

O MODELO GL/CPTEC DE RADIAÇÃO SOLAR POR SATÉLITE: POTENCIAL DE INFORMAÇÕES PARA AGROMETEOROLOGIA

Juan Carlos Ceballos, Dr., ceballos@cptec.inpe.br
Marcus Jorge Bottino, M.Sc., bottino@cptec.inpe.br

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DSA/CPTEC/INPE

Apresentado ao XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Aracaju, SE - julho 2007

RESUMO. Apresentam-se diversos tipos de resultados do modelo GL/CPTEC, o qual avalia radiação solar à superfície a partir de imagens GOES no espectro visível. São ilustrados exemplos de distribuição de radiação solar global e de radiação ultravioleta + visível (aproximadamente PAR), algumas aplicações potenciais e a disponibilidade de séries temporais para fins agrícolas e ambientais no Brasil e na América do Sul.

PALAVRAS-CHAVE: radiação solar, PAR, GOES, modelo GL

ABSTRACT. We present several results of GL/CPTEC model, which assesses solar radiation at ground level based on GOES VIS imagery. Some examples are shown, concerning space distribution of solar irradiance: global, and UV+VIS (approximately PAR), as well as some potential applications and the availability of time series for agricultural and environmental purpose in Brazil and South American region.

KEYWORDS: solar radiation, PAR, GOES, model GL

INTRODUÇÃO

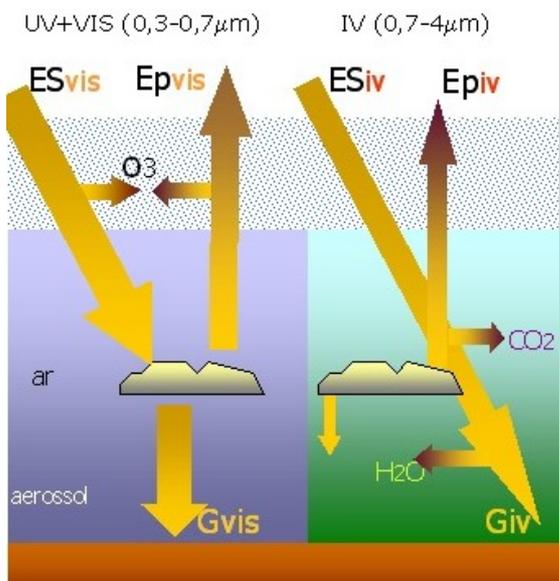
A radiação solar é um fator de primeira importância no crescimento de culturas, na evapotranspiração e como fonte de energia em diversos processos (p.ex. secagem), além da conversão em energia térmica e elétrica. É reconhecida a carência de séries históricas de dados de radiação, a reduzida densidade espacial de estações solarimétricas, e a qualidade inerente aos dados usuais disponíveis (horas de sol fornecidas por heliógrafos). A instalação de redes de estações automáticas permite gerar séries históricas com uma frequência elevada de medições com boa precisão, mas o esforço é bastante recente. Nesse contexto, modelos de estimativa por satélites geostacionários são uma importante fonte de informação, dadas a frequência elevada, a resolução espacial das estimativas, e o número de anos atualmente disponível.

O modelo GL de radiação solar por satélite foi desenvolvido no CPTEC, roda operacionalmente e estima irradiância sobre América do Sul a partir de imagens GOES (sensor Imager). Diariamente são gerados arquivos de radiação para cada imagem recebida, assim como para sua integral (irradiação) diária. Retrospectivamente, o acervo de imagens GOES no CPTEC se estende até 1996. Dadas a extensão da série de estimativas e as características das variáveis estimadas, o acervo de resultados tem utilidade potencial relevante para diversas atividades nos âmbitos agrícola e ambiental no Brasil e na América do Sul.

O presente trabalho descreve a disponibilidade de dados do modelo CPTEC-GL, versão 1.2, e alguns exemplos de aproveitamento potencial da série temporal.

CARACTERÍSTICAS DO MODELO

A área de cobertura adotada para GOES 12 se estende desde 100°W até 28°W, e desde 50°S até 22°N. Os arquivos horários têm resolução espacial de 0,04°, definindo matrizes de 1800 × 1800 pontos de grade. A área e resolução efetivas apresentaram algumas variações ao longo do tempo, dependendo do satélite GOES e do sistema de ingestão utilizado.



A figura 1 ao lado ilustra a estrutura conceitual do modelo GL, o qual considera dois intervalos espectrais. A influência de aerossol não é incluída no modelo. As imagens no canal visível do GOES Imager permitem avaliar de forma simples a radiação global no intervalo 0,3-0,7 μm, uma vez descontada a absorção pelo ozônio (principalmente na estratosfera).

No intervalo infravermelho (0,7-4 μm) supõe-se escassa dispersão pela atmosfera e que a transmitância por nuvens é desprezível; a irradiância à superfície é principalmente a direta, atenuada ao atravessar gases atmosféricos (H2O e CO2 principalmente).

Figura 1. Estrutura de fluxos no modelo GL

A página internet CPTEC (www.cptec.inpe.br) → Satélite → Radiação Solar e Terrestre (<http://satelite.cptec.inpe.br/htmldocs/radiacao/fluxos/radsat.htm>) descreve com mais detalhes o modelo e algumas validações. O modelo completo é descrito em CEBALLOS ET AL. (2004).

Desde 2006, três satélites já foram fonte de dados: GOES 8 (período janeiro de 1996 a março de 2003), GOES 12 (abril 2003 a fevereiro 2007), GOES 10 (a partir de março de 2007). Em dezembro de 2006 a série temporal gerada pelo GL completou 11 anos. Uma análise dos dados da versão 1.2, períodos dezembro 2006 e janeiro 2007, sugere um viés (desvio sistemático médio) nulo ou de poucos $W.m^{-2}$ ao se comparar com dados de estações de superfície no Brasil (CEBALLOS E GALVÃO 2007). A influência passada e presente de diversos fatores de erro (calibração do canal visível; resolução espacial dos dados das imagens originais; impacto da perda de imagens num ciclo diário) está em processo de análise e deverá gerar uma série corrigida. Enquanto isso, uma versão preliminar para o período 1998-2004 (CEBALLOS E BOTTINO 2006) mostrou grande coerência espacial com o modelo Brasil-SR também satelital (INMET 1998) e com resultados de uma extensa compilação de dados de superfície (TIBA 2001). Devido a sua resolução, os modelos por satélite exibem um grau de detalhamento espacial muito mais elevado.

DISPONIBILIDADE E APLICAÇÕES DE SÉRIES TEMPORAIS

Para fins de análises climáticas, foram elaboradas duas séries com as características seguintes: valor médio pentadal (5 dias) em grade de 0,4°×0,4°, com 73 pântadas anuais. O tamanho resultante dos arquivos permite sua manipulação mais simples. Duas séries estão acessíveis: 1) América do Sul e recortes regionais, versão V01, outubro 1997 a dezembro 2004; 2) América

do Sul, versão V03, janeiro 1996 a dezembro 2006. Podem ser baixadas na página de radiação Solar e Terrestre → Séries Temporais. As figuras 2 e 3 apresentam dois exemplos de aplicação deste tipo de dado.

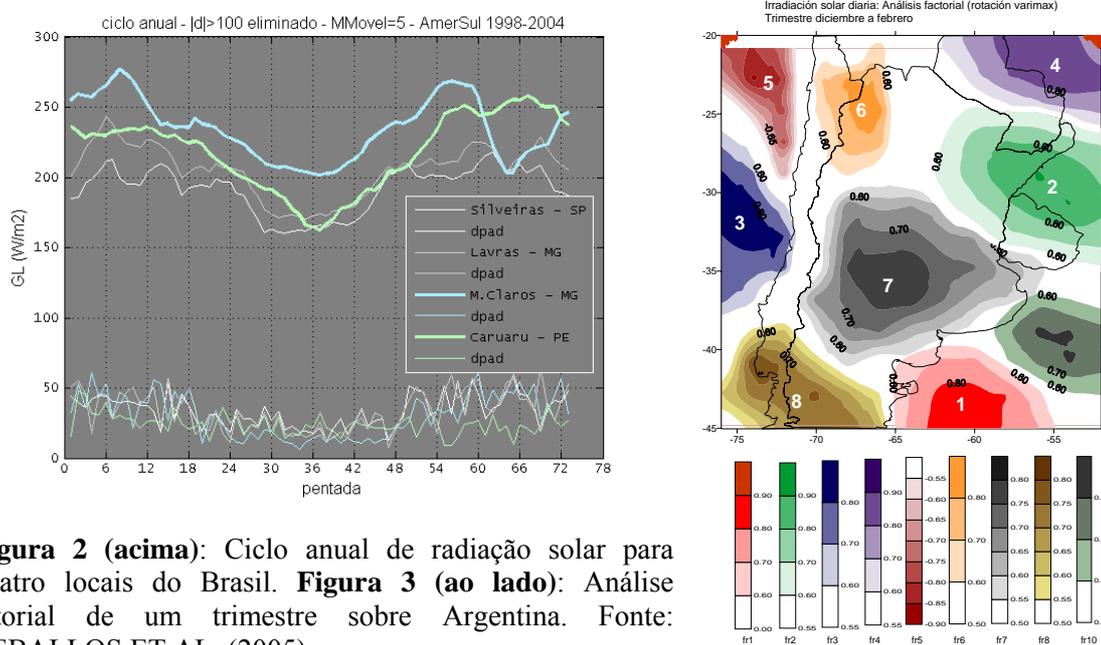


Figura 2 (acima): Ciclo anual de radiação solar para quatro locais do Brasil. **Figura 3 (ao lado):** Análise fatorial de um trimestre sobre Argentina. Fonte: CEBALLOS ET AL. (2005).

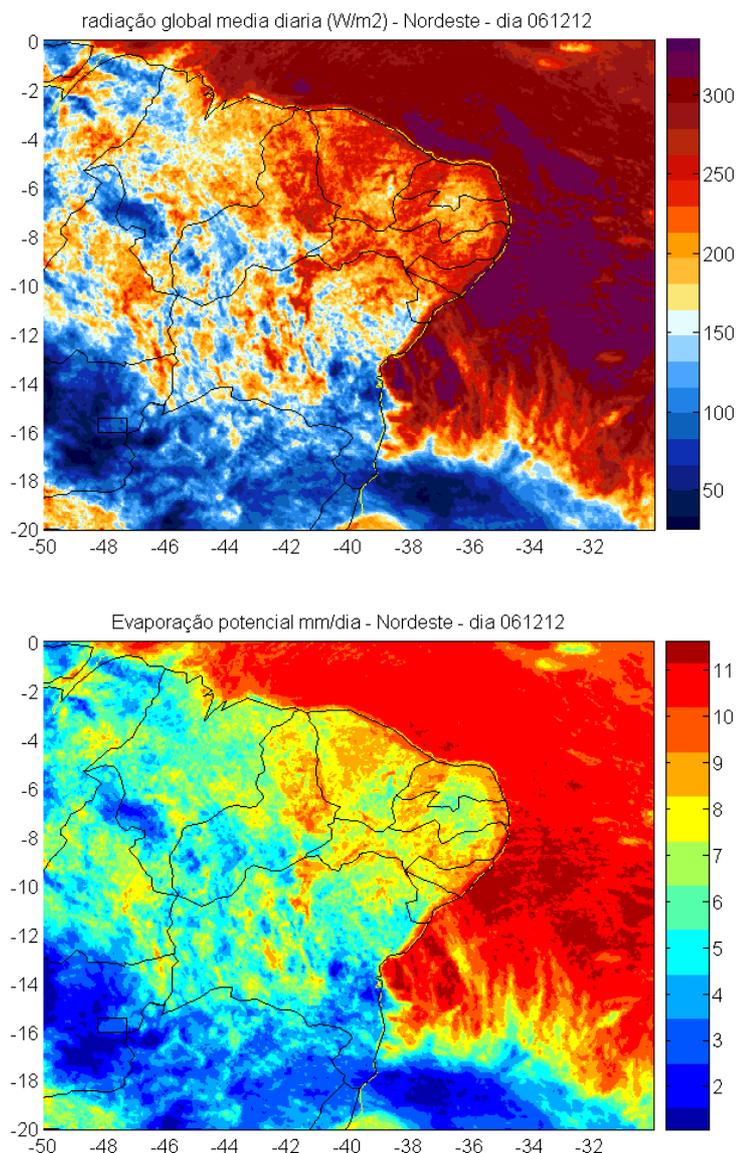
A figura 2 ilustra o ciclo anual (média m de cada pênstada em sete anos) obtido a partir da versão pentadal V01 para quatro locais brasileiros entre os estados de São Paulo e Pernambuco. Foram eliminados desvios maiores do que 100 W.m^{-2} com relação à média m . O ciclo anual resultante foi suavizado com uma média móvel de tamanho 5 (± 10 dias em torno da pênstada). Apresenta-se também o desvio padrão S observado. A menor magnitude de S na época central do ano evidencia menor nebulosidade nas estações do Sudeste (em Caruaru, PE, provavelmente cobertura prolongada por nuvens estratiformes). A precipitação por entrada de frentes a partir de outubro até fevereiro no Sudeste é evidenciada por maiores valores de S (note-se que Montes Claros, MG, aparece afetada pelo mesmo comportamento). No contexto da geração de séries simuladas para estimar eficiência de coletores solares, é usual utilizar apenas m e S como informação básica.

A figura 3 resume um caso de análise fatorial do regime de radiação solar aplicada à região da Argentina/Uruguai/Chile, concentrado no trimestre dezembro-fevereiro (a série V01 fornece em torno de 18×7 dados para essa análise, em cada ponto de grade). A variável utilizada é padronizada com relação à média e desvio padrão do conjunto de dados. Na figura, estão representadas as cargas fatoriais de nove comportamentos considerados significativos. O método permite evidenciar regiões com comportamento temporal homogêneo, nas quais podem concentrar-se análises climatológicas específicas.

ALGUMAS VARIÁVEIS DERIVADAS DOS CAMPOS DE RADIAÇÃO

Sem esgotar a lista, dois fenômenos fundamentais dependem diretamente da radiação solar: evaporação e fotossíntese. A estimativa de evaporação de açudes é fundamental para o gerenciamento de recursos hídricos (FONTES ET AL. 2003). As figuras 4 ilustram a radiação global estimada sobre o Nordeste do Brasil durante um dia (12 de dezembro de 2006), e a evaporação correspondente a 100% de eficiência. Note-se como a resolução espacial do modelo

GL permite considerar o efeito da presença de nuvens na região. A informação se estende à região oceânica, onde dados de superfície se limitam a apenas os de algumas bóias.



Figuras 4.

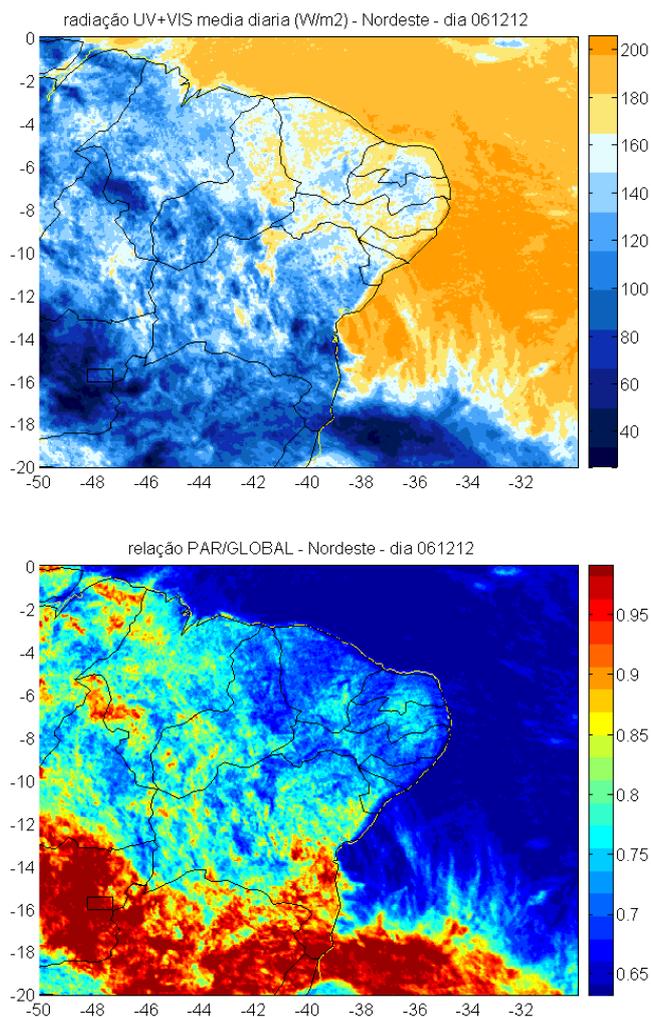
Acima: irradiância global média no Nordeste no dia 12 de dezembro de 2006. Um sistema frontal está presente sobre Goiás e Minas Gerais.

Abaixo: Evaporação esperável de uma superfície líquida, com 100% de eficiência, para a componente solar do balanço de radiação. Nessas condições, a irradiância média de 1 W.m^{-2} corresponde a $0,035 \text{ mm.m}^{-2} (\text{kg.m}^{-2})$ diários.

Por outro lado, a fotossíntese em superfícies vegetadas depende da irradiância no visível (GL_{vis}). Esta grandeza (irradiância total UV+VIS) é um sub-produto do modelo GL. As figuras 5 ilustram a distribuição da média diária no Nordeste do Brasil no mesmo dia que as figuras 4, e a fração da radiação global $f = GL_{vis}/GL$ correspondente. A conversão de unidades Joule/Joule para fótons/Joule depende da distribuição espectral da radiação e está sendo estudada.

CONCLUSÃO

O modelo GL fornece estimativas de radiação solar diária de utilidade evidente em agrometeorologia, dentro das limitações de resolução espacial (4 a 10 km) e precisão de estimativa (algumas dezenas de W.m^{-2} e desvio padrão da ordem de 10 a 40 W.m^{-2}). Séries temporais de 7 e 11 anos, degradadas no tempo e espaço, estão disponíveis para os usuários, são mais simples de manipular, e ainda permitem resgatar detalhes para estudos climatológicos do comportamento da radiação solar.



Figuras 6.

Acima: Distribuição espacial da irradiância média GL_{vis} do intervalo UV+VIS (0,3-0,7 μm). Nordeste do Brasil, dia 12 de dezembro de 2006. Unidades em $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Os medidores de PAR usuais informam fluxo de fótons, e não de energia.

Abaixo: Distribuição da fração GL_{vis}/GL . Note-se que varia com a cobertura de nuvens entre um mínimo de 0,65 e um máximo de 1. Difere do valor experimental $f \approx 2$ usualmente encontrado (STEIDLE NETO ET AL. 2006), porque representa um quociente entre irradiâncias.

REFERÊNCIAS (*: acessível na URL http://satellite.cptec.inpe.br/pesquisa/publi_princ.htm)

* CEBALLOS, J.C., M.J. BOTTINO. Solar radiation in South America, period 1998-2004: Some aspects of a satellite-based data base. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, SC. Anais em CD-ROM. 2006.

* CEBALLOS, J. C., M.J. BOTTINO, R. RIGHINI. Radiación solar en Argentina estimada por satélite: algunas características espaciales y temporales. **IX Congreso Argentino de Meteorologia**, Buenos Aires. 2005.

* CEBALLOS, J. C., M.J. BOTTINO, SOUZA, J. M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES-E imagery. **J. Geoph. Res.**, v. 109, D02211, doi: 10.1029/2003JD003531, 2004.

CEBALLOS, J.C., A.M. GALVÃO. Um estimador da qualidade do modelo CPTEC-GL de radiação solar por satélite. Apresentado ao **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, julho 2007.

FONTES, A.S.; J.I.R. DE OLIVEIRA e Y.D.P. MEDEIROS. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas. **IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2003. Registrado em Internet pelo Grupo de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, URL <http://www.grh.ufba.br/>. Acesso em abril 2007.

STEIDLE NETO, J.A.; A. RIBEIRO; S. ZOLNIER; F.P. LEITE. Variabilidade sazonal da relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global na bacia do rio Doce, Estado de Minas Gerais. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, V.27, 428-31, 2006.