

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR MEDIANTE SATÉLITE NA ÁREA SUL-SUDESTE DO BRASIL: O PERÍODO 1998

Juan Carlos Ceballos e Roberto Carlos Gomes Pereira ¹

RESUMO

Apresentam-se estimativas de radiação solar (irradiância média diária) na região dos estados de Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina para o ano de 1998. Os resultados são expressados em termos da distribuição geográfica de amplitudes e fases dos harmônicos da série temporal encontrada. Os resultados sugerem que os dois primeiros harmônicos conseguem representar de forma satisfatória a série de médias mensais, o que pode representar uma contribuição de interesse para fins agrometeorológicos. Entretanto, acumulam apenas 66% da variância se se considerarem dados na escala de médias semanais. Neste caso, uma aproximação de ordem 5 acumula mais de 70% da variância do ciclo anual; aproximações melhores requerem de um grande número de harmônicos (até 20, para atingir 90% de representação da variância).

Palavras chave: radiação solar, satélites, análise de Fourier

INTRODUÇÃO

Na bibliografia usual são enfatizadas tanto a importância da radiação solar como fonte de energia nos processos naturais (meteorológicos, climáticos e biológicos), como a escassez de informação disponível (devido a dificuldades do processamento de dados solarimétricos das redes convencionais, e ao custo relativamente elevado da instrumentação). Na falta de outros instrumentos, é comum utilizar-se de heliógrafos e estimar irradiância diária com base na insolação a partir da conhecida equação de Angström-Prescott; todavia, a precisão destas medidas é bastante baixa e aplicável apenas para médias de períodos extensos, por exemplo um mês (Ceballos *et al.* 1992). Adaptações dessa equação (p.ex. o "método de Bennet") têm sido utilizadas para zoneamentos de radiação solar do Brasil (Nunes *et al.* 1978). Dados de actinógrafos Fuess da Rede Climatológica do Inemet foram utilizados para um zoneamento de radiação solar no Nordeste do período 1974-78 (Azevedo *et al.* 1981), com considerável esforço de processamento de actinogramas de mais de 35 estações solarimétricas. Na década de 1980 tentou-se implantar uma rede nacional de cerca de 25 piranômetros, mas o esforço foi descontinuado. Nos últimos anos, alguns Estados

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE - 12630 Cachoeira Paulista - SP.
Endereço eletrônico dos autores: ceballos@cptec.inpe.br e rcarlos@cptec.inpe.br.

vêm instalando redes de estações com gravação automática de dados (um exemplo é a rede do Instituto Agrônomo de Campinas, SP). Por outro lado, o uso de estações automáticas dotadas de radiômetros de tipo Licor e a comunicação de dados via satélite parece uma alternativa interessante; atualmente o Centro Missão de Coletas de Dados (INPE, em Cachoeira Paulista) mantém um número elevado de estações em funcionamento numa área considerável do Brasil. Algumas delas fornecem irradiação integrada a cada três horas, veiculada através da Internet em tempo real (ver endereço internet <http://www.cmcd.inpe.br>). Em todos os casos mencionados, uma rede com alta densidade geográfica de estações está fora de questão.

A partir da década de 1980, os satélites meteorológicos das séries GOES e Meteosat vêm sendo utilizados para estimar irradiação solar à superfície. Vários modelos podem ser mencionados. Aqueles baseados num raciocínio físico (por exemplo os de Gautier *et al.* de 1981, ou o YGMK usado na Alemanha têm vantagens evidentes quando comparados com outros que dependem de ajustes estatísticos com redes de medições à superfície, como os modelos de Tarpley de 1979, já aplicado nos Estados Unidos e Argentina, ou o Heliosat utilizado na França e Alemanha a partir da década de 1980 (Ceballos e Moura 1997).

No Brasil, dois modelos estão produzindo dados de radiação por satélite nos últimos anos. Uma modificação do YGMK está sendo testada na Universidade Federal de Santa Catarina e já produziu um atlas do Brasil (INMETt 1998). Outro modelo, denominado de GL1.0, foi desenvolvido na UFPb para imagens Meteosat (Ceballos e Moura 1997), adaptado no INPE para imagens GOES e está rodando operacionalmente no CPTEC/INPE (Ceballos *et al.* 1998). Os resultados do modelo GL1.0 são veiculados para o público pela internet (endereço <http://www.cptec.inpe.br>, Produtos de Satélites, Radiação Solar), fornecendo campos de irradiância solar média diária (em intervalos semanais e mensais) para o Nordeste do Brasil e para uma área denominada de Sul-Sudeste incluindo os Estados de Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Neste trabalho é apresentada uma síntese de resultados para o setor Sul-Sudeste, na forma de coeficientes da série de Fourier que descreve o ciclo anual na região.

MATERIAL E MÉTODOS

O setor Sul-Sudeste estende-se de 54°W a 41°W, e de 20°S a 29°S. As estimativas de radiação solar do modelo GL1.0 calculam-se diariamente para alvos de aproximadamente 12x12 km (3x3 pixels de canal infravermelho). Foram amostrados 95 alvos dentro do setor, homogeneamente distribuídos em latitude e longitude, construindo-se suas médias semanais e médias mensais.

A análise harmônica efetuou-se com base nas médias semanais G_t de cada alvo, de acordo com as expressões conhecidas:

$$G_t = \langle G \rangle + \sum_k [A_k \cos(\omega_0 k t) + B_k \sin(\omega_0 k t)], \quad (1)$$

$$A_k = (2/T) \sum_t G_t \cos(\omega_0 k t), \quad B_k = (2/T) \sum_t G_t \sin(\omega_0 k t), \quad (2)$$

Onde $\langle G \rangle$ = média anual no alvo; T = número total de dados ($T=52$ para as médias semanais), $\omega_0 = 2\pi/T$ é a frequência fundamental, k = ordem do harmônico ($k=1, 2, \dots$). Para fins de estimativa de A_k, B_k , as somas sobre t realizaram-se considerando uma seqüência $t= 3, 10, 17, \dots, 362$ para as 52 semanas. Este procedimento equivale a calcular numa base diária, aplicando-se um filtro de alta frequência (média de sete dias, associada a um único valor semanal).

De posse dos coeficientes A_k, B_k para os 95 alvos, foram avaliados a amplitude C_k e fase ϕ_k dos harmônicos para cada alvo, de acordo com a expressão alternativa para a eq. (1):

$$G_t = \langle G \rangle + \sum_k C_k \cos(\omega_0 k t + \phi_k). \quad (3)$$

A distribuição regional de amplitudes e fases foi encontrada utilizando-se o critério de "kriging" do aplicativo WinSurfer.

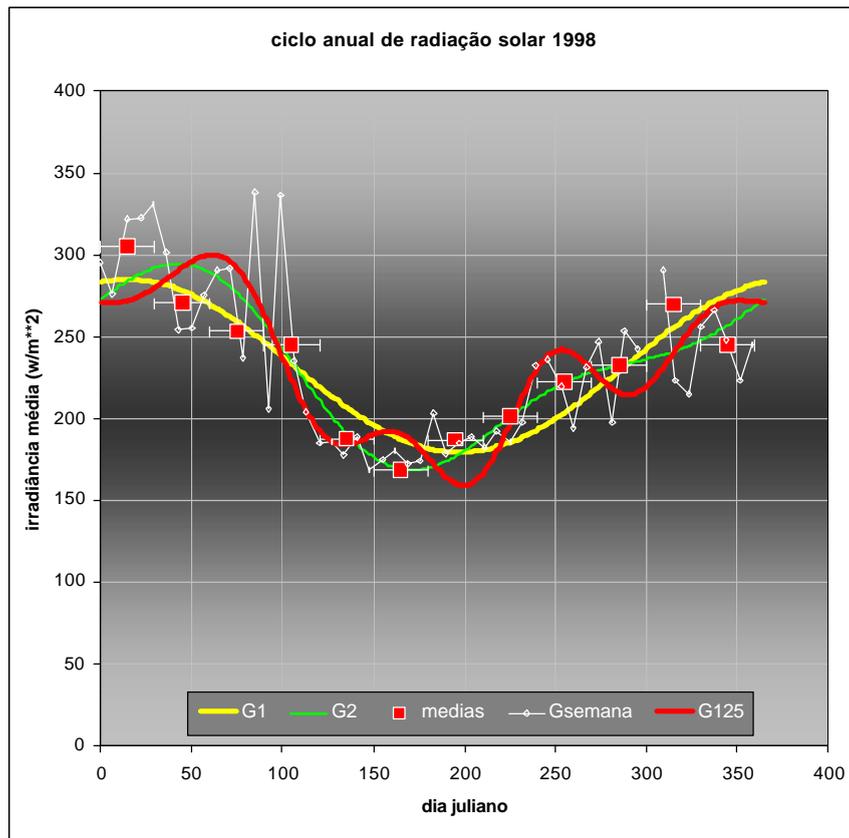
RESULTADOS

A análise espectral de vários alvos mostrou que o primeiro harmônico contém mais do que 55% da informação do ciclo anual, acumulando-se mais de 70% nos primeiros cinco harmônicos. Entretanto, para atingir 90% são necessárias as contribuições de pelo menos 20 harmônicos, o que configura a informação espectral adicional mais como ruído do que como informação...

A figura abaixo ilustra os resultados para um alvo típico no norte do Estado de São Paulo (20,4°S 50,7°W). Estão incluídos o harmônico fundamental, e as aproximações de ordem 2 (primeiros e segundo harmônicos) e de ordem 5 (excluindo-se o harmônico de ordem 3, pequeno em todos os casos). O harmônico anual está representado em amarelo. Observa-se que a aproximação de ordem 2 (em verde) delinea com bastante basicamente o comportamento do ciclo anual de médias mensais, em particular durante a estação seca (verificada genericamente entre maio e setembro). A aproximação de ordem 5 (em vermelho) tende a incluir a descrição de desvios associados a períodos com chuva entre novembro e março (e mudanças no tipo de nebulosidade regional); nesse caso, os harmônicos de ordem 4 e 5 contribuem a uma melhor aproximação de séries de médias semanais mas seriam necessários mais harmônicos para descrever com maior precisão variações de irradiação em períodos curtos de tempo.

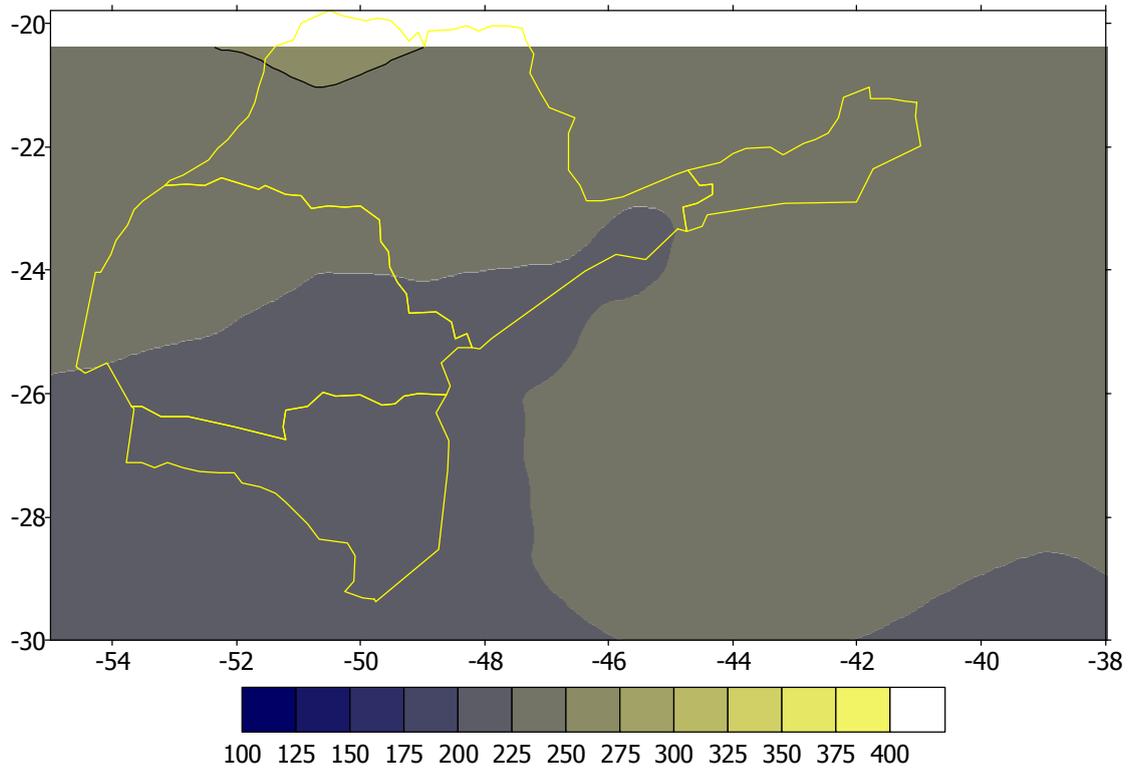
CONCLUSÕES

Considerando os resultados, optamos por apresentar neste trabalho a distribuição geográfica das médias mensais, assim como das amplitudes e fases dos dois primeiros harmônicos. A partir desta informação, podem ser reconstruídas as séries de médias mensais na região (em termos de irradiação média diária em w/m^2) na região. Como sugerido pela figura acima, os erros associados são da ordem de 20-30 w/m^2 ou inferiores.



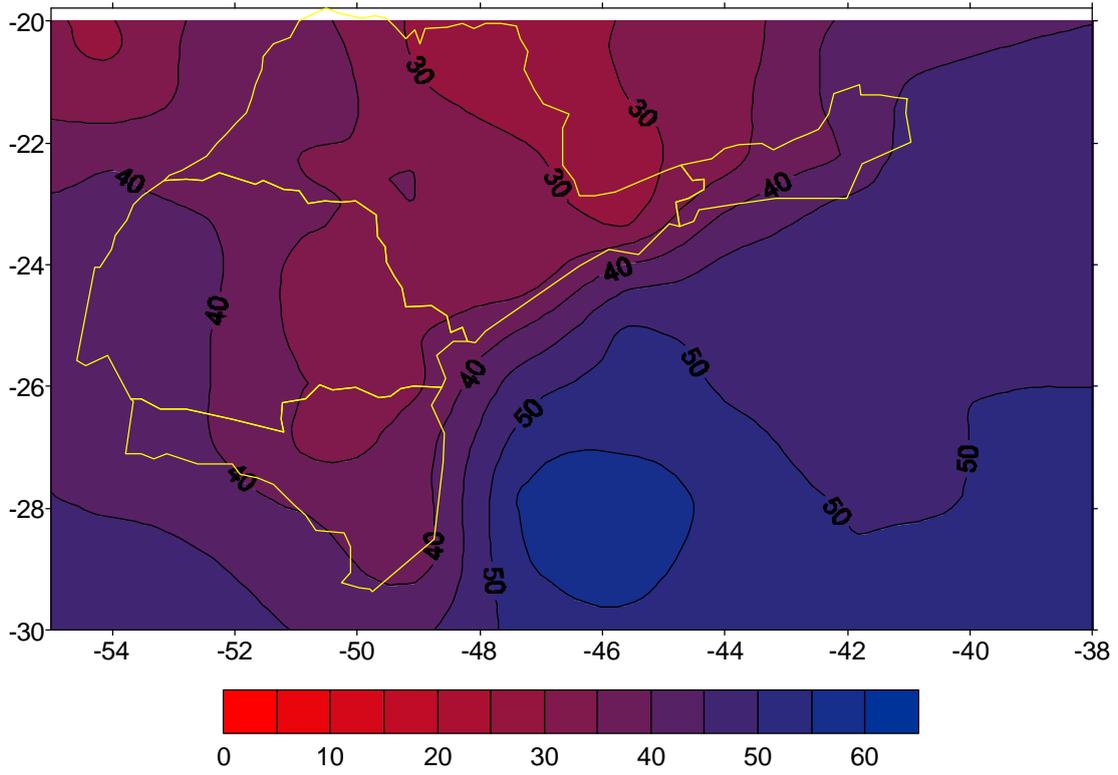
Ciclo anual de irradiância média diária (ver texto)

Distribuição geografica média anual da Irradiância (W/m2)

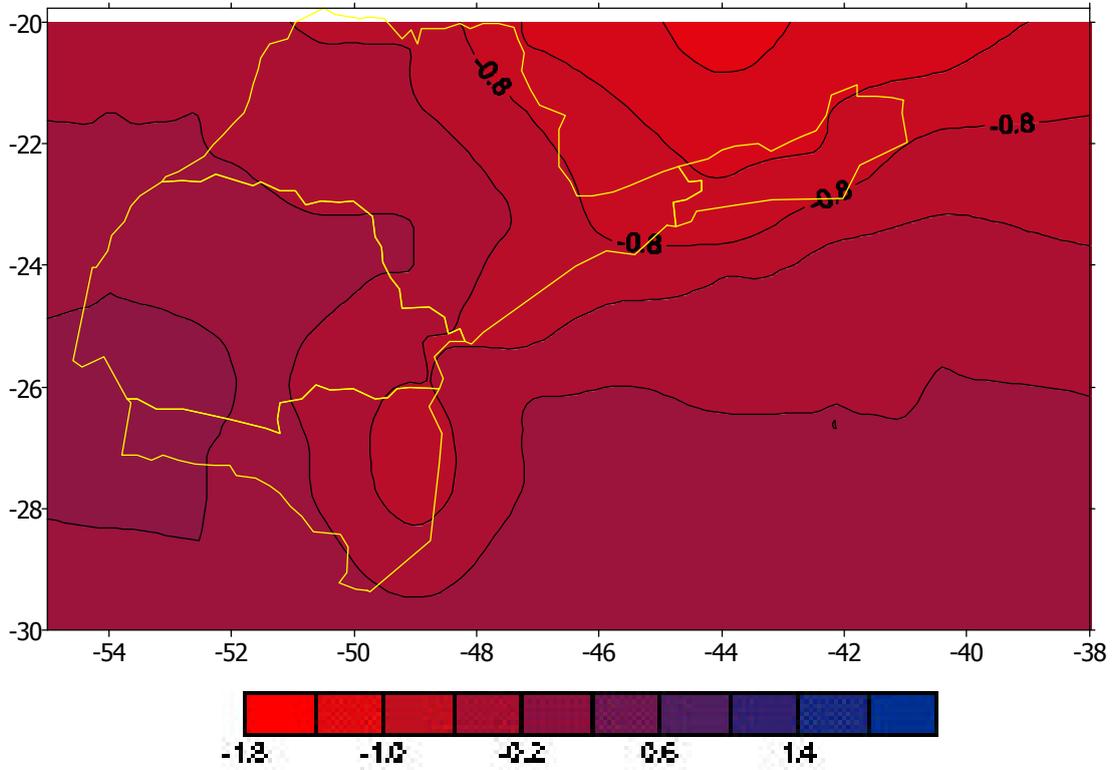


Distribuição geográfica da amplitude e fase do primeiro harmônico

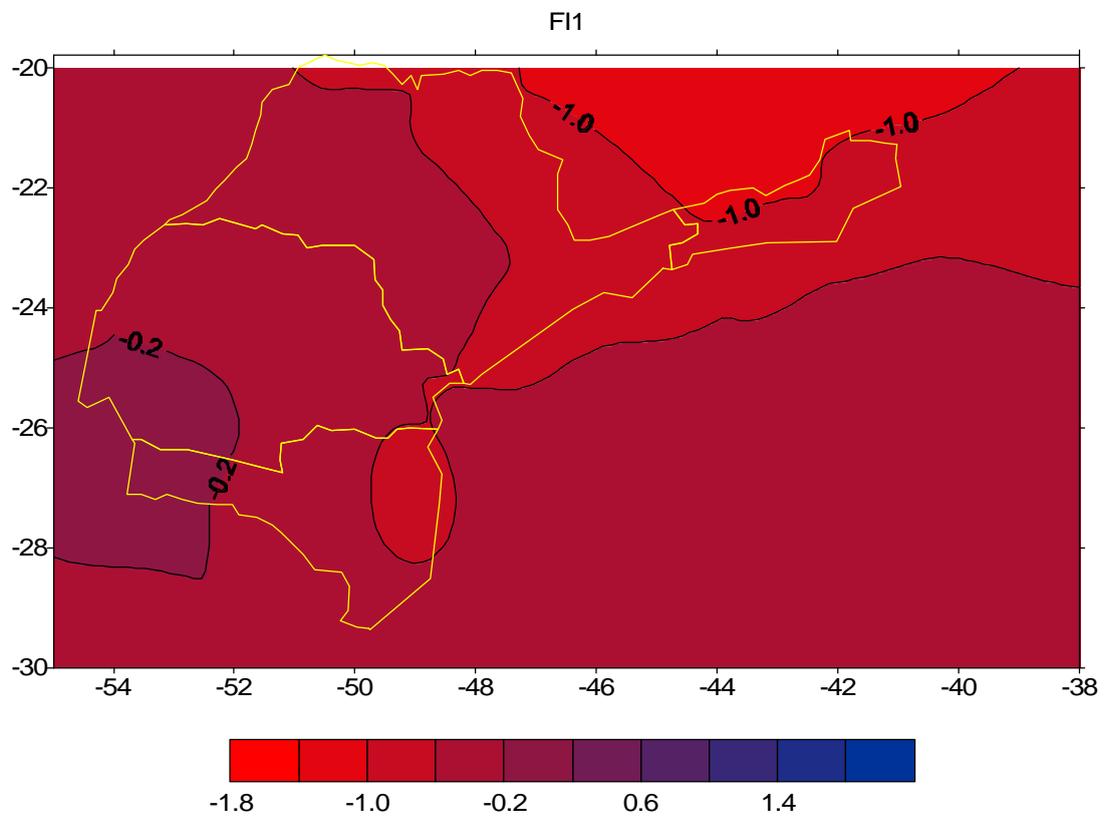
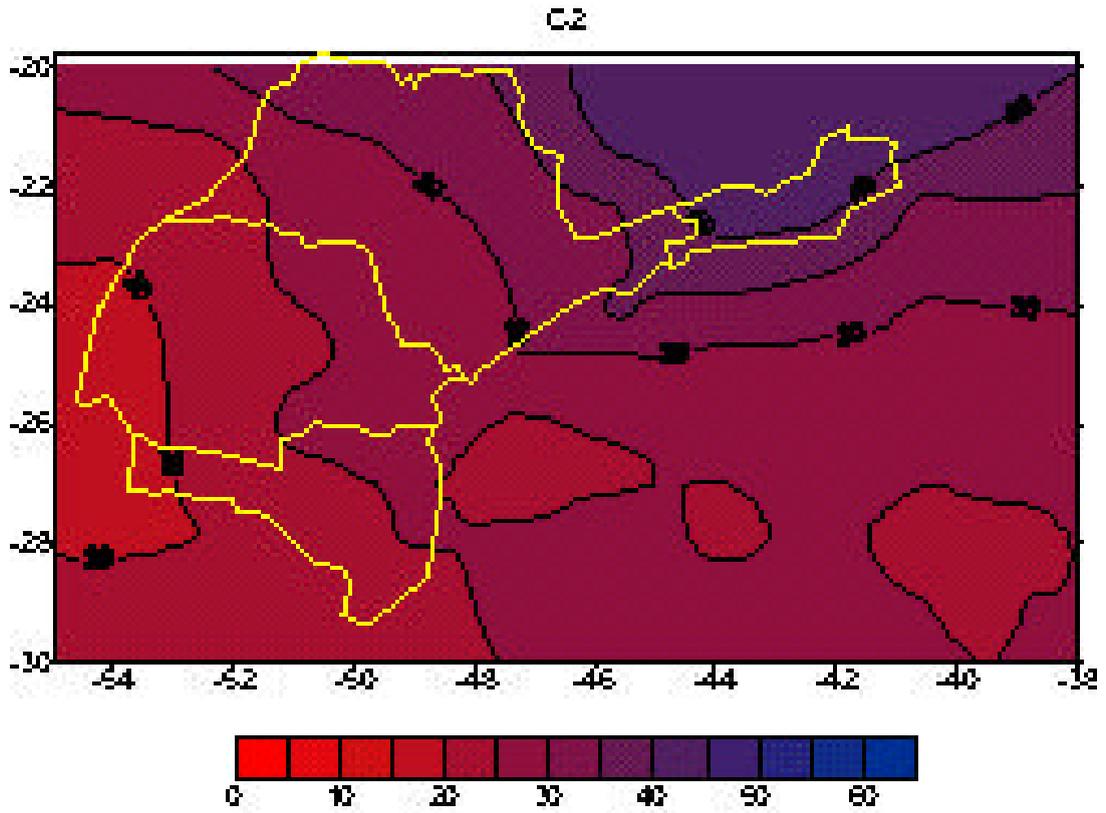
C1



FI1



Distribuição geográfica da amplitude e fase do segundo harmônico



Referências

CEBALLOS, J.C.; J.M. DE SOUZA & A.C. TARGINO - Solar irradiation in Northeast Brazil: Spatial features of correlation fields. Submetido a *Intern. J. of Climatology*. 1998.

CEBALLOS, J.C. & G.B.A. MOURA - Solar radiation assessment using Meteosat 4 - VIS imagery. *Solar Energy* **60**: 209-219, 1997.

CEBALLOS, J.C ; G.B.A. MOURA; V.F. BEZERRA & J. d'A.A. FARIAS - Desempenho de heliógrafos e actinógrafos na estimativa de insolação e fluxo direcional. *Rev. Brasil de Meteorologia*. **7**(2):563-581, 1992.

INMET 1998. *Irradiação solar do Brasil (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície)*. Editado por Instituto nacional de meteorologia e LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar - EMC/UFSC. Brasília.