

Relações entre irradiância solar ultravioleta, visível e global: Observações em Maceió-AL

Anthony Carlos Silva Porfírio¹, Juan Carlos Ceballos², José Leonaldo de Souza³, Gustavo Bastos Lyra⁴

¹Mestrando em Meteorologia, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, (CPTEC/INPE), São José dos Campos, SP, anthony.carlos@cptec.inpe.br. ² Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA/CPTEC/INPE), Cachoeira Paulista, SP. ³ Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas - LARAS/ICAT/UFAL, Maceió, AL. ⁴ Dep. de Ciências Ambientais, Inst. de Florestas, UFRRJ, Seropédica, RJ.

ABSTRACT. Solarimetric data (ultraviolet - UV, UV+VIS and global irradiances) were compared for Maceió – AL, January and June 2008. Data sources were an UFAL site (UV and global) and satellite estimates by CPTEC GL model (UV+VIS and global). It was found close linearity of UV irradiance against UV+VIS and global radiation. Linear coefficients were 0,042-0,048 and 0,030, respectively, for clear-sky as well as cloudy conditions. Comparison between GL model and ground truth suggests an accurate assessment of solar irradiance in clear-sky conditions, and a need of better assessment of planetary reflectance in cloudy scenes (associated to proper calibration of GOES VIS channel).

Palavras-chave: radiação solar, radiação solar ultravioleta, Modelo GL1.2, Maceió

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da radiação solar é imprescindível, pois é fonte de energia para os sistemas atmosféricos e influencia diretamente nos processos físico-químicos e biológicos ocorrentes na interação atmosfera-superfície. Desta forma, seu estudo é de grande aplicabilidade, em diversas áreas, tais como: meteorologia, no balanço de radiação e energia global; engenharia, com a conversão alternativa para energia elétrica; e agronomia, essencial na fotossíntese e evapotranspiração.

O espectro solar, para fins científicos, é usualmente dividido em três faixas principais, ultravioleta (0,1 – 0,4 μm), visível (0,4 – 0,7 μm) e infravermelha ($> 0,7 \mu\text{m}$) (Iqbal, 1983). Atualmente, estudos sobre a radiação solar ultravioleta (UV) são destaque, devido à preocupação com a diminuição da camada de ozônio, como também pelo aumento do número de casos de câncer de pele em todo o Brasil (INCA, 2005). A exposição aos raios ultravioleta é benéfica na sintetização da vitamina D em nosso organismo (Corrêa, 2003), porém em excesso podem causar desconforto biológico, prejudicial à saúde animal e vegetal. Os níveis de UV próximos da superfície terrestre são modulados por fatores atmosféricos (ozônio, aerossóis), astronômicos (elevação solar), superfície (altitude local, albedo da superfície) e meteorológicos (nebulosidade). Entretanto, apesar de sua relevância, a UV ainda é pouco monitorada na maioria das estações meteorológicas do Brasil, principalmente na região Nordeste, devido ao custo dos instrumentos, manutenção e a complexidade de seu registro. Para suprir a carência de informações de radiação solar à superfície, utilizam-se satélites com sensores meteorológicos, principalmente os geoestacionários, GOES e METEOSAT. No Brasil, a Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA/CPTEC/INPE tem implementado modelos físicos de transferência radiativa (GL1.1 e versão atual GL1.2) que possibilitam a estimativa operacional da radiação solar com auto grau de confiabilidade (Ceballos & Bottino, 2000; Ceballos *et al*, 2004). Esses modelos basicamente estimam a irradiância solar à superfície pela refletância observada por sensores a bordo de satélites. Os mesmos necessitam de informações de parâmetros atmosféricos, tais como: água precipitável, conteúdo de ozônio

e concentração de aerossóis. Porém, para determinar a acurácia dessas informações é necessário compará-las com dados de superfície (“verdade terrestre”).

Baseado no exposto, o presente estudo teve por objetivo analisar a relação existente entre as irradiâncias solar ultravioleta, visível e global utilizando-se de medidas em superfície e satélite sob diferentes condições atmosféricas de nebulosidade e sazonalidade, na região metropolitana de Maceió, AL.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas observações em superfície das componentes global e ultravioleta da radiação solar na estação Radiométrica/Agrometeorológica (9°28'S, 35° 49'W, 127m), localizada no Centro de Ciências Agrárias, UFAL, município de Rio Largo, região metropolitana de Maceió, Alagoas. A região de estudo localiza-se no extremo oeste da região Nordeste do Brasil, e a maior variação da energia solar na superfície é devida às mudanças nos padrões de nebulosidade (Souza *et al.*, 2005). A irradiância solar ultravioleta (R_{UV} , $W m^{-2}$) foi obtida por um radiômetro ultravioleta global (CUV3, Kipp & Zonen), com faixa espectral de 0,290 – 0,400 μm e a irradiância solar global (R_g , $W m^{-2}$) medida por um piranômetro termo-sensível (CM5, Kipp & Zonen) na faixa de 0,305-2,800 μm . As medidas foram armazenadas com auxílio de um sistema automático de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific), programado para realizar leituras a cada 10 segundos e armazenar médias de 5 minutos. A integração em períodos horário e diurno reproduziu as irradiações solar global e ultravioleta em níveis horários (H_g^h e H_{UV}^h) e diários (H_g^d e H_{UV}^d). A irradiância solar no topo da atmosfera em valores instantâneos foi calculada, conforme metodologia descrita por Iqbal (1983). Na caracterização da nebulosidade, utilizou-se a transmitância atmosférica global (K_t). O K_t foi determinado pela razão entre a irradiação solar global e a irradiação solar esperada numa superfície horizontal no topo da atmosfera. Valores de $K_t \leq 0,3$ foram considerados de céu nublado (NB), $0,3 < K_t < 0,7$ classificados como céu parcialmente nublado (PN) e $K_t \geq 0,7$ como céu claro (CL) (Iqbal, 1983).

Os dados de irradiância solar à superfície estimada por satélite foram obtidos da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, vinculada ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE). A irradiância solar é estimada pelo modelo de transferência radiativa na atmosfera, GL 1.2, e adaptada para imagens disponíveis do satélite GOES E. O modelo GL 1.2 divide o espectro solar em duas bandas principais: i) Ultravioleta + Visível e ii) Infravermelho próximo, e adiciona os efeitos de atenuação por nuvens e absorção pelos gases atmosféricos (O_3 , CO_2 e H_2O), contudo os efeitos de aerossóis são desprezados (Ceballos *et al.*, 2004; <http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao>). Nas análises foram selecionados dias com distintas condições de nebulosidade (CL, NB) nos meses de janeiro e junho de 2008, considerados como representativos da estação seca e chuvosa da região, respectivamente. Plotaram-se gráficos com as médias horárias entre as irradiâncias R_{UV} , R_g , GL1.2 e UV+VIS, afim de visualizar o comportamento entre elas nas diversas situações. Determinaram-se relações horárias entre as irradiâncias para as condições de céu claro e nublado, utilizando dados médios horários mediante a análise de regressão linear simples, forçada a passar pela origem ($Y = aX$). Considerou-se como variável independente (X) à radiação solar global, GL1.2 e UV+VIS e a radiação ultravioleta como variável dependente (Y).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra a irradiância solar ultravioleta horária em função da irradiância solar global observada em superfície (R_g), estimada pelo modelo GL1.2, e a banda UV+VIS do mesmo modelo, para dias de céu claro e nublado.

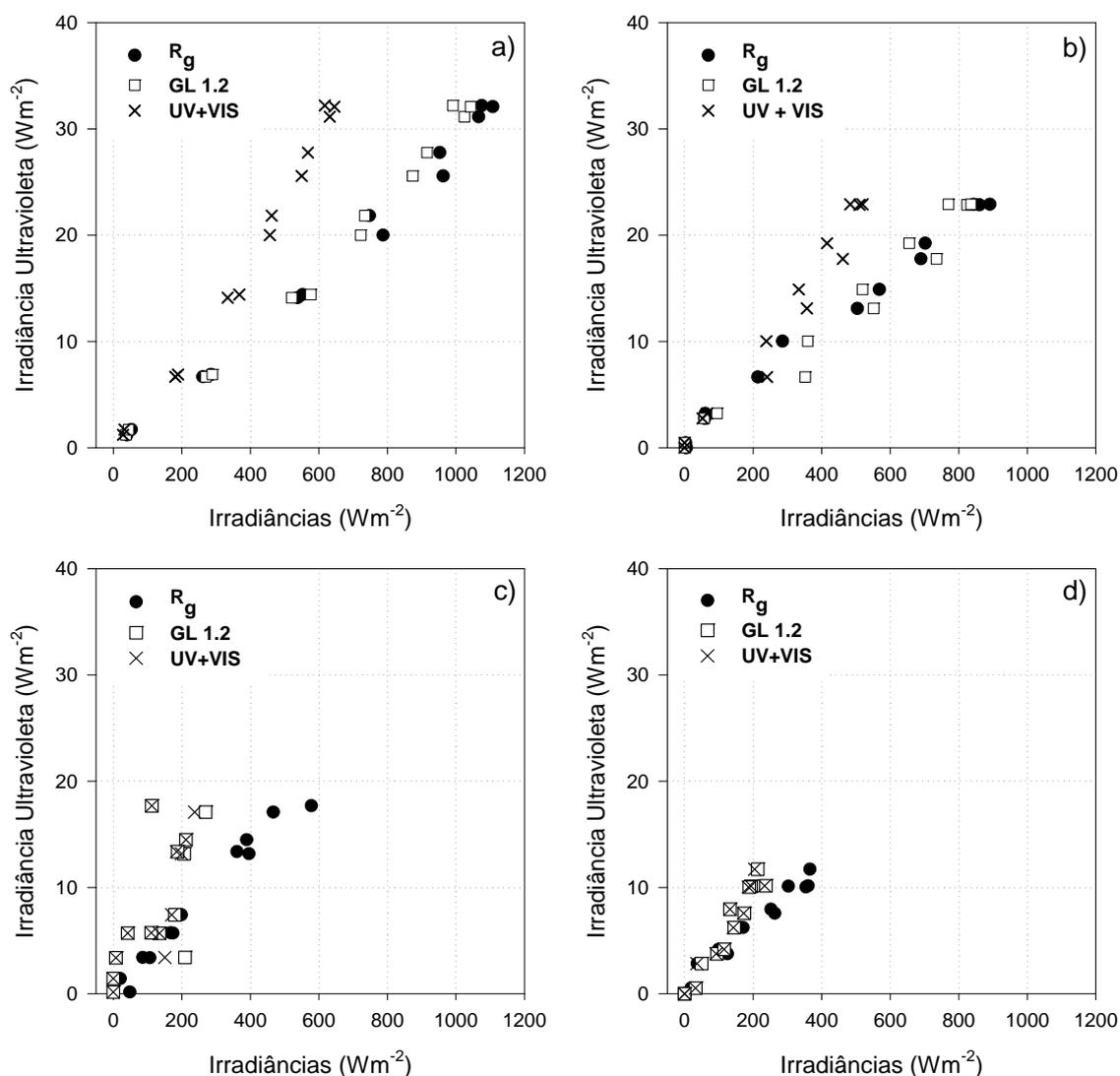


Figura 1. Relação horária da irradiância solar ultravioleta em função de irradiâncias: Piranômetro Kipp & Zonen (R_g), modelo GL1.2 (GL.1.2), componente UV+VIS do modelo GL, em condição de céu claro (a, b) e nublado (c, d) para dias de janeiro (a, b) e junho (c, d), representativos da estação seca e chuvosa, respectivamente.

Observou-se uma relação aproximadamente linear entre as componentes da radiação solar e a irradiância solar ultravioleta (Tabela 1, Figura 1a e 1b). Para céu claro (Figura 1.a) R_g foi estimada com precisão pelo GL1.2, com coeficiente de determinação r^2 de 0,99, o que sugere alto grau de confiabilidade das estimativas nesse padrão atmosférico. A diferença entre os valores médios diários foi de 4,6%, representando em torno de $-30,0 \text{ Wm}^{-2}$, o que pode ser considerado aceitável. As maiores diferenças encontradas entre a R_g e GL1.2 foram para valores de irradiância elevados. O canal UV+VIS representou 62,3 e 65,2% da média diária de irradiância solar global para R_g e GL1.2, respectivamente. Os máximos das irradiâncias em

junho (Figura 1b) foram inferiores aos observados em janeiro, dada a inclinação dos raios solares nessa época e a menor irradiação no topo da atmosfera. A média diária de irradiação solar global foi de 437,6 e 442,9 Wm^{-2} , para R_g e GL1.2, respectivamente. Desta forma, representou erro de 1,2%.

Tabela 1. Equações de estimativa horária (Wm^{-2}) entre as irradiâncias: ultravioleta (R_{UV}), global (R_g), global do modelo GL1.2 (GL) e UV+VIS em diferentes condições de nebulosidade e seus respectivos coeficientes de correlação R.

Nebulosidade	Janeiro		Junho	
	Equação	R^2	Equação	R^2
Claro	$R_{UV} = 0,028 (R_g)$	0,99	$R_{UV} = 0,027 (R_g)$	0,99
	$R_{UV} = 0,030 (GL)$	0,99	$R_{UV} = 0,027 (GL)$	0,97
	$R_{UV} = 0,048 (UV+VIS)$	0,98	$R_{UV} = 0,043 (UV+VIS)$	0,97
	$R_g = 1,054 (GL)$	0,99	$R_g = 1,013 (GL)$	0,97
Nublado	$R_{UV} = 0,033 (R_g)$	0,95	$R_{UV} = 0,030 (R_g)$	0,95
	$R_{UV} = 0,033 (GL)$	0,83	$R_{UV} = 0,042 (GL)$	0,80
	$R_{UV} = 0,041 (UV+VIS)$	0,88	$R_{UV} = 0,046 (UV+VIS)$	0,89
	$R_g = 0,994 (GL)$	0,83	$R_g = 1,384 (GL)$	0,78

O desempenho do modelo sob condição de céu nublado é ilustrado na Figura 1 (c, d). Os dias plotados apresentaram transmitância atmosférica diária (K_t) de 0,29, ou seja, 71% da radiação solar no topo da atmosfera não atingiu a superfície terrestre, em função da sua interação com a nebulosidade e constituintes atmosféricos. As irradiâncias R_g , UV+VIS e GL1.2 não superaram os 600 Wm^{-2} , assim como 20 W.m^{-2} para R_{UV} . Observou-se uma relação linear (como na Figura 1a e 1b), porém em (1c) esse padrão mostrou maior dispersão em relação às demais condições avaliadas. As hipóteses levantadas são: i) o erro inerente ao cálculo das médias horárias; ii) a influência da calibração do canal VIS em condições de refletância elevada (caso nublado). Observou-se que em valores de GL1.2 inferiores a 200 Wm^{-2} a banda UV+VIS se assemelha (ou iguala) em intensidade ao GL1.2; neste contexto, o modelo propõe que a faixa infravermelha solar não consegue atravessar condições de nebulosidade extensa. Logo, a global do GL1.2 seria apenas composta pela porção UV+VIS. Essa parametrização não conseguiu representar com propriedade a verdade terrestre, o que proporcionou subestimativas de R_g . É válido ressaltar que os resultados presentes neste trabalho foram realizados com certa limitação de dados (dois dias em janeiro e um em junho, para dia sem nuvens; um dia em janeiro e dois em junho para dia muito nublado).

4. CONCLUSÕES

A radiação UV em Maceió apresenta uma relação definitivamente linear com a radiação solar global (em torno de 3%) e com a UV+VIS (4,2-4,8%), tanto em condições de céu claro como nublado. O modelo GL1.2 estima de forma satisfatória as componentes da radiação solar, principalmente no caso de atmosfera de céu claro. Os erros inerentes ao modelo são considerados de ordem inferior para céu claro. Melhorias no modelo GL são necessárias, numa atmosfera de padrão nublado; estudos adicionais deveriam mostrar se os erros encontrados se associam principalmente à calibração do canal VIS (variável crítica em condições de refletância elevada) ou são devidas à nebulosidade apresentar características espaciais variáveis de acordo com a região. Análises mais abrangentes através de séries

maiores estão sendo elaboradas e podem representar de forma mais precisa a relação entre as medidas de superfície e o modelo GL1.2.

AGRADECIMENTOS: À PGMET/CPTEC/INPE, ao LARAS/ICAT/UFAL, à DSA/CPTEC/INPE e à CAPES/MEC, que fizeram possível a realização do experimento, forneceram dados y deram apoio na participação no XVI CBMET.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEBALLOS, J. C.; BOTTINO, M. J. Modelo CPTEC GL para estimativa de radiação solar por satélite: versões GL1.0 e GL1.1. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...**, 2000, Rio de Janeiro, 2000.

CEBALLOS, J. C., M. J. BOTTINO; J. M. de SOUZA. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery, **J. Geophys. Res.**, 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

CORRÊA, M. P. **Índice ultravioleta: avaliações e aplicações**. Tese (Doutorado em geociências) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, p.247, 2003;

INCA – Instituto Nacional de Câncer. **Estimativa 2006: Incidência de câncer no Brasil**. Ministério da Saúde, Brasil. Coordenação de Prevenção e Vigilância (Conprev/RJ), p.36, 2005;

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York, Academic press, 1983.

SOUZA, J. L; NICÁCIO, R.M; MOURA. M.A.L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy.**, 30, 1203-1220, 2005.