

UMA BASE DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR NA AMÉRICA DO SUL, ESTIMADA POR SATÉLITE (MODELO GL1.2/CPTEC)

Juan Carlos Ceballos – jcc.1943@gmail.com

Leandro de Oliveira Macedo – Leandro.macedo@cptec.inpe.br

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Resumo. *Descrevem-se os fundamentos do modelo GL versão 1.2 e os resultados de sua aplicação a imagens GOES VIS de alta resolução para estimar radiação solar na superfície na América do Sul. Foi gerada uma base de dados que inclui arquivos binários de médias mensais e desvio padrão em alta resolução espacial ($0,04^\circ \times 0,04^\circ$) para o período 2000-2013, e uma matriz com resolução espacial de $0,4^\circ \times 0,4^\circ$ e série temporal de médias pentadais no período 1996-2012. Os dois tipos de arquivo estão acessíveis diretamente na página web de Radiação Solar e Terrestre da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA/CPTEC/INPE), <http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/>. A base de dados tem grande utilidade potencial para estudos climáticos e do potencial energético solar.*

Palavras-chave: Radiação solar, satélite GOES, América do Sul, modelo GL, séries temporais

1. INTRODUÇÃO

Os satélites geoestacionários têm órbita com a mesma velocidade angular que a Terra e, portanto, com posição fixa sobre um ponto do equador terrestre. Eles permitem o registro de radiação emergente no topo da atmosfera, com alta resolução espacial e temporal (3-4 km e 15-30 minutos, respectivamente). Desde a década de 1970, imagens da América do Sul e oceanos adjacentes até a latitude de 50°S são obtidas por um satélite GOES situado em posições entre 60° e 75°W . Ainda, os satélites europeus da série Meteosat se situam sobre 0°W e permitem observar o Brasil e a maioria dos países contíguos. O sensor Imager no satélite GOES (sensor e cronogramas descritos em <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/imager.html> e <http://www.ospo.noaa.gov/Operations/GOES/index.html>) e o sensor SEVIRI no Meteosat (Schmetz et al. 2002) possuem um detector de radiação no “canal” ou “banda” do espectro visível, que permite registrar fluxo direcional de radiação solar refletida nessa faixa espectral. Desde o final da década de 1970 estes registros de radiação refletida pelo planeta (E_p) são utilizados para estimar o fluxo de radiação solar G que chega à superfície do planeta. Diversos modelos foram publicados descrevendo a relação entre E_p e G , e podem ser classificados em dois tipos.

Os modelos estatísticos propõem um algoritmo e ajustam seus coeficientes com base numa sequência de pares de dados simultâneos de E_p (estimado por satélite) e G (medido por uma rede superficial). Exemplos são Tarpley (1979), com algumas aplicações de GOES na América do Sul (Righini e Barrera, 2008; Alonso et al., 2012), e o método semi-estatístico Heliosat utilizado na Europa para imagens Meteosat, com progressiva complexidade física na última década (Lefèbvre et al., 2004; Qu et al., 2013).

Os modelos físicos propõem estimativas de G a partir de E_p , com base em modelos de transmitância atmosférica associada a aerossol, vapor d'água e nuvens. A comparação com medidas de superfície (“verdade terrestre”) basicamente serve para validar o modelo. Diversos modelos físicos foram elaborados desde o primeiro publicado por Gautier et al. (1980), registrando-se um primeiro teste de aplicação ao Brasil por Arai e Almeida (1982). Entretanto, dois modelos físicos apresentam continuidade nas aplicações à região da América do Sul desde a década de 1990: por um lado, o denominado IGMK (Stuhlmann et al., 1990), desenvolvido na Universidade de Colônia (Alemanha) teve aplicações ao Brasil com imagens Meteosat (Pereira et al., 1996) e foi adaptado para imagens GOES resultando no modelo Brasil SR (INMET/LABSOLAR, 1998; Pereira et al., 2006), através de colaboração entre o INPE e a Universidade Federal de Santa Catarina; por outro, o modelo GL desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba teve uma primeira aplicação a imagens Meteosat do Nordeste brasileiro (Ceballos e Moura, 1997) e desenvolvimento posterior no CPTEC/INPE para aplicação a imagens GOES da América do Sul (Ceballos et al., 2004). Os campos de irradiação solar obtidos por Tiba e Freidenreich (2002) a partir de compilação de dados solarimétricos do Brasil exibem estreita coerência com os resultados dos modelos Brasil SR e GL versão 1.2 (Ceballos e Bottino, 2006).

Os resultados da estimativa mediante satélite, desde que exibam razoável acurácia, têm a vantagem de sua resolução espacial e de produzir informação acerca de regiões remotas e de difícil acesso. Adicionalmente, as imagens de satélite GOES exibem uma série temporal longa, atraente para realizar estudos climáticos baseados em dados de satélite. O CPTEC/INPE armazena imagens GOES (canal visível do sensor Imager) em alta resolução e frequência completa a partir de 1998. Possui também imagens com menor resolução espacial e temporal desde 1996. A Divisão de

Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC/INPE gera operacionalmente estimativas de irradiação solar diária na América do Sul pelo modelo GL 1.2. Os campos são exibidos na página <http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>, sendo acessíveis em diversos formatos (gráficos e binários) e configurando uma base de dados de pelo menos 13 anos de radiação solar na América do Sul. O presente trabalho descreve os padrões de acesso a esta base, e alguns resultados referentes à acurácia do modelo GL 1.2.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO GL 1.2 E VALIDAÇÕES

Tratando-se de um modelo físico, é conveniente descrever a estrutura e hipóteses básicas do GL 1.2 para ilustrar alcances e limitações das estimativas produzidas. Descrição detalhada encontra-se em Ceballos et al. (2004). O dado central utilizado pelo modelo é o *fator de refletância* F_R no canal 1 (GOES Imager, visível) para cada píxel ou elemento de imagem (fornecido pelo sistema de aquisição e pré-processamento de imagens), a partir do qual é estimada a refletância R_p :

$$R_p = F_R/\mu_o = \pi L_\lambda/\mu_o S_\lambda. \quad (1)$$

Nesta expressão, L_λ ($W/m^2 \cdot ster \cdot \mu m$) é a radiância ou intensidade específica espectral medida pelo satélite e S_λ ($W/m^2 \cdot \mu m$) a constante solar espectral média na faixa espectral de medição; $\mu_o = \cos Z_o$ é o cosseno do ângulo zenital Z_o nesse píxel, nesse horário.

O modelo divide o espectro solar em três intervalos: ultravioleta UV, visível VIS e infravermelho solar IVS. A atmosfera é dividida na troposfera (até alturas da ordem de 15 km) e estratosfera (alturas superiores). Nessas condições, são assumidas as simplificações seguintes: 1) na estratosfera, a baixa densidade do ar não produz dispersão da radiação solar; entretanto, os raios diretos (solares incidentes na estratosfera, e refletidos pela troposfera observados pelo satélite) têm absorvância parcial pelo ozônio estratosférico; 2) a troposfera dispersa mas não absorve radiação solar, exceto pela presença de aerossóis: mesmo assim, o albedo simples destes é elevado e, exceto em condições de profundidade óptica muito elevada, o efeito de absorção é desprezível; 3) a radiação solar no infravermelho (0,8-4 μm) não tem dispersão apreciável porque a profundidade óptica de ar +aerossol é pequena; do seu lado, as nuvens têm absorção e reflexão elevadas no IVS. Dessa forma, não há transmissão por nuvens e registra-se apenas radiação direta entre nuvens (dependente da nebulosidade C) e parcialmente absorvida por vapor d'água e dióxido de carbono atmosféricos. Ainda, 4) é importante notar que a Eq. (1) contém uma aproximação, consistente em supor que o fluxo radiativo (irradiância E_p) ascendente no topo da atmosfera pode ser avaliado a partir da observação numa única direção (a do satélite); nesse sentido, πL_λ avalia E_p sob a hipótese de isotropia da radiação refletida. Nas condições descritas, as irradiâncias G_{uvvis} e G_{ivs} à superfície são avaliadas no IV+VIS como um simples balanço de radiação, e no IVS como uma irradiância direta parcialmente transmitida; para UV+VIS,

$$\mu_o S_\lambda \cdot T_3(Z_o) = R_p/T_3(Z_s) + G_{uvvis}/(1 - R_{svis}). \quad (2)$$

A Eq. (2) traduz a hipótese de que a troposfera não é absorvente: o fluxo incidente é igual ao refletido no topo mas o absorvido no solo, onde T_3 expressa absorvância pelo ozônio, e R_{svis} a refletância do solo no espectro visível. No IVS, tem-se

$$G_{ivs} = \mu_o [S_{ivs} - \Delta S(w_2, w_{CO_2}, Z_o)] \cdot (1 - C)/(1 - C \cdot R_n \cdot R_{ivs}) \quad (3)$$

Nesta expressão, ΔS_{ivs} representa a atenuação do fluxo direcional solar efetuada pela coluna de vapor d'água e dióxido de carbono atmosféricos. A fração de área coberta por nuvens (C) é avaliada a partir de R_p , da refletância mínima R_{pmin} observada na ausência de nuvens, e de um valor $R_{pmax} \cong 0,46$ associada à transição entre campo de nuvens cumuliformes e estratiformes,

$$C = (R_p - R_{pmin})/(R_{pmax} - R_{pmin}). \quad (4)$$

O termo no denominador da Eq. (3) é uma correção associada a reflexão múltipla de radiação entre o solo (com refletância R_{ivs}) e base de nuvens (refletância R_n). A irradiância solar resultante é $G = G_{uvvis} + G_{ivs}$ ($W \cdot m^{-2}$) e sua integral diária fornece a irradiação diária Q (unidades MJ/m^2 ou kWh/m^2) ou a irradiância média diária $\langle G \rangle = Q/86400$ (W/m^2). Nas rotinas operacionais, não estão incluídas ainda estimativas da partição de G em irradiância direta e difusa.

As imagens GOES fornecem um valor de F_R (Eq. 1) por píxel. A resolução espacial é de $0,04^\circ \times 0,04^\circ$ no ponto sub-satélite (nadir) e a frequência é de uma imagem a cada 15 ou 30 minutos, dependendo do cronograma do satélite GOES dessa época. A cada píxel é atribuído um valor G resultante da média de 9 estimativas (3×3 píxels em torno dele). O procedimento é equivalente a uma hipótese ergódica: o valor médio numa dimensão de aproximadamente 12 km é um

estimador da média temporal que se registraria num local, num intervalo da ordem de 20 minutos. Este procedimento contribui a obter integrais diárias mais objetivas.

A disponibilidade de imagens GOES permitiu gerar a série de arquivos de diários para o período 1996-2013. No contexto de validações do modelo, a comparação de valores diários $\langle G \rangle$ com “verdade terrestre” é uma questão problemática, seja porque a qualidade das medidas de solarímetros em diversas redes é variável no tempo (devido a problemas de manutenção), seja porque o acesso continuado a medições com qualidade controlada não é tão simples. No Brasil, existem pelo menos quatro redes fornecendo séries de dados com continuidade relativamente aceitável: 1) INMET (com pelo menos 500 estações automáticas e séries relativamente curtas, da ordem de 6-7 anos); 2) SCD - Sistema de Coleta de Dados via satélite, com um par de centenas de estações automáticas instaladas a partir de 1996 aproximadamente, que dependem dos Estados e cuja recepção/processamento é realizada pelo INPE (algumas estações têm séries de 15 anos, mas a qualidade da manutenção é variável); 3) rede SONDA, criada no início do século presente para monitoramento de radiação solar e atmosférica, dispondo de instrumentos mais precisos; 4) rede SolRad Net, dependente da NASA e acompanhando algumas estações da rede Aeronet (destinada ao monitoramento de carga de aerossol). Todas elas publicam suas medições na internet, para acesso direto. Diversas validações do modelo se encontram na página internet da DSA/CPTEC/INPE. Ceballos et al. (2011) descrevem um processo de validação com estações de diversas redes (época: outubro-dezembro 2010). Considerando SONDA e SolRad Net no Brasil, e algumas estações no Uruguai e na Argentina como “redes de referência”, diagramas de dispersão entre estimador $\langle GL \rangle$ e medidas $\langle G \rangle$ diárias têm coeficiente de correlação superior a 0,95 nas regiões Sul e Sudeste, e superior a 0,85 no Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Diagramas de dispersão típico são ilustrados na Fig. 1, para valores diários no Sul do Brasil + Uruguai + Argentina e para valores mensais do conjunto de estações consideradas no Brasil + Uruguai + Paraguai + Argentina. Para incluir dados na estatística, foram considerados apenas pares $(\langle G \rangle, \langle GL \rangle)$ não-anômalos (valores diários de G ou GL entre 30 e 400 W/m^2 , diferença entre G e GL inferior a 100 W/m^2). Para considerar uma média mensal, o número de pares remanescentes para o local devia ser não inferior a 15 nesse mês.

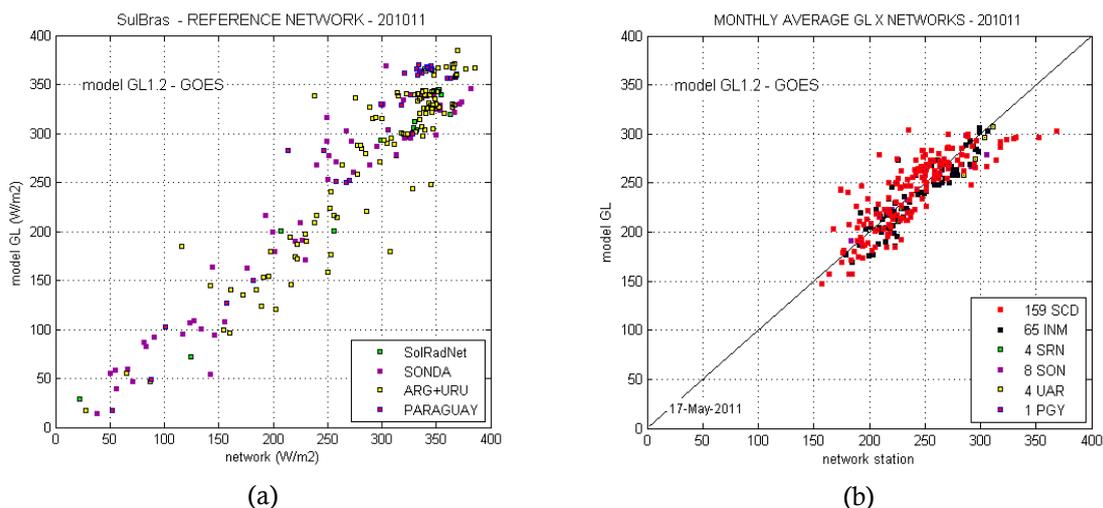


Figura 1 - Dispersão de pares não anômalos $\langle G \rangle, \langle GL \rangle$: (a) para valores diários da região Sul, e (b) para médias mensais no Brasil como um todo. Unidades de medida: média diária em $W \cdot m^{-2}$ (1 $W \cdot m^{-2}$ acumula 0,024 $kWh \cdot m^{-2}$ de irradiação em um dia).

O desvio padrão observado para a diferença entre valores diários de $\langle GL \rangle$ e $\langle G \rangle$ foi da ordem de 10 a 30 W/m^2 . Em termos gerais, a validação indicou que o modelo GL apresenta uma coerência aceitável em todas as regiões do Brasil, especialmente considerando-se que a versão 1.2 assume hipóteses extremamente simplificadoras para parâmetros como água precipitável, refletância do solo e presença de aerossol, considerados constantes sobre extensas áreas. Entretanto, nessa época a regressão $GL = bG + a$ apresentava coeficientes b entre 0,99 e 1,08. Este desvio poderia ser atribuído à calibração do sinal de satélite, problema adicional às quatro simplificações mencionadas acima. Com efeito, as Eqs. (2) e (4) mostram que a refletância R_p e a nebulosidade C são variáveis dependentes de uma correta estimativa da radiação L emergente, ou seja, da calibração do canal VIS. Os detectores neste canal sofrem de progressiva degradação, precisando de uma correção com valor crescente ao longo de sua vida útil. Entre 1996 e 2013, houve várias mudanças de satélite (GOES 8 até 2003, GOES 12 até 2007, GOES 10 até 2009, novamente GOES 12 entre 2010 e agosto de 2013. Atualmente, as imagens recebidas são de GOES 13). A calibração do canal VIS não está incluída na operação dos satélites GOES e realiza-se através de diversos critérios; uma análise deles está em andamento no Grupo de Radiação Solar e Terrestre da DSA, tencionando uma correção da série GL completa. Uma versão 1.4 do modelo está em testes, e inclui aprimoramentos como a distribuição geográfica (e sazonal) de refletância do solo e água

precipitável. Enquanto isso, a série temporal de GL diário é disponibilizada na página internet da DSA/CPTEC/INPE. As características são descritas na seção 3.

3. O ACERVO DE PRODUTOS GL 1.2

3.1. Irradiação diária

Os arquivos de GL obtidos a partir de imagens do canal VIS são projetados numa grade regular de $0,04^\circ \times 0,04^\circ$, com latitude a partir de 50°S e longitude a partir de 100°O , em grade de 1800 linhas \times 1800 colunas. Dois arquivos (binários) são armazenados: um de radiação global *GLuvvis*, e outro *G* de espectro solar integral. Diariamente é calculada a integral destes dois arquivos, e armazenadas as médias diárias $\langle GLuvvis \rangle$ e $\langle G \rangle$. Pixels sujeitos a erro de detecção têm valor nulo, assim como aqueles situados em área noturna (não iluminada pelo sol). Um pixel com um intervalo de mais de 3 horas sem dado *GL* tem sua média diária anulada. Figuras em formato GIF dos campos diários são publicadas. Os binários só estão disponíveis para usuários através de solicitação explícita.

3.2. Médias mensais

Os binários diários permitem avaliar a média mensal *Gm* e desvio padrão *Sm* para os pixels da grade de 1800×1800 pixels. Além de estudos estatísticos, este par de variáveis pode ser de utilidade na geração de séries sintéticas de radiação solar. A página da DSA inclui a possibilidade de baixar tanto as imagens GIF, como arquivos GEOTIFF onde os valores de *Gm* e *Sm* podem ser retirados com *software* adequado, com resolução espacial de $0,04^\circ$. A Fig. 2 ilustra os resultados para outubro de 2013.

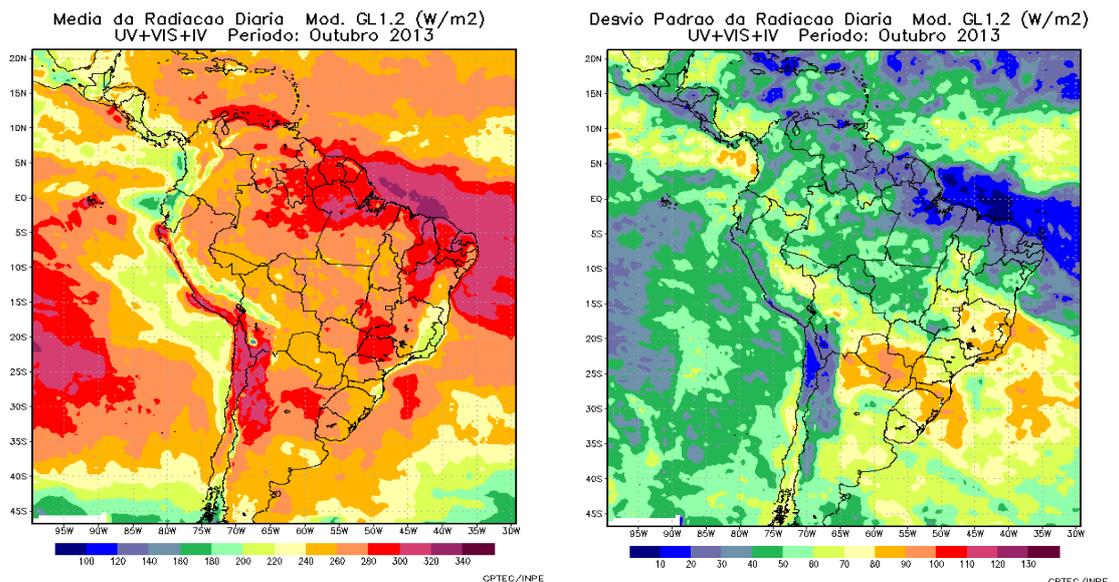


Figura 2 - Média mensal e desvio padrão de irradiância média diária na América do Sul. Unidades: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ acumulado em um dia representa uma irradiação de $0,024 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$).

3.3. Médias pentadais.

A análise de séries temporais (procurando em particular periodicidades, ou realizar análise de fatores predominantes regionais) requer uma série com detalhamento temporal razoável. Por outro lado, análises de tipo climático não requerem uma definição espacial tão elevada como $0,04^\circ$. A página de Radiação Solar e Terrestre/Séries Temporais inclui um arquivo binário, disponível para *download*, com séries temporais de valores médios espaciais (resolução $0,4^\circ \times 0,4^\circ$) apresentados em médias temporais de 5 dias (médias pentadais). Para sua construção, um valor pentadal foi declarado nulo se menos de 3 dias numa sequência de 5 eram não nulos. As pênadas seguem estritamente a ordem cronológica ao longo do ano, totalizando 73 anuais. Num ano bissexto, o último valor pentadal é calculado para os últimos 6 dias do ano. Baseado da série binária do período 1996-2012, o arquivo corresponde a uma matriz de $180 \text{ longitudes} \times 180 \text{ latitudes} \times 1241 \text{ pênadas}$.

Aplicações destas séries incluem, dentre outros, a comparação com irradiação de rede solarimétrica do Chile (Ortega et al., 2010), a análise crítica da radiação solar proposta em modelos de previsão numérica de tempo (Costa et

al., 2010), e estudos de coerência espacial da radiação solar na região de Chile, Argentina e Uruguai (Ceballos et al., 2006).

4. CONCLUSÕES

O modelo GL 1.2 é um modelo físico simplificado e pode ser aprimorado mediante introdução da distribuição espacial de parâmetros como água precipitável e refletância superficial, assim como algoritmos mais adequados para correção da degradação do canal VIS. De qualquer forma, validações realizadas sugerem que as séries temporais de GL já obtidas para o período 1996-2012 fornecem informação com acurácia razoável para estudos climáticos e de potencial energético solar. Foram gerados arquivos de médias espaciais e temporais com características adequadas para esses estudos, disponíveis para acesso direto dos usuários na página internet de Radiação Solar e Terrestre da DSA/CPTEC/INPE.

REFERÊNCIAS

- Alonso Suárez, R., Abal, G., Siri, R., Musé, P., 2012. Brightness-dependent Tarpley model for global solar radiation estimation using GOES satellite images: Application to Uruguay. *Solar Energy*, vol. 86, pp. 3205-3215.
- Arai, N., Almeida, F. C. de, 1982. Estimativa da radiação solar instantânea por satélite para céu claro ou encoberto. In: II Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas, RS. Acesso internet em <http://www.cbmet.com/cbm-files/17-d25e5433e4041b9531cda6f41499e255.pdf>
- Ceballos, J. C., Bottino, M. J., 2006. Solar radiation in South America, period 1998-2004: Some aspects of a satellite-based data base. In: **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, SC. Acessível em <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-06214951bf3c0dff8374177933b83865.pdf>.
- Ceballos, J. C., Moura, G. B., 1997. Solar Radiation Assessment Using Meteosat 4-VIS Imagery, *Solar Energy*, vol. 60, pp. 209-219.
- 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. of Geophys. Research*, vol. 109, D2, D02211 10.1029/2003JD003531.
- Ceballos, J. C., Bottino, M. J., Righini, R., 2006. Radiación solar en Argentina estimada por satélite: algunas características espaciales y temporales. In: XI Congremet, Buenos Aires, Argentina. http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/12.14.11.40/doc/Ceballos_RadiacionSolar_2005.pdf
- Ceballos, J. C., Rodrigues, M. L., Macedo, L. O., 2011. Desempenho do modelo GL versão 1.2, época: outubro 2010 – dezembro 2010. Relatório Técnico 01/11-RST-DSA. Acessível na página internet da DSA: <http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/#/documentos.jsp>
- Costa, M. H., Chipponelli Pinto, L. I., Diniz, L. M. F., 2010.. Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 25(4), pp. 469-478.
- Gautier C., Diak, G., Masse, S., 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite. *J. Appl. Meteor*, 19, pp. 1005-1012.
- INMET/LABSOLAR (Instituto Nacional de Meteorologia/Laboratório de Radiação Solar, UFSC), 1998. Irradiação solar do Brasil. Publicação conjunta Instituto Nacional de Meteorologia (Ministério da Agricultura e Abastecimento) e Laboratório de Energia Solar (Universidade Federal de Santa Catarina). Brasília, 58 pp..
- Lefèvre, M., Albuissou, M., Wald, L., 2004. Description of the software HELIOSAT-II for the conversion of images acquired by Meteosat satellites in the visible band into maps of solar radiation available at ground level. École de Mines de Paris. Heliosat Web site: <http://www.helioclim.org/heliosat> (download acessível em http://www.soda-is.com/heliosat/heliosat2_soft_descr.pdf).
- Ortega, A., Escobar, R., Colle, S., Abreu, S. L., 2010. The state of energy resource assessment in Chile. *Renewable Energy*, v. 35, pp. 2514-2524.
- Pereira, E. B., Abreu, S. L., Stuhlmann, E., Rieland, M., Colle, S., 1996. Survey of the incident solar radiation in Brazil by use of Meteosat satellite data, *Solar Energy*, 57, pp. 125-132.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S. L. de, Ruther, R., 2006. Atlas brasileiro de energia solar, 60 pp. Acessível na internet em http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf.
- Qu, Z., Oumbe, A., Blanc, P., Lefèvre, M., Wald, L., 2013. Assessment of Heliosat-4 surface solar irradiance derived on the basis of SEVIRI-APOLLO cloud products. Apresentado na Eumetsat Conference 2013, Viena. Acessível no endereço https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.eumetsat.int%2Fwebsite%2Fwcm%2Fidc%2Fidcplg%3FIdcService%3DGET_FILE%26dDocName%3DPDF_CONF_P61_S2_06_QU_P%26RevisionSelectionMethod%3DLatestReleased%26Rendition%3DWeb&ei=okGZUpLUGYf1kQeZ44CoBw&usq=AFQjCNGdDoDgwLeMyXbhqmMjVohYjde6_g

- Righini, R., Barrera, D., 2008. Empleo del modelo de Tarpley para la estimación de la radiación solar global mediante imágenes satelitales GOES en Argentina, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 12, pp. 11.09-11.15.
- Schmetz, J., Pili, P., Tjempekes, S., Just, D., Kerkmann, J., Rota, S., Ratier, A., 2002. An introduction to Meteosat Second Generation (MSG), Bulletin of the American Meteorological Society, pp. 977-992. Acessível no endereço http://eumeds.eumetsat.int/groups/ops/documents/document/pdf_sci_bams0702_intro-msg.pdf.
- Stuhlmann, R.; Rieland, M., Raschke, E., 1990. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. J. Applied Meteorology, 29(7): 586-603.
- Tarpley, J.D., 1979. Estimating Incident Solar Radiation at the Surface from Geostationary Satellite Data, J. Appl. Meteor., vol. 18, pp. 1172-1181.
- Tiba, Ch., Freidenreich, N., 2002. Atlas solarimétrico do Brasil, Editora Universitária da UFPE, Recife, 111 pp.

A SOLAR RADIATION DATA BASE FOR SOUTH AMERICA, ESTIMATED BY SATELLITE (MODEL GL1.2/CPTEC)

Abstract. *This paper describes fundamentals of model GL version 1.2 and results of its application to estimation of solar insolation at ground level over South American area, by using high resolution GOES VIS imagery. It was generated an extended database which includes binary files containing GL monthly average and standard deviation in high spatial resolution ($0,04^\circ \times 0,04^\circ$) for period 2000-2013, as well as a data matrix with $0,4^\circ \times 0,4^\circ$ resolution and time series of 5-days averages, period 1996-2012. Both types of file are available directly for download at webpage of Solar and Terrestrial Radiation <http://satellite.cptec.inpe.br/radiacao/>. Data base is highly valuable for climatic and energy studies.*

Keywords: *Solar radiation, GOES satellite, South America, model GL, time series.*