

VARIABILIDADE CLIMÁTICA CARACTERIZADA PELO DESVIO PADRÃO DO ALBEDO PLANETÁRIO

NELSON VEISSID

Laboratório Associado de Sensores e Materiais – LAS/CTE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Av. dos Astronautas 1758, CP 515

CEP 12201-970, São José dos Campos - SP, Brasil

veissid@las.inpe.br

ABSTRACT

Albedo is the fraction of the incident solar radiation that is reflected back by a body. The Earth's albedo is the fraction between the radiation reflected outside and the incident solar radiation. Its value depends on the surface and weather conditions. The largest values are found in the sky situation covered by clouds. The variability of the climate has been studied, through the centuries, basically for the variations of the insolation level, temperature, humidity and precipitation of water. All these elements are directly related with the variation of the albedo. In this work an additional alternative is proposed for the representation of the climate variability, by the study of the planetary albedo's standard deviation. Using the experimental data of the Solar Cell Experiment of the satellite SCD2-INPE is calculated the value of this parameter as a function of time for different latitude and longitude values. Monthly geographical images to year of 2000 show the places where the largest deviations standard of the planetary albedo happened and, probably, had the largest perturbations in the climate.

RESUMO

Albedo é a fração da radiação solar incidente que é refletida de volta por um corpo. O albedo do planeta Terra é a fração entre a radiação refletida para o espaço exterior e a radiação solar incidente. O seu valor depende das condições de superfície e atmosférica. Os maiores valores são encontrados na situação de céu coberto por nuvens. A variabilidade do clima vem sendo estudada, através dos séculos, basicamente pelas variações do nível de insolação, temperatura, umidade e precipitação de água. Todos estes elementos estão relacionados diretamente com a variação do albedo. Neste trabalho é proposta uma alternativa complementar para a representação da variabilidade climática pelo estudo do desvio padrão do albedo planetário. Usando os dados experimentais do Experimento Célula Solar do satélite SCD2 do INPE calcula-se o valor deste parâmetro em função do tempo para diferentes valores de latitude e longitude. Imagens geográficas mensais do ano de 2000 mostram os locais onde aconteceram os maiores desvios padrão do albedo planetário e, provavelmente, teve as maiores perturbações no clima.

INTRODUÇÃO

É importante fazer uma distinção entre variações do tempo atmosférico e variações climáticas. O primeiro é caracterizado por flutuações decorrentes de seus aspectos cíclicos. Por exemplo, variação diária dos parâmetros atmosféricos (temperatura, umidade, insolação e outros) provocados pelos ciclos de dia e noite. Também, flutuações sazonais e anuais provocados pelos ciclos das diferentes estações do ano e pelo ciclo da atividade solar, respectivamente. Todas estas informações agregadas e analisadas a longo termo definem o clima, que conseqüentemente tem uma natureza cíclica e define um ciclo climático. O estudo dos vários parâmetros atmosféricos permite definir as variações do clima ou variabilidade climática (Ayoade, 1986, p. 205).

O clima é função do balanço energético entre a radiação solar incidente na Terra e as partes absorvidas/refletidas pelas camadas da atmosfera/superfície e a radiação refletida de volta ao espaço. Variações no balanço de energia ocasionam as variações dos parâmetros atmosféricos e climáticos. A cobertura de nuvens tem um papel importante neste balanço, pois ela aumenta a parcela de energia que é refletida de volta para o espaço exterior. O valor do albedo (fração entre a radiação solar refletida pela incidente) é então aumentado com a cobertura por nuvens. Em função disto, podemos estabelecer que o estudo temporal e espacial do albedo pode ser usado como uma ferramenta para o estudo de mudanças do clima. A Tabela 1 mostra os valores típicos de albedo para vários tipos de nuvens. A

radiação solar é também refletida pela superfície da Terra e, novamente, o valor do albedo varia com o tipo de superfície (ver Tabela 2).

Tabela 1 – Albedo de vários tipos de nuvens (Ayole, 1986, p. 28).

Tipo de nuvem	Albedo (%)
Cumuliforme	70-90
Cumulonimbus: grande e espessa	92
Stratus (150-300 m de espessura)	59-84
Stratus de 500 m de espessura, sobre o oceano	64
Stratus fino sobre o oceano	42
Altostratus	39-59
Cirrostratus	44-50
Cirrus sobre o continente	36

Tabela 2 – Albedo de vários tipos de superfícies da Terra (Ayole, 1986, p. 29).

Tipo de superfície	Albedo (%)
Solo negro e seco (úmido)	14 (8)
Solo nú	7-20
Areia	15-25
Florestas	3-10
Campos naturais	3-15
Campos de cultivo seco	20-25
Gramados	15-30
Neve recém-caída (caída há semanas)	80 (50-70)
Água com atitude solar > 40° (atitude solar < 30°)	2-4 (6-40)
Cidades	14-18

A medida do albedo é feita com o uso de instrumentos de medida da radiação solar, que pode ser piranômetros e piroheliômetros (Frainderaich e Lyra, 1995). Com o uso de dois medidores faz-se a medida simultânea da radiação solar incidente e da radiação refletida, ou com um medidor faz-se medições alternadas, e o albedo é calculado pela razão entre as duas medidas. Entre estes medidores destaca-se o piranômetro fotovoltaico que opera com célula solar, pois este dispositivo tem a fotocorrente (corrente de curto circuito) como um parâmetro que é proporcional à intensidade luminosa. Célula solar de silício monocristalino tem resposta espectral na faixa entre 0,4 μm e 1,1 μm . Desta forma, ela cobre em energia 66% de todo o espectro solar (Rauschenbach, 1980). O Experimento Célula Solar (ECS) do satélite SCD2 do INPE (lançado em outubro de 1998) é composto por células de silício monocristalino e, em função de sua operacionalidade, permite determinar o albedo planetário sobre a América do Sul. No trabalho de Veissid e Pereira (2000) é descrita a metodologia usada para obtenção do albedo planetário usando os dados do Experimento Célula Solar. Os dados do ECS são obtidos em tempo real pela telemetria do satélite SCD2 quando é visível pela antena de recepção localizada na cidade de Cuiabá-MT. Em função disto, a área de estudo é limitada sobre a América do Sul. A Fig. 1 mostra parte das órbitas do satélite SCD2, durante o mês de novembro de 1998, dentro da visada desta antena de recepção.

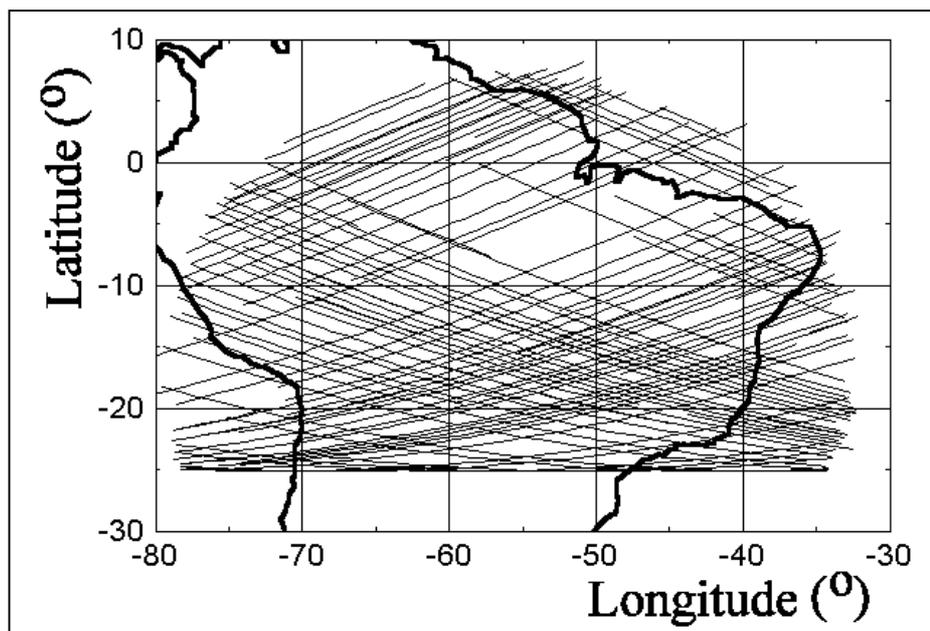


Figura 1- Partes das órbitas do satélite SCD2 durante o mês de novembro de 1998 na visada da estação receptora de Cuiabá-MT (latitude 16°S e longitude 56°O)

MÉTODO EXPERIMENTAL

Os satélites de coleta de dados meteorológicos (SCD1 e SCD2), lançados em fevereiro de 1993 e outubro de 1998 respectivamente, atuam como receptores e transmissores dos parâmetros medidos em plataformas terrestres remotas espalhadas ao longo do território Brasileiro. Os dois satélites têm a bordo experimentos de células solares (ECS) com o objetivo de qualificar células solares nacionais para uso em satélites e de estudar a degradação deste dispositivo pela irradiação com partículas ionizantes (elétrons e prótons de alta energia). Estas partículas deterioram a cristalinidade dos substratos semicondutores e diminuem o desempenho dos dispositivos em satélites. As células solares destes experimentos foram projetadas e fabricadas no LAS/INPE usando a infra-estrutura do Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP em São Paulo (LME/EPUSP). Elas são homojunções tipo n+/p e foram fabricadas a partir de substratos de silício monocristalino com resistividades de 10 Ohm.cm, para o ECS do SCD1, e 1 Ohm.cm, para o ECS do SCD2. Vários artigos foram publicados relatando os resultados obtidos no ECS1 (Veissid et al., 1990; 1997 e 1998). A conclusão principal desses artigos é que a degradação do desempenho das células solares pela radiação ionizante encontrada no espaço exterior está ocorrendo conforme o previsto para este dispositivo. Esta degradação é de 0,08% por ano em valores absolutos ou de 0,7% por ano em relação ao seu valor inicial de eficiência de conversão.

O plano da órbita do SCD2 está inclinado de aproximadamente 25° em relação ao plano do equador. A órbita é mantida dentro da eclíptica solar. A rotação ao redor do seu eixo é mantida em torno de 34 rpm. O período de translação do SCD2 em relação a Terra é de 100 min, sendo que o satélite fica sob iluminação do Sol durante 65 min e o restante de cada órbita (35 min) é eclipsado pela sombra da Terra. O Experimento Célula Solar do SCD2 (ECS) é composto por um arranjo de seis células solares conectadas de duas em duas em série. A descrição deste dispositivo encontra-se na referência (Veissid e Pereira, 2000). O arranjo de células solares é colocado na superfície externa de uma estrutura mecânica de alumínio. Elas têm um material de cobertura de borossilicato com 5% de dióxido de cério, com espessura de 150µm e fabricado pela Pilkington (*CMX cover glass*). Este dióxido serve para prevenir a formação de centros de cor no material de cobertura. A Fig. 2 mostra o diagrama estrutural do ECS2.

A placa de circuito impresso possui os componentes eletrônicos para o condicionamento de sinal. O ECS2 possui três pares de células, os quais são usados para operar em três condições distintas. O primeiro par simula a condição de trabalho próximo de curto circuito, isto é, os terminais de uma resistência de carga de 1 Ω estão ligados a um amplificador que aumenta o seu sinal para o valor na faixa de 0-5V. O segundo par tem uma resistência de carga de 8 Ω e está ligado a um segundo amplificador, para simular a situação de potência máxima, e o terceiro par simula a condição de circuito aberto (ver Fig. 2).

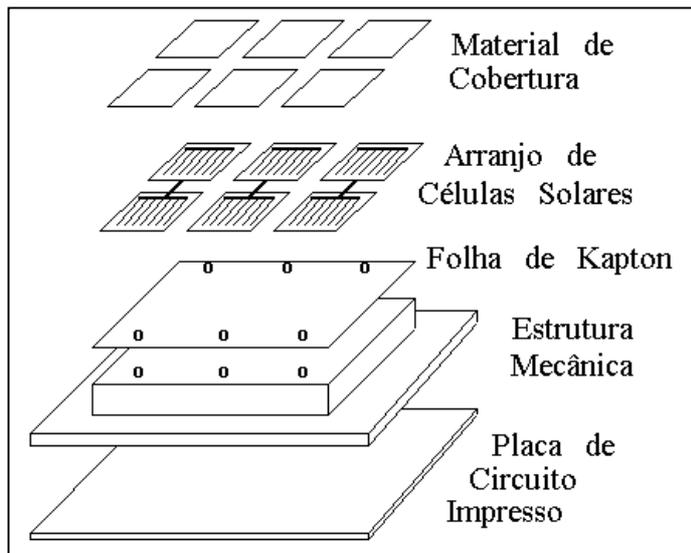


Fig. 2 – Diagrama do Experimento Célula Solar do satélite SCD2 do INPE.

A eletrônica do ECS do SCD2 amplifica o valor de tensão lido na resistência do par que simula a condição de curto circuito e passa para um conversor analógico-digital (AD) de 8 bits. Este sinal é transmitido por telemetria para a Terra a cada meio segundo. O modelo matemático usado para determinar o desempenho das células solares a partir destes dados usa a rotação intrínseca do satélite (*spin*), que é mantida em torno de 34 rotações por minuto (rpm). Em função do algoritmo usado para interpretar os sinais verificou-se que, além da função principal do experimento de monitorar em tempo real o desempenho de suas células em missão, ele permite determinar os valores da radiação solar refletida pela Terra durante a passagem do SCD2 pela visada da estação receptora de Cuiabá em Mato Grosso. Sua rotação intrínseca permite também obter leituras da radiação incidente no topo da atmosfera durante o período em que o experimento está apontado para o Sol e, desta forma, obter-se valores auto-calibrado do albedo planetário no campo de visada instantâneo - IFOV (*instantaneous field of view*) do Experimento. Através de um algoritmo, desenvolvido especificamente para a análise dos dados deste Experimento, determina-se o mosaico de albedo em uma grade sintética com resolução de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, em latitude e longitude, sobre a América do Sul (Veissid e Pereira, 2000).

Como foi explicado anteriormente, o objetivo do ECS é estudar a degradação que as suas células sofrem com a radiação ionizante. Para o estudo do albedo, através dos dados do ECS, consideramos que as células solares atuam como sensor de radiação visível (Veissid, 2002). Neste trabalho são considerados apenas os dados telemetrizados provenientes do par de células solares que opera na condição de curto circuito, pois este valor é proporcional a intensidade luminosa solar (Veissid et al., 1995), tanto aquela vinda diretamente do Sol como a parte que é refletida pela Terra. Conforme explicado adiante neste trabalho, só é possível de ser observado o albedo quando a curva que o representa não se superpõe com a curva da radiação solar. Portanto, esta condição de defasagem entre os picos da curva só é satisfeita na visada de Cuiabá durante o horário local entre 8:30 h e 15:30 h.

A Fig. 3 apresenta uma amostra de como os sinais são recebidos para o par da condição de curto circuito. Nesta figura são mostrados os pontos de leitura da telemetria do sinal do ECS que, em função da rotação intrínseca do satélite, variam de um valor máximo quando o ECS está orientado para o Sol até um valor mínimo. Estes pontos estão separados de meio segundo, pois a amostragem de leitura do computador de bordo do satélite tem uma taxa de duas leituras por segundo. O valor da telemetria está na unidade de mA, pois a resistência de carga permite a conversão da tensão em corrente.

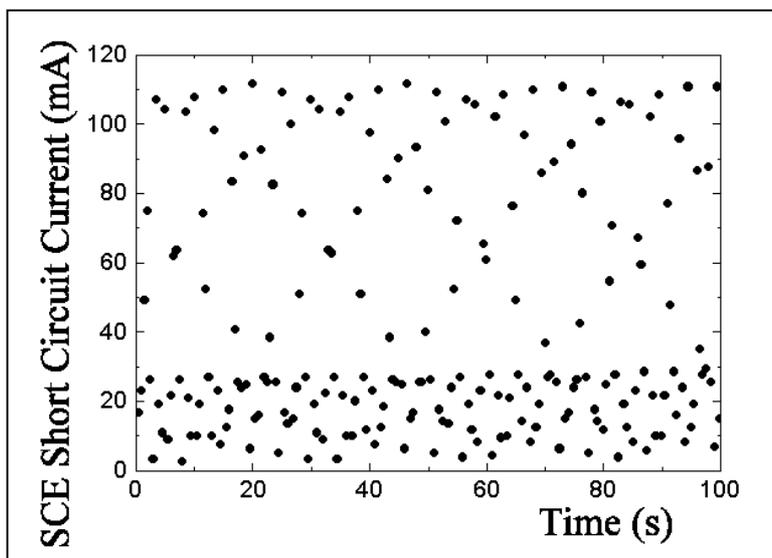


Fig. 3 – Amostra de dados do Experimento Célula Solar recebido pela telemetria do satélite SCD2.

O pico da radiação solar ou amplitude solar A_s , é obtido pelo método dos mínimos quadrados no ajuste de uma parábola em torno do seu máximo (ver Fig. 4). Neste ajuste o único parâmetro variável é a rotação do satélite (r), que é determinado usando um algoritmo que estabelece o menor valor de χ^2 dado pela Eq. 1.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{(V_{tel})_i - a\theta^2 - b\theta - c}{\sigma_V} \right]^2 \quad (1)$$

onde: $\theta = \omega (t - T \text{int}(t/T))$, $\text{int}(t/T)$ é a parte inteira da razão t/T ; ω é a rotação angular do satélite, dada em radianos por segundo ($\omega = 2\pi/T$); T é o período de rotação ($T = 60/r$) dado em segundos e r é a sua rotação de *spin* em rpm (rotações por minuto). σ_V é o valor da precisão de leitura da telemetria no conversor A/D de 8 bits (19,53 mV). Os dados do ECS mostrados na Fig. 3 foram ajustados para se obter o melhor valor de r , que corresponde ao menor valor de χ^2 da Eq. (1). A Fig. 4 mostra a curva dos dados da Fig. 3, obtida pela transformada de variável de t para θ . Esta rotina de ajuste permite obter os valores experimentais dos picos associados a radiação refletida (A_a) e radiação solar (A_s). Após correções geométricas, estes valores convertem-se nas intensidades das radiações refletida e solar e o albedo é calculado pela razão entre estas duas intensidades.

A defasagem entre os dois picos vistos na Fig. 4 é função da normal à superfície da Terra na posição em latitude e longitude do satélite e a direção dos raios solares. O satélite na saída do cone de sombra da Terra apresenta um valor nesta defasagem menor do que 90° e na entrada do cone de sombra este valor é maior do que 270° . Nestas condições os dois picos estão superpostos e, isto, dificulta a leitura do sinal referente à radiação solar refletida. Portanto, a leitura deste sinal só é possível para ângulos entre 100° e 260° , sendo que a condição ideal é em torno de 180° , pois nesta situação o satélite encontra-se exatamente entre o Sol e a Terra.

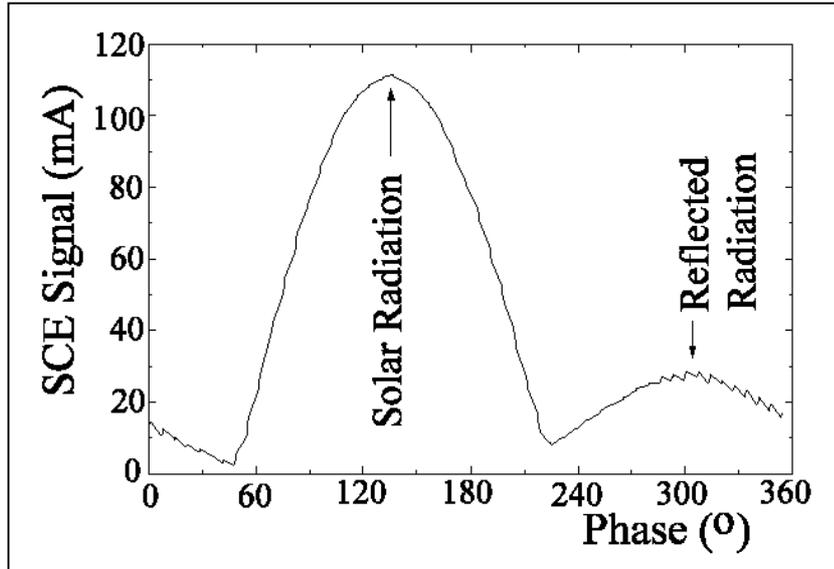


Fig. 4 – Curva dos dados da Fig. 2 depois da transformada de variável de tempo para fase de rotação do SCD2.

A radiação solar (S) é obtida pela correção devido à orientação do eixo de *spin* do satélite em relação ao Sol e é dada pela Eq. (2):

$$S = A_s / \text{sen}(\alpha) \quad (2)$$

onde A_s é a amplitude do pico da radiação solar (Fig. 4) e α é o ângulo de iluminação do Sol em relação ao eixo de rotação do satélite. Esta correção transforma a incidência inclinada da radiação solar no ECS para uma incidência normal ($\alpha = 90^\circ$). O valor corrigido A_a devido a eclíptica do Sol, usando coordenadas esféricas centradas na Terra [$\theta = 90^\circ - 23,452294$ e $\varphi = 180^\circ (0,5 - \text{FracDia})$], é dada pela Eq. (3):

$$A = \frac{A_a}{\sqrt{1 - F}} \quad (3)$$

onde o fator F é definido por:

$$F = \cos(\theta)\cos(\varphi)\cos(\text{lat})\cos(\text{long}) + \cos(\theta)\text{sen}(\varphi)\cos(\text{lat})\text{sen}(\text{long}) + \text{sen}(\theta)\text{sen}(\text{lat})$$

lat e long são os valores de latitude e longitude do satélite SCD2 no momento da leitura da telemetria. Estes valores são fornecidos pelo Centro de Rastreamento e Controle de Satélites do INPE. A correção feita pela Eq. (3) transforma a área efetiva de visão do ECS na sua área verdadeira, para normalização dos dados de leitura.

A correção devida ao ângulo de iluminação do Sol em relação à superfície da Terra, isto é, correção da área efetiva da superfície da Terra pela sua área verdadeira como se a iluminação estivesse acontecendo paralelamente à normal à superfície terrestre é dada por:

$$\theta = (0,006918 - 0,399912\cos(\text{DiaAno} * 360/365) + 0,070257 * \text{sen}(\text{DiaAno} * 360/365) - 0,006758\cos(2 * \text{DiaAno} * 360/365) + 0,0009072\text{sen}(2 * \text{DiaAno} * 360/365) - 0,002697\cos(3 * \text{DiaAno} * 360/365) + 0,001480\text{sen}(3 * \text{DiaAno} * 360/365)) * 180/\pi$$

$$\varphi = 180(0,5 - \text{FracDia})$$

$$\cos \gamma = F$$

onde agora θ é a declinação solar (Spencer, 1971) e F é dado pela mesma equação acima.

Desta forma, o valor do albedo obtido para a faixa espectral dos sensores do experimento (0,4µm to 1,1µm) é dado em termos absolutos pela Eq. (4):

$$a = A \cos(\gamma) / S \tag{4}$$

O albedo medido pelo ECS corresponde à soma ponderada dos albedos de todas as áreas que estão sob o campo de visada do Experimento. No esquema mostrado na Fig. 5, é possível deduzir o efeito de cada uma das células da grade que representa a superfície da Terra. A dependência com a distância radial R_{ij} é dada pela Eq. 5.

$$a/H = 1/(2\pi) \sum A_{ij} S_{ij} F_{ij} / R_{ij}^3 \tag{5}$$

onde A_{ij} e S_{ij} são a refletividade e a área de cada célula da grade definida pela Fig. 5. O termo F_{ij} é calculado numericamente e corrige a planicidade da superfície terrestre. F_{ij} é uma grandeza adimensional e é igual a unidade para o modelo de superfície plana e menor que a unidade para a superfície da Terra, que é esférica. H é a altitude do satélite, no caso do SCD2 varia ao redor de 750 km.

Uma avaliação semi-quantitativa desta nova metodologia foi realizada através de uma simulação comparativa com dados do satélite GOES-8, no espectro VIS canal 1, do dia 24/01/1999 as 14:45 GNT (Fig. 6). A órbita do SCD2 na visada da estação receptora de Cuiabá corresponde ao percurso de aproximadamente 5000 km e está mostrada nesta figura, ao longo da latitude de 25°. Comparando-se com o valor medido pelo ECS e corrigido pelo método apresentado neste trabalho, vemos que existe uma relação direta entre as respectivas leituras. Durante a passagem sobre as nuvens tivemos maior valor de albedo e quando o satélite estava se dirigindo para o oceano o albedo diminui acentuadamente (ver Fig. 7).

A imagem do satélite GOES-8 no canal 1 (Fig. 6) mostra uma distribuição de nuvens que pode ser simulada para cálculo do albedo teórico visto pelo ECS. Desta forma, é possível a comparação dos dados de albedo medido com os valores absolutos obtidos pelo método deste trabalho. A Fig. 5 mostra a grade com a geometria das nuvens do dia 24 de janeiro de 1999 as 14:45 horas. A Fig. 7 mostra o resultado do albedo experimental estimado pelo ECS, já com as correções dadas pelas Eqs. (2), (3) e (4), e o resultado da simulação teórica por grade elaborado com o uso da Eq. (5).

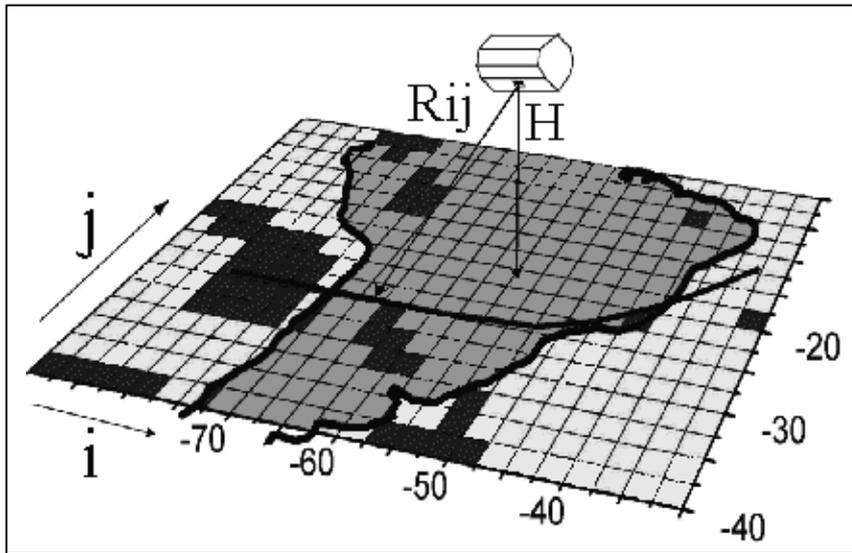


Fig. 5 – Mapa da América do Sul com a geometria de nuvens tomada da figura 4.

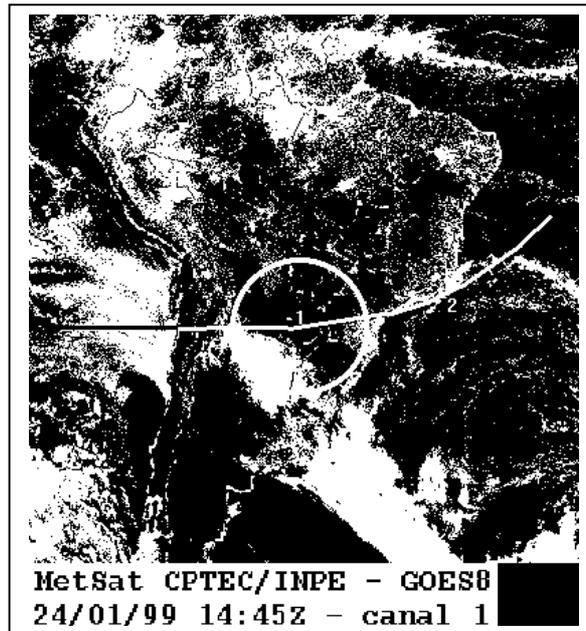


Fig. 6 – Imagem do satélite GOES-8 obtido no espectro visível.

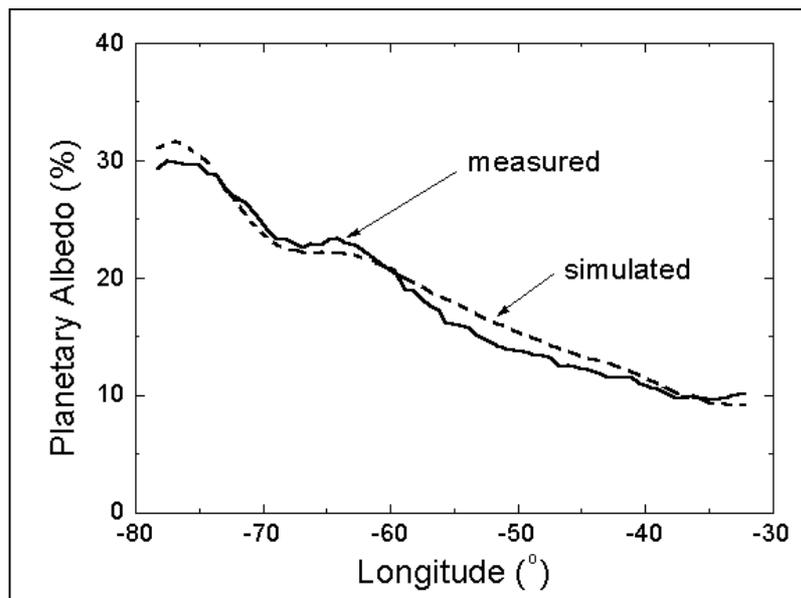


Fig. 7 – Curvas do albedo planetário medido pelo ECS e simulado usando a Eq. 5 e a Fig. 5.

Comparando as curvas da Fig. 7 vemos que os valores absolutos dos valores simulado e medido do albedo mostram coerência. Pois, nas posições geográficas com alta concentração de nuvens o seu valor é alto e, conforme o satélite se dirige ao Oceano Atlântico, este valor vai diminuindo progressivamente. Convém lembrar aqui que esta simulação é altamente grosseira, porque foi considerado uma refletividade constante de 5% para os Oceanos, de 15% para o continente e de 50% para as nuvens. Isto não corresponde a realidade porque estes valores variam com o tipo de superfície e com as condições meteorológicas (ver Tabelas 1 e 2). Apesar disto, o modelo mostra um grande potencial para estudo porque é possível aplicar-se a Teoria do Problema Inverso e numericamente obter-se os melhores valores de albedo para o ajuste (fitting) da curva medida pelo Experimento Célula Solar do satélite SCD2. Este teste elementar estabelece um certo grau de confiabilidade ao método de determinação do albedo planetário através dos dados do ECS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O satélite SCD2 foi colocado em órbita no dia 23 de outubro de 1998 e desde esta data o INPE vem recebendo arquivos diários dos valores das telemetrias do Experimento Célula Solar. Todos estes dados juntos formam uma grande quantidade de informações sobre a variação temporal da radiação refletida pela Terra. Visto que os dados do ECS são transmitidos em tempo real para a estação receptora de Cuiabá, eles fornecem estas informações apenas na visada desta estação, mostrada na Fig. 1.

Os dados de albedo podem ser apresentados na forma de gráfico (local definido pela latitude e longitude) e de imagens (gráfico tridimensional do albedo sobre a América do Sul). A Fig. 8 mostra um exemplo da variação local do albedo sobre a cidade de Manaus (latitude de 3°S e longitude 60°W), na resolução de $\pm 5^\circ$ e para os anos de 1999 e 2000. A partir de gráficos deste tipo é extraído informações úteis sobre os valores dos albedos mínimo, máximo, médio e do desvio padrão em relação a média. As figuras 9-12 mostram estes valores, que foram extraídos dos dados mostrados na Fig. 10.

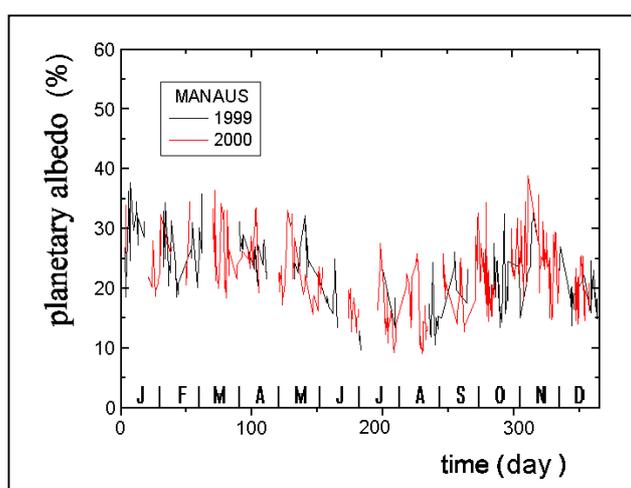


Figura 8 – Valores de albedo medidos pelo Experimento Célula Solar sobre a cidade de Manaus, dentro de uma resolução de $\pm 5^\circ$.

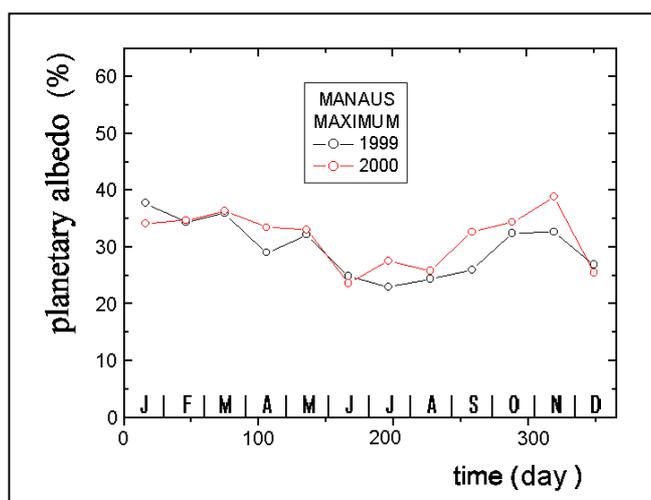


Fig. 9 – Valores mensais máximos de albedo sobre Manaus, extraídos da Fig. 8.

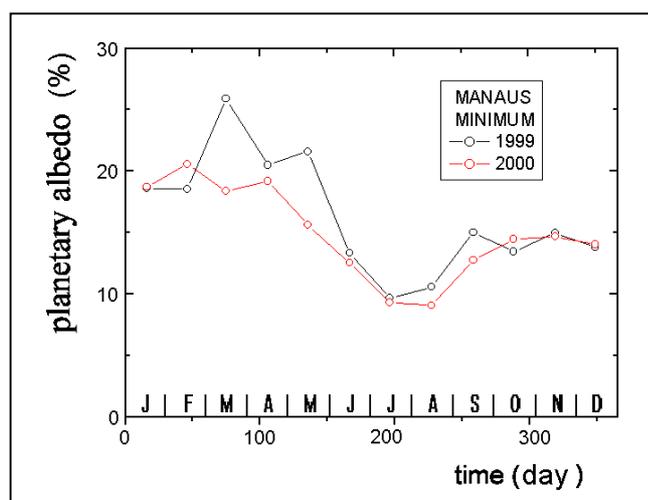


Fig. 10 – Valores mensais mínimos de albedo sobre Manaus, extraídos da Fig. 8.

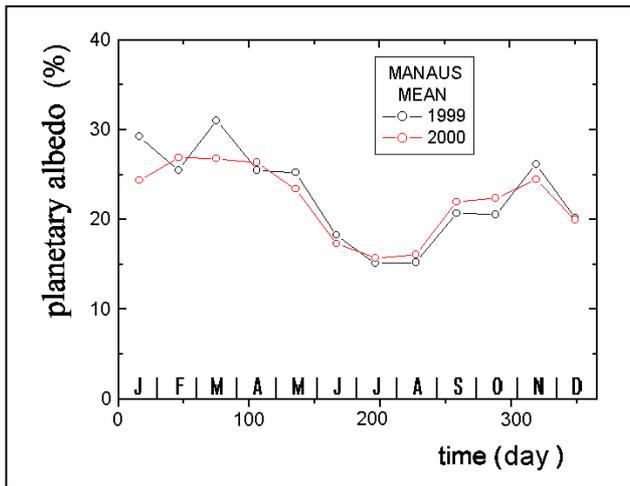


Fig. 11 – Valores mensais médios de albedo sobre Manaus, extraídos da Fig. 8.

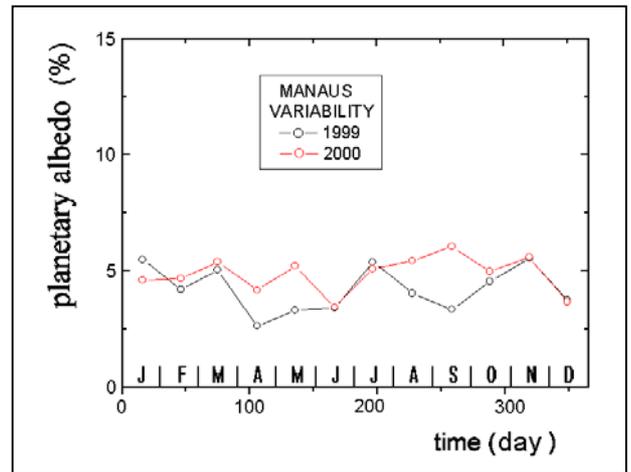


Fig. 12 – Valores mensais do desvio padrão do albedo sobre Manaus, extraídos da Fig. 8.

O desvio padrão dos valores de albedo medidos pelo experimento foi calculada pelo desvio quadrático médio, dado por:

$$desvio = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \langle a \rangle)^2}{n}} \quad (6)$$

onde, a_i é o valor de albedo para a i -ésima passagem do satélite; $\langle a \rangle$ é o valor médio do albedo para a célula correspondente na imagem e n é o número total de passagens pela mesma célula em questão.

Para o caso da cidade de Manaus, no período de 1999 e 2000, a variabilidade está ilustrada na Fig. 12. O mês de setembro de 2000 foi o que apresentou maior desvio (6,5%), e o menor valor (2,5%) foi encontrado em abril de 1999.

Gráficos dos tipos dados pelas Figs. 9-12 permitem estabelecer critérios para análise da variabilidade sazonal do clima e, também, devido a influência humana (desmatamento, poluição e outros). De qualquer forma, mudanças globais afetarão os valores do albedo e as mudanças/oscilações nestes valores serão detectados pelo ECS (Veissid, 2002).

Os resultados do Experimento podem, também, serem apresentados na forma de imagens que correspondem a gráficos tridimensionais dos valores de albedo sobre a América do Sul. Por exemplo, a Fig. 13 mostra a imagem do valor médio do albedo medido pelo ECS do satélite SCD2 para o mês de julho de 2000. Estes valores foram obtidos usando uma grade de células com dimensões de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ em latitude e longitude, conforme mostrada na Fig. 5. Todas as passagens do satélite sobre as células desta grade foram registradas e os valores médios do albedo calculados para cada célula. A Fig. 5 mostra a barra de cores superior que corresponde ao valor de albedo médio entre 8% e 35%. Após o cálculo destes valores médios para cada célula, foi calculado os valores dos desvios padrão em relação a media usando a Eq. 7.

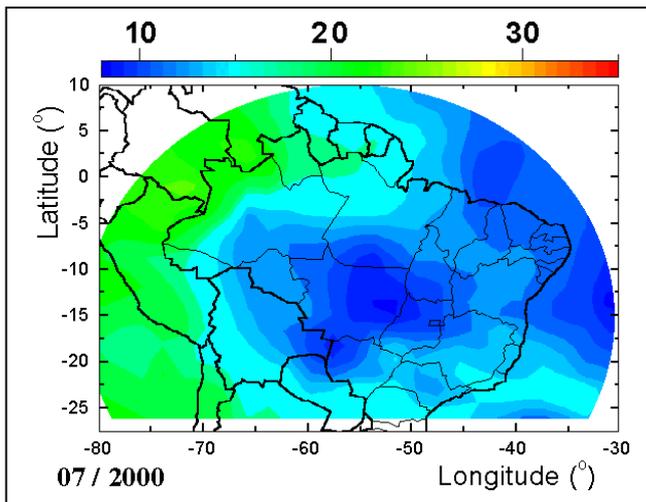


Figura 13 – Valores médio do albedo para o mês de julho de 2000, medido pelo ECS do satélite SCD2.

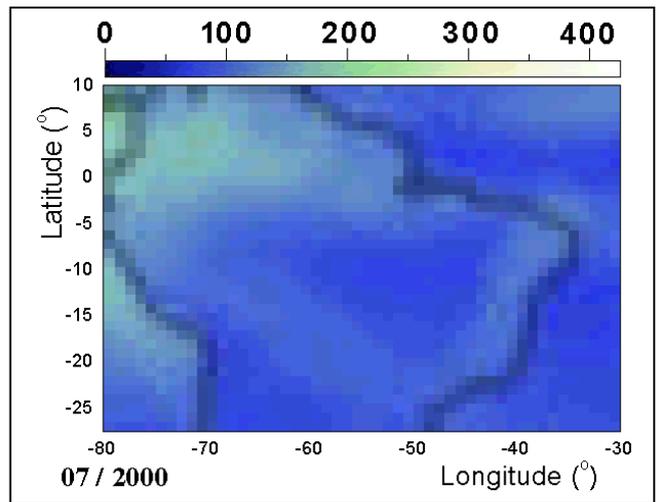


Figura 14 – Valores da radiação de onda curta (SWR) obtidos do satélite ERBE, para 07/2000.

A Fig. 14 foi obtida do site <http://earthobservatory.nasa.gov/Observatory/Datasets/swflux.erbe.html>. Ela representa a radiação de onda curta ($0,3 \mu\text{m} - 5 \mu\text{m}$) que escapa do topo da atmosfera da Terra para o espaço. Os dados foram obtidos pelo satélite ERBE. A barra de cores mostra a escala dos pixel da figura na unidade de W/m^2 . A Fig. 14 corresponde ao mesmo mês da Fig. 13 que é julho de 2000. As Figs. 15 e 16 correspondem ao mês de novembro de 2000.

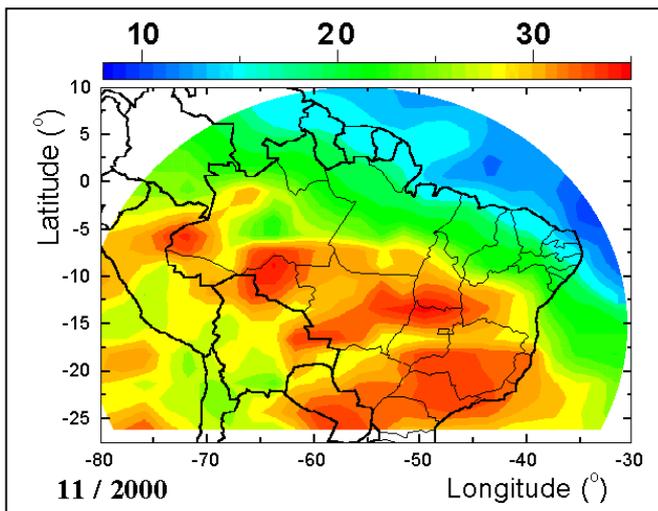


Figura 15 – Valores médio do albedo para o mês de novembro de 2000, medido pelo ECS do satélite SCD2.

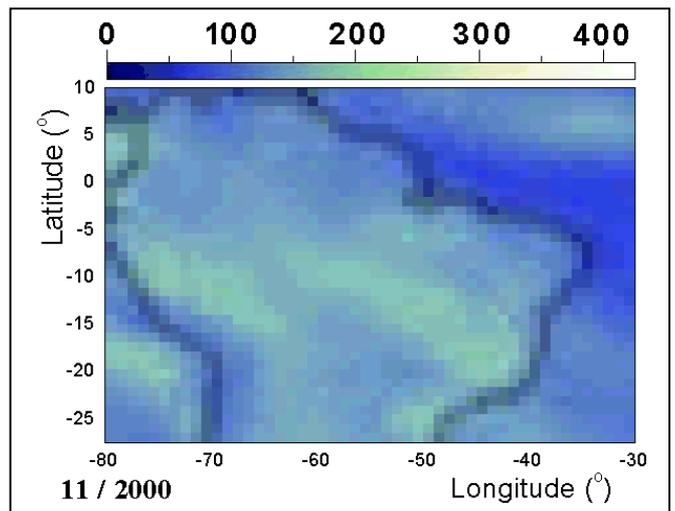


Figura 16 – Valores da radiação de onda curta (SWR) obtidos do satélite ERBE, para 11/2000.

Comparando-se as imagens (Fig. 13 com Fig. 14 e Fig. 15 com Fig. 16), as quais foram obtidas de modo diferente, observa-se boa correlação entre elas. Pois, regiões com altos valores de radiação de onda curta refletida são aquelas que tem os maiores valores de albedo médio e, isto, é confirmado visualmente na comparação das imagens.

Os dados do Experimento Célula Solar do satélite SCD2 permite a determinação dos valores de albedo médio mensal sobre a América do Sul, conforme mostrado nas imagens exemplo das Figs. 13 e 15. O desvio padrão dos valores das médias mensais são mostrados nas Figs. 17 até 28 para os meses do ano de 2000.

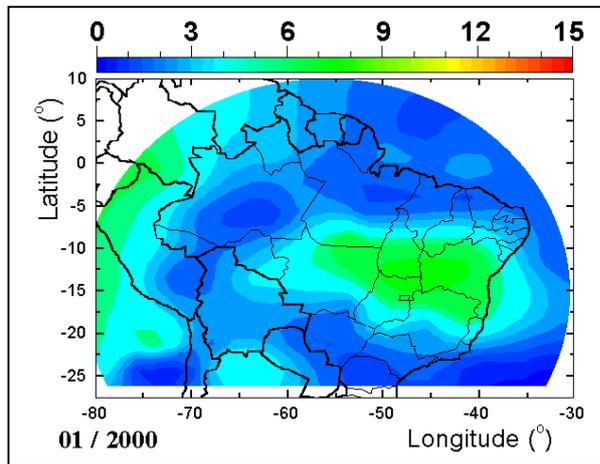


Figura 17 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de janeiro de 2000.

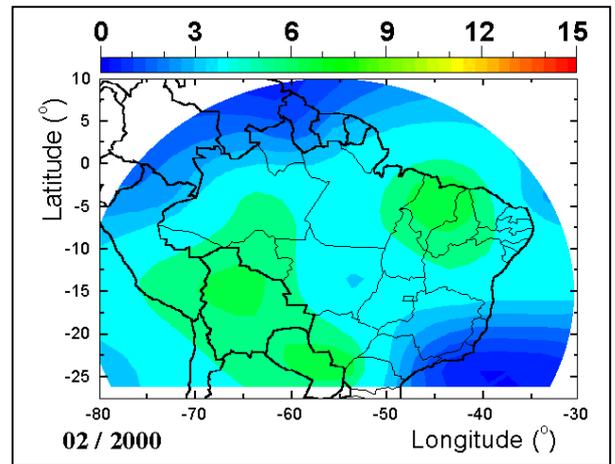


Figura 18 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de fevereiro de 2000.

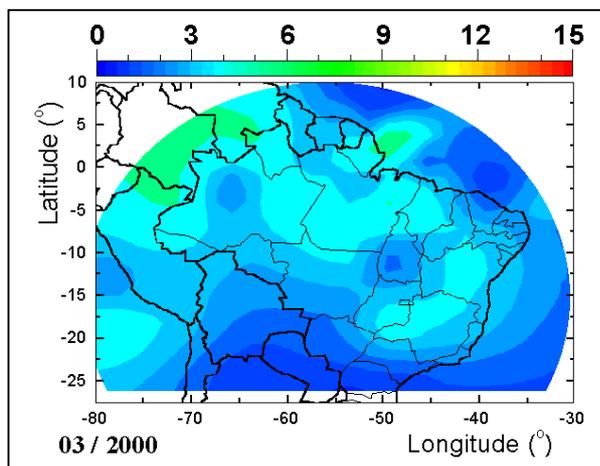


Figura 19 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de março de 2000.

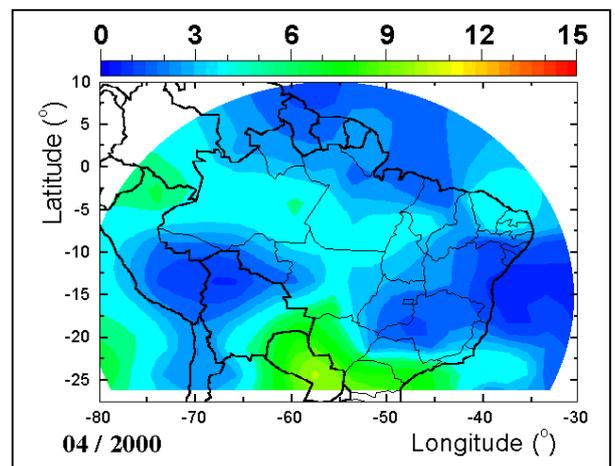


Figura 20 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de abril de 2000.

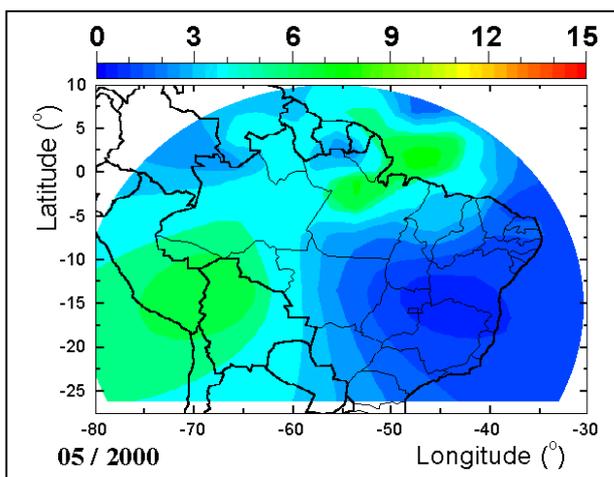


Figura 21 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de maio de 2000.

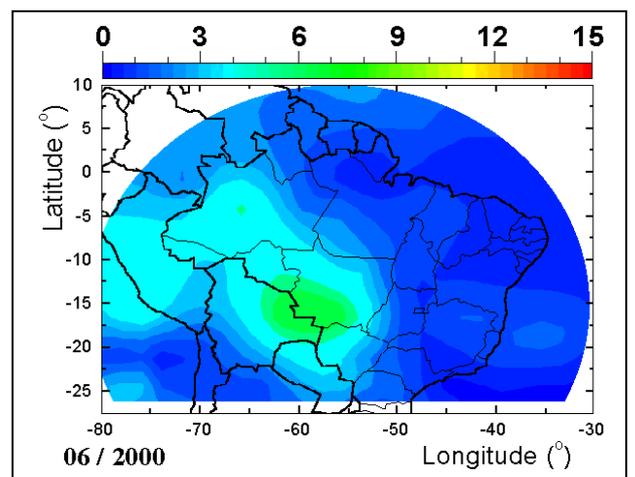


Figura 22 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de junho de 2000.

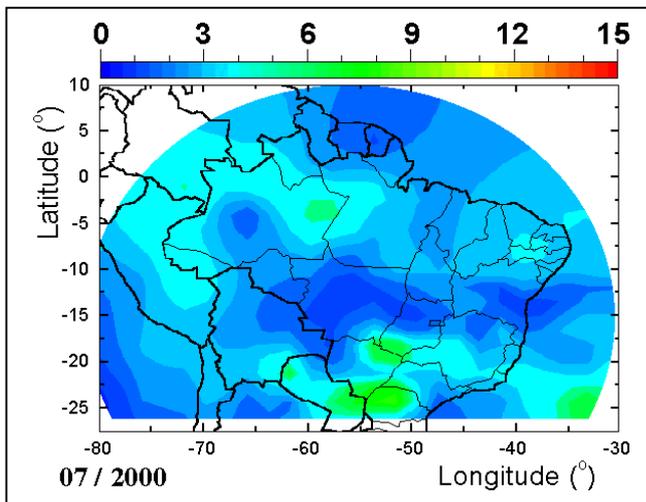


Figura 23 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de julho de 2000.

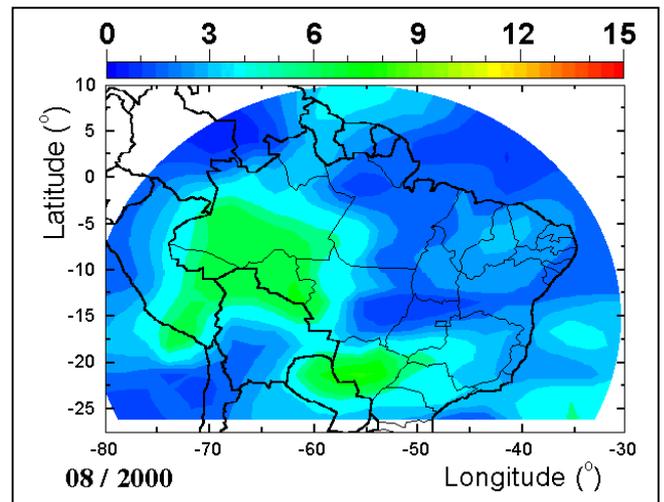


Figura 24 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de agosto de 2000.

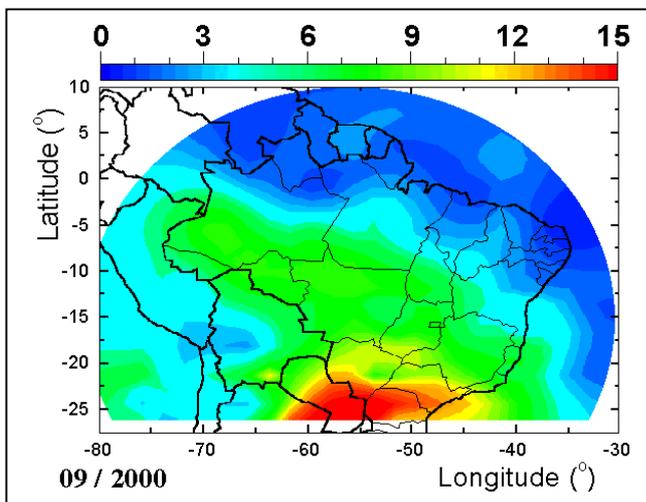


Figura 25 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de setembro de 2000.

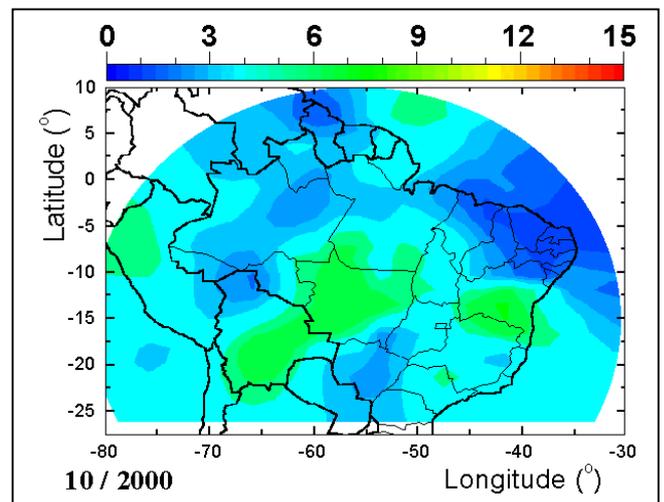


Figura 26 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de outubro de 2000.

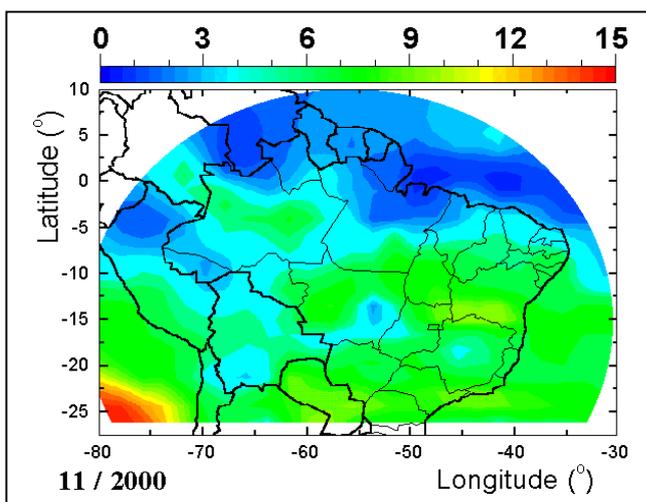


Figura 27 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de novembro de 2000.

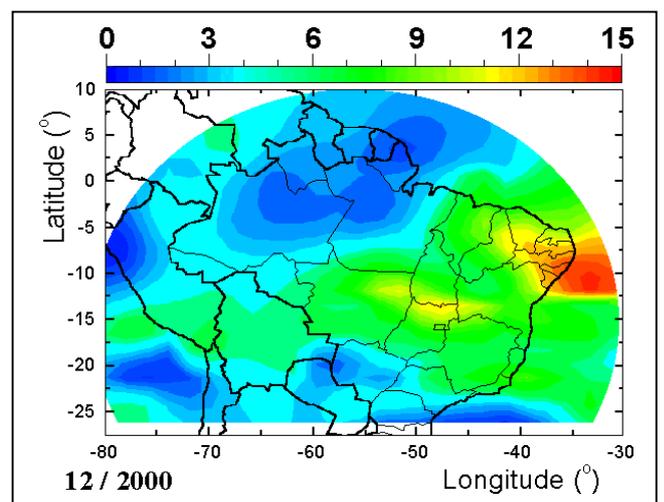


Figura 28 – Valores do desvio padrão em relação ao albedo médio para o mês de dezembro de 2000.

As imagens dos desvios padrão mostram as regiões que tiveram maiores e menores variabilidades climáticas durante o ano de 2000. As regiões com cores de azul até verde (desvio padrão menor que 8%) correspondem aquelas que tiveram pouca perturbação e o tempo meteorológico foi estável. Aqui, estável corresponde a uma situação constante isto é, ou o tempo se manteve coberto por nuvens durante todo o mês ou se manteve com céu claro sem nuvens. As regiões com cores de amarelo para o vermelho (desvio padrão maior que 8%) correspondem aquelas que tiveram instabilidade meteorológica, isto é, o tempo variou continuamente durante o mês entre tempo bom (céu claro) e tempo coberto. Provavelmente, nestas regiões foi onde houve a maior incidência de erros nas previsões meteorológicas.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi empregar uma tecnologia simples e de baixo custo em conjunto com um algoritmo adequado de tratamento de dados para obter valores de albedo planetário no território brasileiro a partir dos dados do Experimento Célula Solar (ECS) do INPE, a bordo do satélite SCD2. Este método apresenta-se como uma alternativa tecnológica totalmente nacional para o emprego em satélites científicos de pequeno porte (até 150 kg) e promove o avanço da ciência e tecnologia espacial a custo moderado. Visto que o sinal do SCD2/ECS pode se manter provavelmente pelos próximos 10 anos, ou mais, espera-se que esta nova metodologia permita gerar maiores conhecimentos no desenvolvimento dos métodos para satélite de monitoração de longo período do albedo terrestre, dada a sua importância na climatologia e suas mudanças globais.

Os resultados da simulação empregando dados do ECS do SCD-2 mostraram que os mosaicos de valores de albedo podem ser empregados para gerar cartas de variabilidade inter-anuais e inter-sazonais com o objetivo de monitorar o clima e seus efeitos, tais como por exemplo o El-Niño. Devido ao fato de que a metodologia empregada independe da degradação natural das células dos sensores de radiação, tendo em vista a processo empregado de auto-calibração pelo processo de rotação intrínseca do satélite, esta nova metodologia representa um ponto importante quando se trata de investigar variações do albedo que podem ser muito pequenas mas representativas de tendências e forçantes climáticas importantes.

O método de obtenção do albedo a partir dos dados de um sensor não colimado, como é o caso do ECS do SCD2, apresenta vantagens em relação ao método convencional (câmaras CCD dos satélites meteorológicos) que são: auto-calibração, pequeno volume de dados e facilidade de extração de informações relevantes. A principal desvantagem reside na baixa resolução de superfície ($2,5^\circ$ em latitude e $2,5^\circ$ em longitude) quando comparado com a resolução das câmaras CCD.

As imagens dos desvios padrão mensais, mostradas neste trabalho, podem ser úteis aos climatologistas e meteorologistas para o entendimento dos processos atmosféricos. Principalmente, no estudo de processos instáveis e no efeito de processos naturais (efeito El-Niño ou erupções vulcânicas) e humanos (poluição ou desmatamento), que são não sazonais.

Para futuros experimentos embarcados em satélites, a metodologia proposta pode ser adaptada para operar em janelas espectrais diferentes e possibilitar um estudo ainda mais detalhado do albedo espectral.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, entidade governamental brasileira promotora do desenvolvimento científico e tecnológico, pelo auxílio individual a pesquisa (processo 467716/00-5). Também, agradece ao pesquisador Dr. Antonio Fernando Beloto (LAS-INPE) pela fabricação do lote de células solares que estão no Experimento e à pesquisadora Dra. Nelia Ferreira Leite pelo gerenciamento do subsistema Experimento Célula Solar do satélite SCD2 durante o ano de 1993.

REFERÊNCIAS

- AYODE, J.O. (1986) - *Introdução a Climatologia para os Trópicos*, Edit. DIFEL, São Paulo-SP.
- FRAIDENRAICH, N. e LYRA, F. (1995) - *Energia Solar: Fundamentos e Tecnologias de Conversão Heliotermodielétrica e Fotovoltaica*, Edit. Universitária da UFPE, Recife-PE.
- RAUSCHENBACH H. S. (1980) - *Solar Cell Array Design Handbook*, Van Nostrand Reinhold Comp., New York-USA.
- SPENCER, W. (1971) - Fourier Series Representation of the Position of the Sun. *Search* **2(5)**: 172.
- VEISSID, N., NUBILE, P., BELOTO, A.F. e DE ANDRADE, A.M. (1990) - The Solar Cell Experiment of the First Brazilian Complete Space Mission Satellite. *Twenty-First Specialists Photovoltaic Conference, Kissimmee, Florida-USA*, 21 a 25 de maio de 1990: 1184.
- VEISSID, N., BONNET, D. e RICHTER, H. (1995) - Experimental Investigation of the Double Exponential Model of a Solar Cell under Illuminated Conditions: Considering the Instrumental Uncertainties in the Current, Voltage and Temperature Values, *Solid-State Electr.* **38(11)**: 1937.
- VEISSID, N., NUBILE, P. E BELOTO, A.F. (1997) - Results of the solar cell experiment of the first Brazilian satellite, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **46(1)**: 1.
- VEISSID, N., NUBILE, P. e BELOTO, A.F. (1998) - The Solar Cell Experiment of the First Brazilian Satellite: 1000 Days of Data Analysis. *Second World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Vienna-Austria, 6 a 10 de julho de 1998: 3582.
- VEISSID, N. e PEREIRA, E.B. (2000) - Estimativa do Albedo Planetário Empregando Dados do Experimento Célula Solar do Satélite Brasileiro SCD2. *Brazilian Journal of Geophysics* **18(1)**: 26.
- VEISSID, N. (2002) - New Developments in Using Solar Cells as Remote Sensor to Gauge Climate Change. *Environmental Science and Technology Magazine*, submetido para publicação.