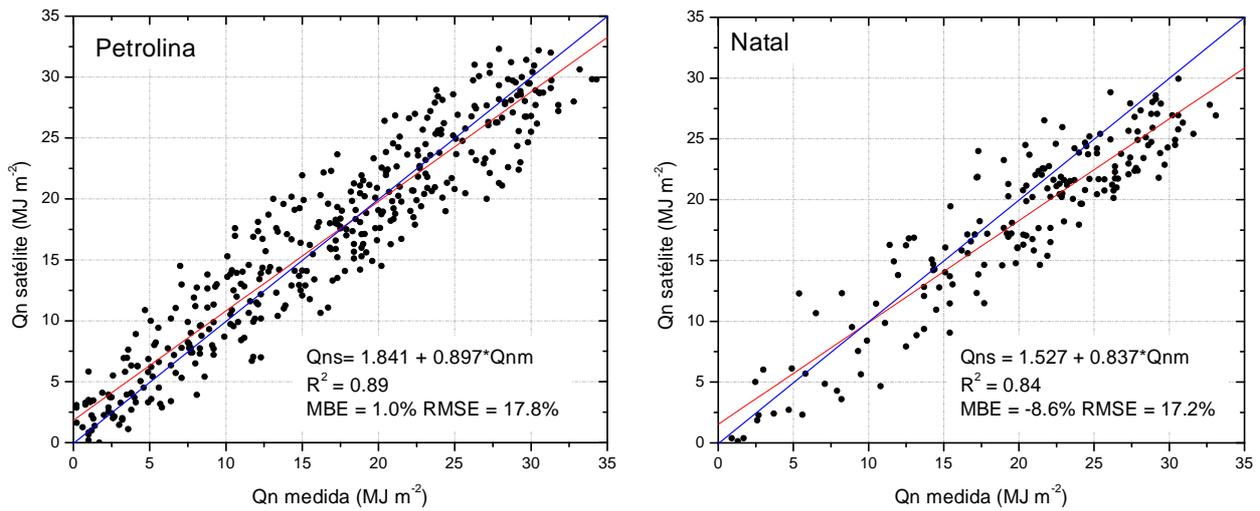


Figura 4 - Irradiação solar direta normal medida e estimada por satélite.

3.2 Distribuição espacial de Qn

A Fig. 5 mostra a distribuição espacial média mensal de Qn por satélite para o mês de janeiro e julho de 2008 no Nordeste do Brasil. Observa-se claramente uma variação sazonal significativa, ou seja, a Qn à superfície é modulada pelas condições meteorológicas regionais. De modo geral, por exemplo, no mês de janeiro (Fig. 5a) percebe-se um regime relativamente baixo de Qn numa grande parte do norte do NEB; variando entre 6 a 16 MJ m⁻² (Maranhão, Piauí e oeste do Ceará). Este comportamento deve-se ao efeito da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é caracterizada por movimentos ascendentes, nebulosidade e elevados totais pluviométricos (FERREIRA, 1996). Em janeiro, boa parte do oeste do Rio Grande do Norte e Paraíba e centro da Bahia (semi-árido) apresentaram valores elevados de Qn (entre 16-24 MJ m⁻²). Em julho, os maiores valores de Qn (entre 18 a 28 MJ m⁻²) ocorreram no oeste do NEB.

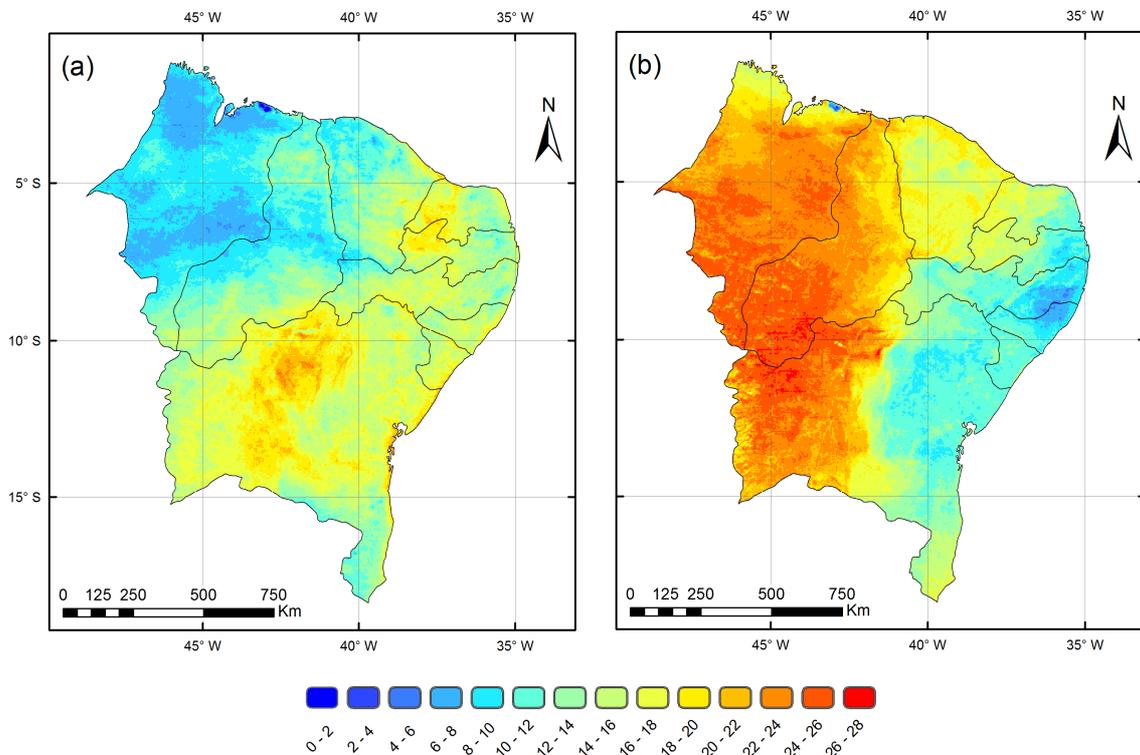


Figura 5 - Distribuição espacial da irradiação solar direta normal média mensal (MJ m⁻²): (a) Janeiro e (b) Julho de 2008.

As Fig. 6 e 7 permitem identificar e quantificar tendências sazonais de Qn sobre as mesorregiões dos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Nos histogramas são inseridos os valores médios de Qn e seu desvio padrão. Observa-se que a média de Qn encontra-se entre 12,5 e 13,9 MJ m⁻² para o Sertão Pernambucano, e entre 13,2 e 15,4 MJ m⁻² para o São Francisco Pernambucano (Fig. 6). Nitidamente, não houve variação significativa do potencial Qn

para essas mesorregiões (entre janeiro e julho), entretanto, percebe-se um deslocamento dos intervalos com maior frequência. Em contrapartida, dois regimes distintos de Q_n foram evidenciados para as mesorregiões Agreste Pernambucano/Mata Pernambucana e Metropolitana de Recife. A variação sazonal foi responsável por uma diminuição média de $5,4 \text{ MJ m}^{-2}$. As mesorregiões do Rio Grande do Norte Oeste Potiguar/Central Potiguar e Agreste Potiguar não apresentaram variações significativas no potencial Q_n entre janeiro e julho, fato ratificado pela mínima diferença entre os valores médios (Fig. 7). Por outro lado, tendência significativa de decréscimo de Q_n torna-se visível no Leste Potiguar. Salienta-se que o principal modulador da radiação a incidência direta é a nebulosidade. Sendo assim, os fenômenos meteorológicos atuantes em cada período sazonal exercem efeito significativo nos fluxos diretos à superfície. Os resultados, mesmo que preliminares, reportam que nem todas as mesorregiões têm o mesmo comportamento estatístico ao longo dos meses analisados.

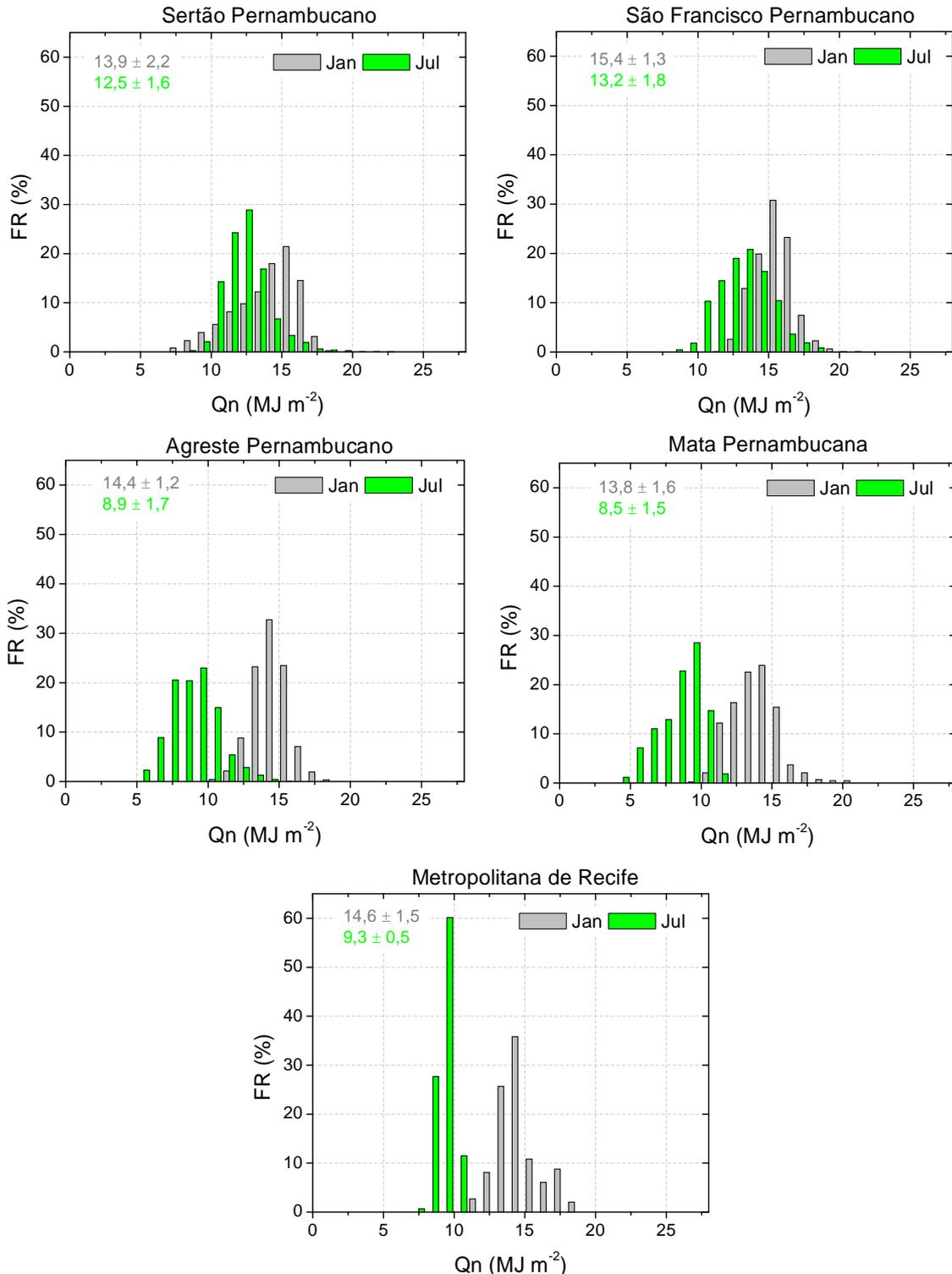


Figura 6 - Histograma de frequência relativa (FR, %) da irradiação solar direta normal estimada por satélite em diferentes mesorregiões de Pernambuco. As cores reportadas nos mapas associam-se ao mês de janeiro e julho.

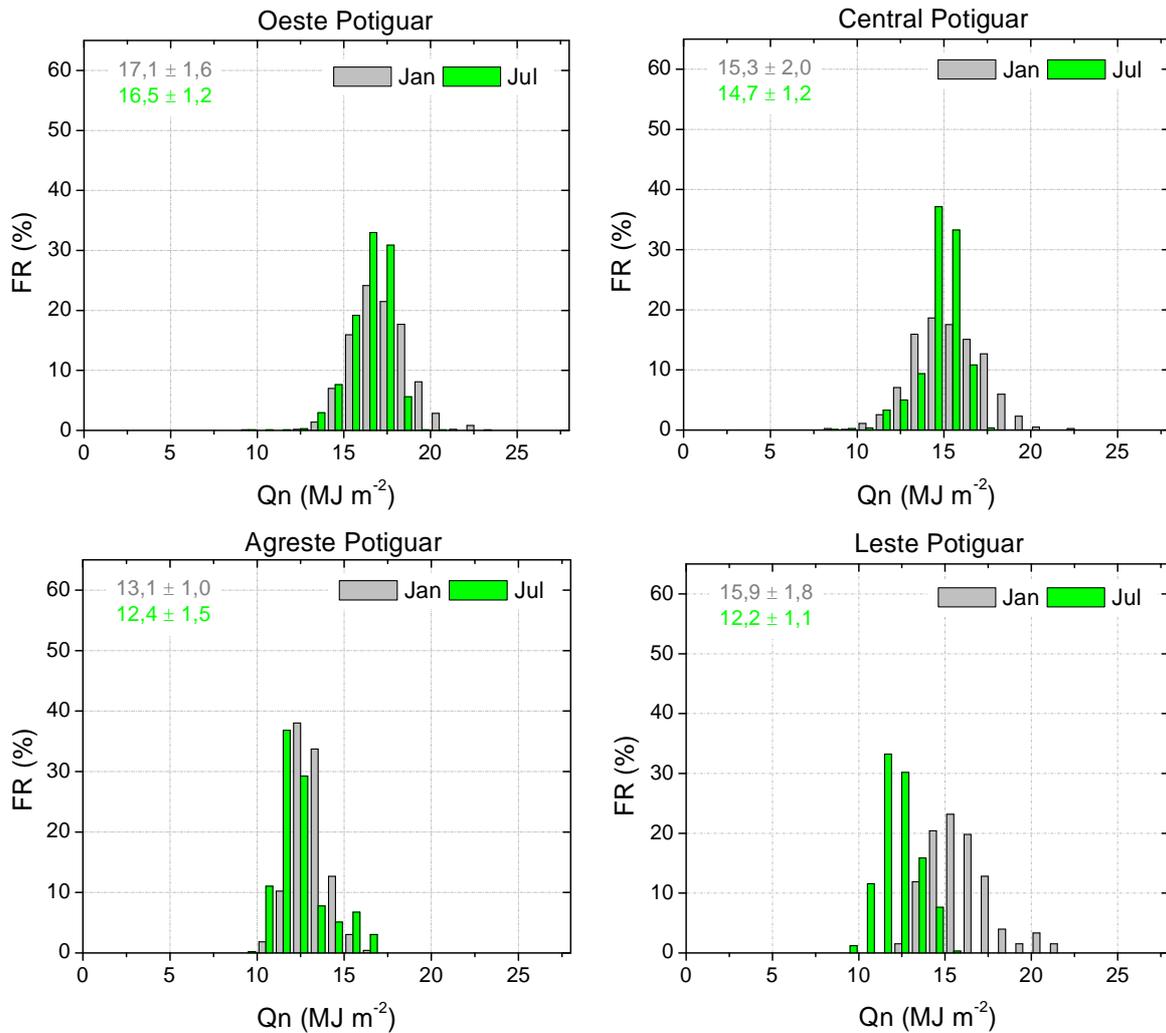


Figura 7 - Histograma de frequência relativa (FR, %) da irradiação solar direta normal estimada por satélite em diferentes mesorregiões de Rio Grande do Norte. As cores reportadas nos mapas associam-se ao mês de janeiro e julho.

4. CONCLUSÕES

As primeiras validações de um método físico simplificado de estimativa de irradiação direta normal por satélite são reportadas neste estudo. As comparações entre a verdade terrestre e a estimativa por satélite foram realizadas para dois sítios experimentais com diferentes características meteorológicas e ambientais no NEB: Petrolina e Natal. A estimativa de Q_n por satélite mostrou bom ajuste linear em relação a verdade terrestre, com coeficientes de determinação superiores a 0,80. Os resultados para Petrolina foram mais acurados, com leve tendência de superestimativa $MBE = 1,0$ e $RMSE = 17,8\%$. Para Natal, o modelo reportou tendência de subestimativa, com valores de $MBE = -8,6$ e $RMSE = 17,2\%$. De qualquer forma, isto representa um valor médio de $MBE = -3,8$ e $RMSE = 17,5\%$. Tal resultado sugere que a acurácia do método (indicada pelos índices estatísticos) é similar a outros modelos difundidos na literatura, o que credencia seu uso para estudos climáticos e potencial energético solar. De fato, os fenômenos meteorológicos sazonais, atuantes no NEB, exercem impacto significativo na distribuição espaço-temporal dos níveis de Q_n . Foram percebidos decréscimos significativos da média mensal de Q_n (entre janeiro e julho) para três mesorregiões de Pernambuco (Agreste, Mata e Metropolitana) e uma mesorregião do Rio Grande do Norte (Leste Potiguar). Embora, o desempenho do método tenha sido satisfatório, análises mais abrangentes através de séries de dados maiores e de outros locais podem sugerir correções futuras do método.

Agradecimentos

Os autores agradecem à rede SONDA, à DSA/CPTEC/INPE, à PGMET/CPTEC/INPE, e à CAPES/MEC. O trabalho encontra-se no marco conceitual do projeto CAPES Pró-Engenharias nº 871/2008 “Sistema de informação geográfica (SIG) para localização de centrais termoelétricas solares de grande porte (100 MWe) no semi-árido nordestino”.

REFERÊNCIAS

- Ceballos, J. C., Bottino, M. J., Souza, J. M., 2004. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery, *J. Geophys. Res.*, vol. 109, D02211, pp. 1-14.
- Ferreira, N. S., 1996. Zona de convergência intertropical. *Climanálise Especial. Comemoração dos 10 anos.*
- Gueymard, C. A., 2003. Direct solar transmittance and irradiance predictions with broadband models. Part I: Detailed theoretical performance assessment, *Solar Energy*, vol. 74, n.5, pp. 355-379, 2003.
- Janjai, S., 2010. A method for estimating direct normal solar irradiation from satellite data for a tropical environment, *Solar Energy*, vol. 84, n. 6, pp. 1685-169.
- Martins, F. R., Pereira, E. B., Abreu, S. L., 2007. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project, *Solar Energy*, vol. 81, n. 4, pp. 517-528.
- Ministério de Minas e Energia (MME), 2007. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME, EPE. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 2.abr.2011.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Ruther, R., 2006. Atlas brasileiro de energia solar. INPE, 1. ed. São José dos Campos.
- Porfirio, A. C. S., 2012. Estimativas de irradiação solar direta normal mediante satélite: um estudo para o Nordeste brasileiro, *Dissertação de Mestrado, PGMET, INPE, Cachoeira Paulista.*
- Porfirio, A. C. S., Ceballos, J. C., 2013. Um método de estimativa de irradiação solar direta normal a partir de imagens de satélite geoestacionário: resultados preliminares, *XVI SBSR - XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu.*
- Schillings, C., Meyer, R., Mannstein, H., 2004. Validation of a method for deriving high resolution direct normal irradiance from satellite data and application for the Arabian Peninsula, *Solar Energy*, vol. 76, n. 4, pp. 485-497.
- Tiba, C., 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil – banco de dados terrestres. Recife: Editora Universitária da UFPE.

VALIDATION OF DIRECT NORMAL SOLAR IRRADIATION ESTIMATES FROM SATELLITE DATA

Abstract. *This paper presents validations of a satellite-based method for estimating of the direct normal irradiation (Q_n) which uses GOES VIS imagery and auxiliary weather informations. The validation was performed by comparison with measurements of solarimetric stations of SONDA network (Petrolina-PE and Natal-RN), during 2007-2008. Analyses of the spatial and temporal variability of Q_n in Northeast Brazil (NEB) and mesoregions of Pernambuco and Rio Grande do Norte states are reported. The results shows good linear relations between measured and satellite estimates Q_n , with coefficient of determination greater than 0,80. In general, the results evidenced a slight overestimate ($MBE = 1,0$ and $RMSE = 17,8\%$) for Petrolina, and underestimate ($MBE = -8,6$ and $RMSE = 17,2\%$) for Natal. These results for Natal station suggest a need of better assessment of surface reflectance at locations near the ocean. However, the values obtained for statistical parameters are similar to those models reported in the literature. It was noticed that the Q_n is strongly affected by seasonal weather conditions. These facts suggest the ability of the satellite-based method for providing Q_n estimates, particularly for climatic and energy studies.*

Key words: Direct Normal Irradiation, Solar Radiation, GOES satellite, Northeastern Brazil