

BASE DE DADOS DE ONZE ANOS DO ALBEDO PLANETÁRIO MEDIDO PELO SATÉLITE SCD2 DO INPE COM IMAGENS DE ANOMALIA PARA 2010 E 2011

Nelson Veissid

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, SEPEC/COGPI e COPDT/CGIP

Resumo. O segundo satélite da Missão Espacial Completa Brasileira do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SCD2/INPE/MECB) lançado em 23 de outubro de 1998 leva a bordo um Experimento de Células Solares. Este Experimento atua como um sensor de radiação e permite medir a radiação solar direta e a parcela desta radiação que é refletida pela Terra. Desta forma, o Experimento mede a refletividade da Terra que é conhecido como Albedo terrestre. O valor do Albedo é obtido pela razão entre estas duas radiações após correções esféricas angulares nos seus valores. O ciclo de manchas solares tem um período de 11 anos e interfere no clima, na cobertura de nuvens e em outros parâmetros meteorológicos. Uma base de dados de 11 anos do Albedo planetário sobre a América do Sul foi estabelecido durante o intervalo entre dezembro de 1998 até novembro de 2009. Os valores medidos entre dezembro de 2009 até novembro de 2011 possibilitaram a construção de gráficos de anomalias trimestrais do Albedo planetário. Os gráficos monitoram possíveis mudanças climáticas globais e os resultados deste trabalho indicam que nos anos de 2010 e 2011 não houve mudança em relação ao padrão de 11 anos dos valores médios de albedo.

Palavras-chave: Radiação Solar, Albedo Planetário, Satélite

1. INTRODUÇÃO

O Experimento Célula Solar (ECS) do satélite Brasileiro SCD2/MECB atua como um sensor de radiação e pode medir a refletividade global do planeta Terra (albedo) sobre a América do Sul. Os dados de albedo correspondem a vários arquivos diários armazenados e processados desde a data do lançamento do satélite (23/10/1998) e permitiu estabelecer uma base de dados de onze anos de valores médio de albedo e seu respectivo desvio padrão, que corresponde a variabilidade em torno da média (Veissid, 2013).

Os dados do ECS são transmitidos em tempo real pela telemetria do satélite SCD2 e recebidos nas estações receptoras de Cuiabá, MT-Brasil (16°S; 56°W) e de Alcântara, MA-Brasil (2,5°S; 44,5°W), quando estão passando pela visada destas antenas. Estes dados amostrados a cada meio segundo, ver Fig. 1A, são submetidos numericamente a uma mudança de variável, que são a variável de tempo (s) para ângulo de rotação ou fase do spin do satélite (°). O pico da radiação solar ou amplitude solar é obtido pelo método dos mínimos quadrados no ajuste de uma parábola em torno do seu máximo. Usando este algoritmo, os pontos telemetrizados do ECS mostrados na Fig. 1A se transformam na curva da Fig. 1B. O albedo planetário é a razão entre a altura dos dois picos da Fig. 1B após correções esféricas angulares (Veissid, 2000, 2003 e 2015).

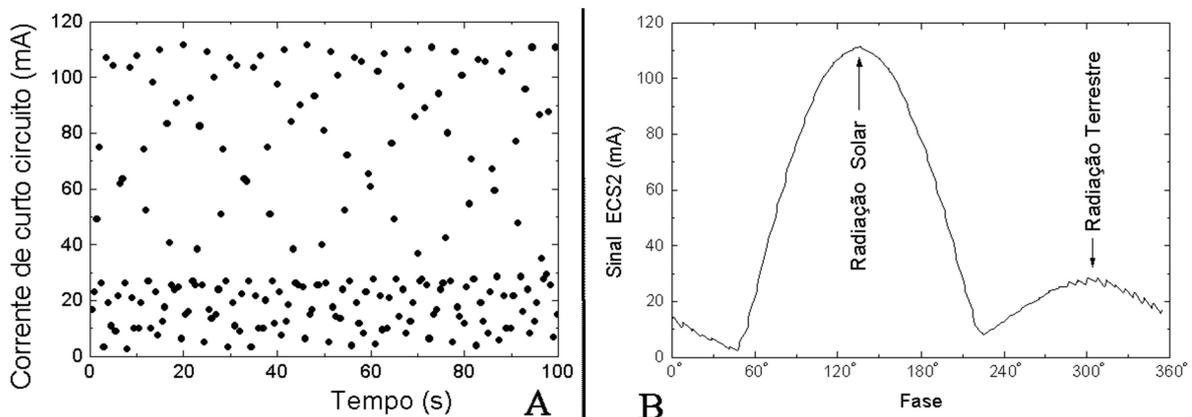


Figura 1. Exemplo de sinal da telemetria do ECS em função do tempo (gráfico A) e a curva destes sinais em função do ângulo de rotação do satélite (gráfico B).

Os dados do albedo medido pelo ECS também podem ser apresentados na forma de imagens sobre o mapa da América do Sul e elas são importantes aos climatologistas e meteorologistas para o entendimento dos processos atmosféricos. Principalmente no estudo dos processos sazonais, processos naturais (El-Niño) e humanos (poluição) (Veissid, 2010).

Adicionalmente, os dados de albedo analisados juntamente com dados de estações radiométricas permite estabelecer valores de taxas de absorção atmosférica da radiação solar, conforme relatado por Veissid et al. (2010).

Conforme ensinado no curso de Astronomia e Astrofísica do INPE e apresentado no arquivo pdf do curso (04_Sol_2018Rv4.pdf) na seção 4.6 na página 4.32 (Cecatto, 2018): “O aspecto mais marcante relacionado à atividade solar é o ciclo de onze anos, período no qual o número de manchas solares cresce e atinge um máximo, decrescendo em seguida.”. Vários aspectos climatológicos estão relacionados aos ciclos solares e segundo Tavares (Tavares, 2000) o ciclo afeta a circulação dos ventos estratosféricos e, conseqüentemente, a cobertura de nuvens e o albedo. Uma curiosidade lembrada no trabalho de Tavares é que nos séculos XVII e XVIII, num período de 70 anos, foram observadas poucas manchas solares e este período coincidiu com o tempo da pequena idade do gelo na Europa e, desta forma, parece haver uma relação na conexão do Sol ou ciclo solar de 11 anos com o clima. O autor apresentou trabalhos em 2015 e 2017 nos Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (Veissid, 2015 e 2017) sobre base de dados decenal para monitorar mudança climática global. No trabalho de 2015 é verificado que a base de dados decenal não corresponde a um bom padrão porque o período de 10 anos não representa nenhum ciclo. Este trabalho considera o ciclo de 11 anos de atividade solar e mostra que o período é adequado para estabelecer padrões para monitorar mudanças climáticas, pois a atividade solar também tem este ciclo.

2. METODOLOGIA

Os dados de albedo acumulados desde o lançamento do SCD2 e selecionados dentro de várias regiões em latitudes e longitudes, são processados, para se estabelecer um padrão estatístico (Veissid, 2003), na seguinte forma: a área da visada da estação receptora é dividida em uma matriz de 17x17 em latitude e longitude onde cada elemento desta matriz forma um arquivo que contem todos os valores de albedo ordenado de maneira temporal. Desta forma, é possível estabelecer a média e o desvio padrão em um período escolhido arbitrariamente (mês, trimestre, estação do ano ou anual) e para este trabalho foi escolhido períodos trimestrais. Estes valores de media e desvio padrão dentro de cada “pixel” desta matriz de 17x17 elementos permitem construir imagens de isolinhas ou cores associadas. A grade sobre a América do Sul usada neste trabalho é mostrada na Fig. 2. A linha vermelha corresponde segmento da órbita do satélite SCD2 no dia 24 de janeiro de 1999. O valor médio trimestral de cada “pixel” é calculado considerando todas as órbitas que passaram por dentro de cada elemento. O desvio padrão da média não tem o significado de incerteza da medida. Na realidade, ele representa a variabilidade da dispersão dos valores de albedo (Veissid, 2002).

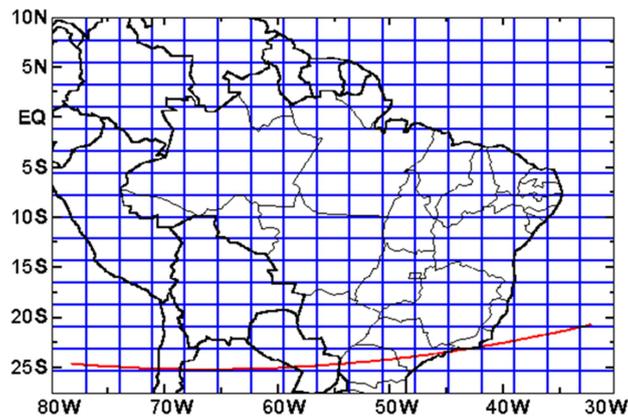


Figura 2. Grade da matriz de 17x17 “pixels” mostrando parte da órbita, curva vermelha, do dia 24 de janeiro de 1999 do satélite SCD2.

O período de dezembro de 1998 até novembro de 2009 foi escolhido para definir o padrão de onze anos para o albedo médio. Os períodos escolhidos foram trimestrais iniciando em dezembro de 1998, janeiro e fevereiro de 1999 (DJF-1999) e finalizando em setembro, outubro e novembro de 2009 (SON-2009). A Figura 3 mostra como é calculado o padrão da média de onze anos para o trimestre DJF, onde cada imagem é uma matriz de 17x17 elementos. A barra de cores mostra o albedo absoluto em porcentagem de refletividade da incidência solar direta, entre 10% e 35%. A última imagem é o desvio padrão da média ou variabilidade das imagens de 1998 até 2008 e, também, esta na unidade de porcentagem absoluta, entre 1% e 5%. Apesar de soar estranho o termo porcentagem absoluta, ele corresponde ao valor absoluto da refletividade que vai de 0% (superfície totalmente absorvedora) até 100% (superfície totalmente refletora). Por exemplo, o Distrito Federal teve no período DJF do padrão de onze anos um valor médio de albedo planetário de $28\pm 3\%$ e no litoral do estado de São Paulo o valor médio foi de $25\pm 4\%$. Os valores do desvio padrão de 3% e 4%

mostram que a variabilidade climática no litoral do estado de São Paulo é 33% maior do que a variabilidade do Distrito Federal, apesar do valor médio ser menor.

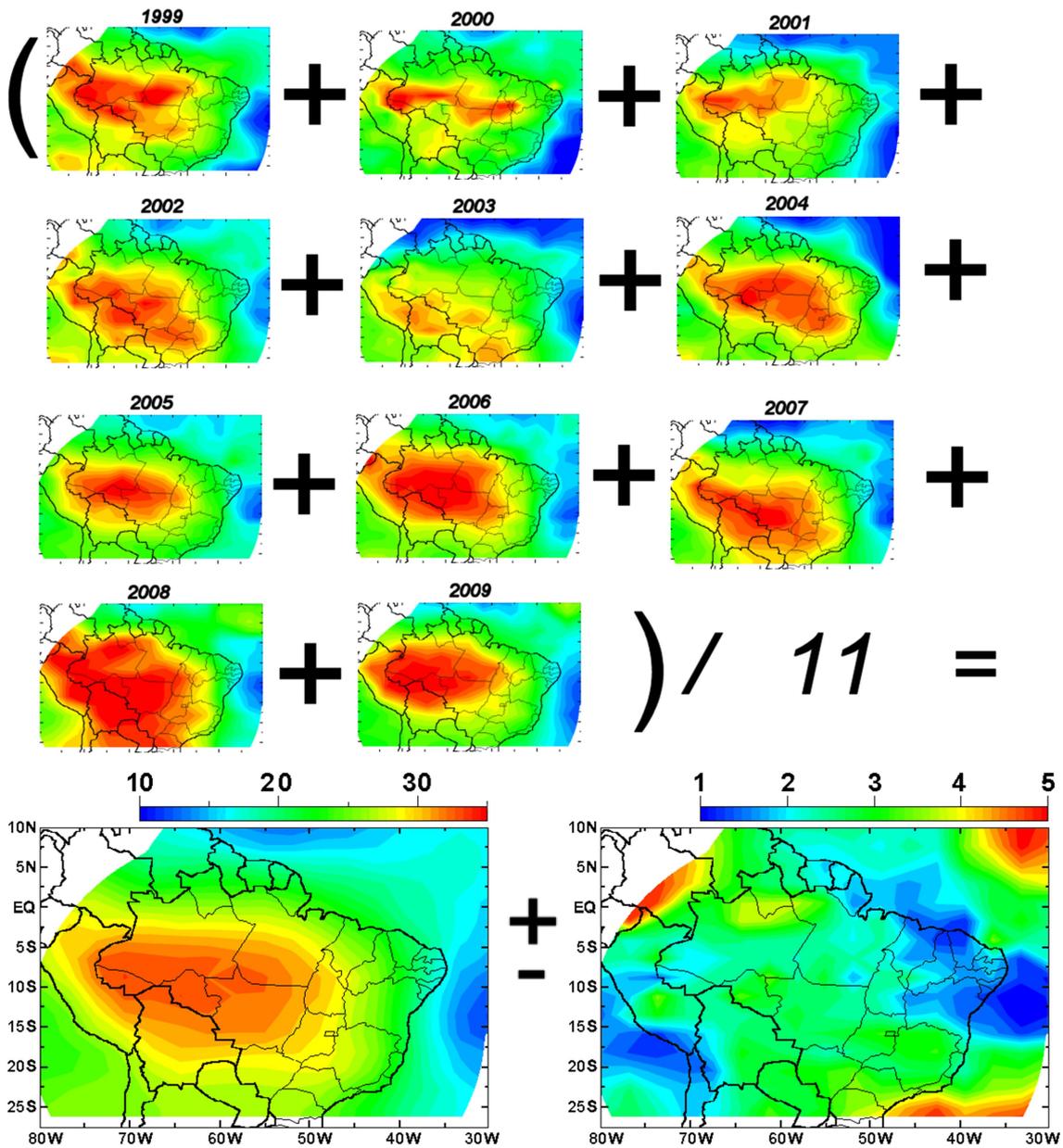


Figura 3. Esquema do cálculo da média do albedo para os meses DJF no padrão de onze anos.

Mapas de anomalias em relação aos mapas de valores médios podem ser apresentados de diferentes modos. Este trabalho mostra os mapas de anomalias de maneira relativa, como uma relação da quantidade de desvios padrões da variabilidade que o valor médio está afastado do seu valor padrão (Veissid, 2011, 2012 e 2015). Figura 4 mostra esquema em forma de imagem do método usado neste trabalho $((A-B)/C=D)$. Onde A é a imagem do valor médio obtido em um trimestre específico, B valor médio trimestral no padrão de 11 anos, C imagem da variabilidade ou desvio padrão absoluto e D é a anomalia em termos da quantidade de desvios padrões para o trimestre em estudo. Observar que a cor verde no mapa de anomalia identifica as regiões onde não houve variação nos valores da refletividade em relação ao padrão do ciclo de onze anos. Portanto, no caso de não haver mudança climática, temos que a última imagem a direita seria totalmente na cor verde, que indicaria variação nula (ver barra de cores).

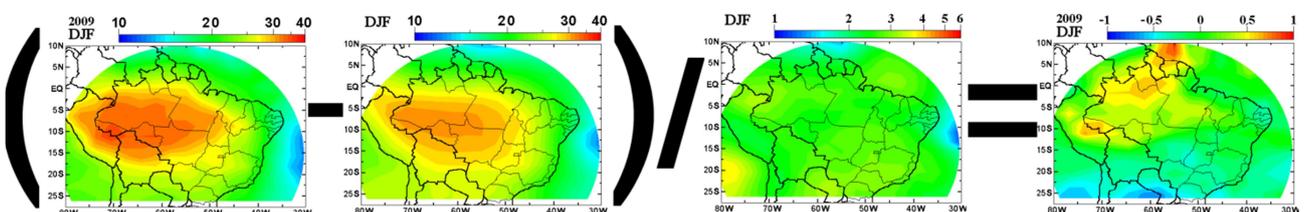


Figura 4. Esquema do método de cálculo da anomalia trimestral em forma de imagem.

3. RESULTADOS

Os dados de albedo acumulados desde o lançamento do SCD2 permitem estabelecer os valores médios dos períodos trimestrais no padrão de 11 anos, conforme cálculo mostrado na Fig. 3. A seção 3.1 mostra as imagens dos valores médios trimestrais acompanhados de seus respectivos desvios padrões (variabilidade). As anomalias são mostradas na seção 3.2, conforme cálculo apresentado na Fig. 4.

3.1 Padrões de onze anos para os períodos DJF, MAM, JJA e SON

O processamento dos dados para se determinar os mapas de valores médios em cada trimestre no padrão de onze anos foi realizado e, também, foi determinada a variabilidade (desvio padrão) de cada trimestre. Fig. 5 mostra o padrão trimestral definido neste trabalho para o trimestre DJF, os quais são o mapa do desvio médio e o mapa da variabilidade do albedo planetário visto pelo Experimento Albedo do satélite SCD2 do INPE. Para os trimestres MAM, JJA e SON os padrões são mostrados nas figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

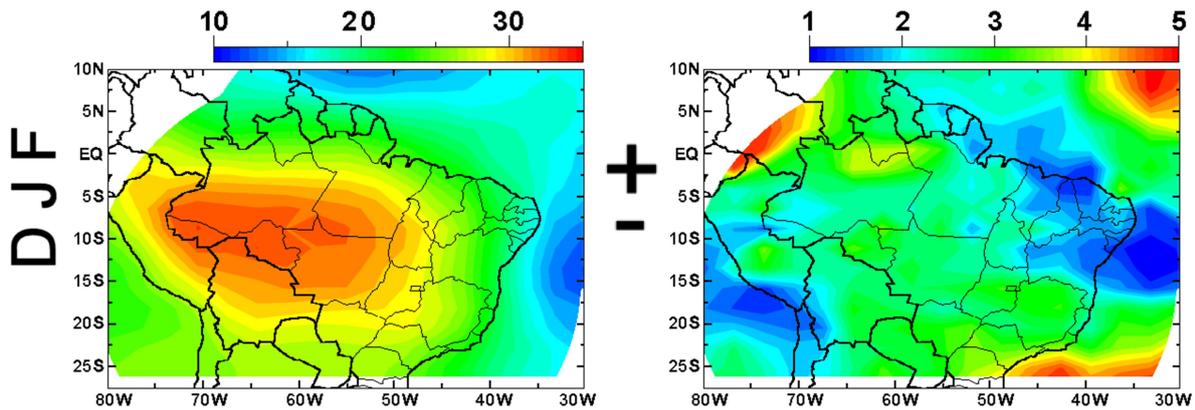


Figura 5. Imagens da média e variabilidade do albedo para os meses DJF obtido no padrão de onze anos.

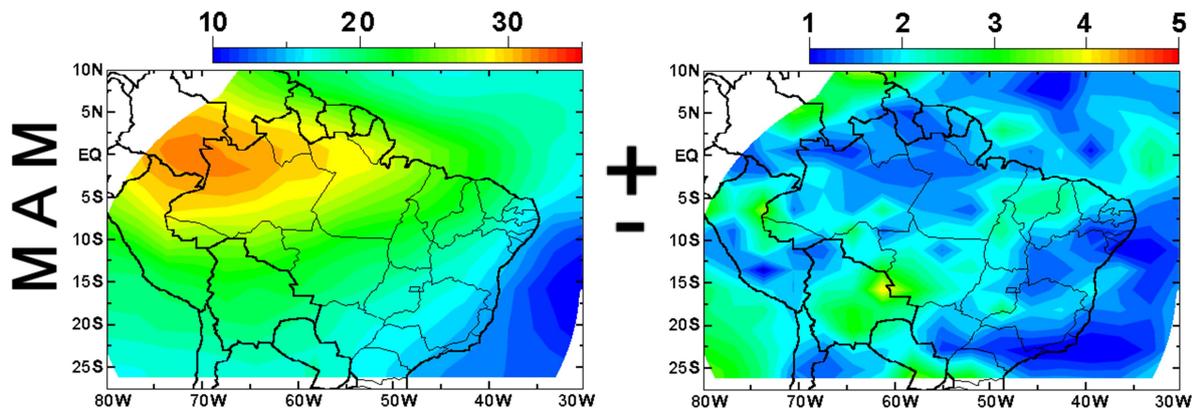


Figura 6. Imagens da média e variabilidade do albedo para os meses MAM obtido no padrão de onze anos.

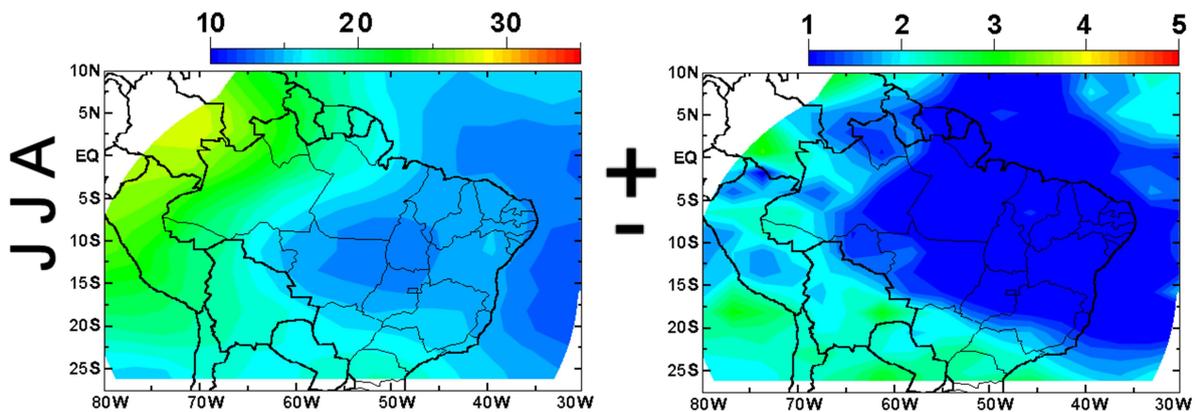


Figura 7. Imagens da média e variabilidade do albedo para os meses JJA obtido no padrão de onze anos.

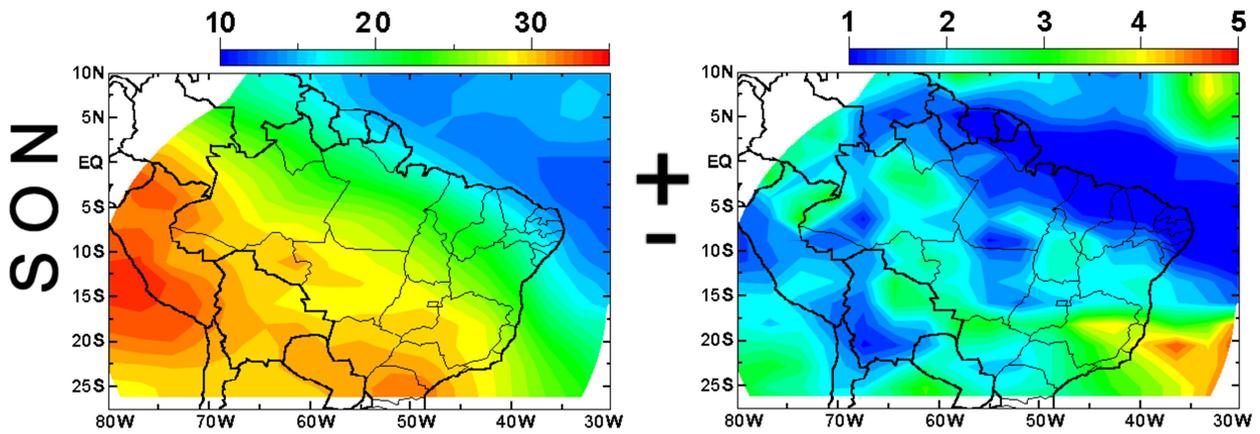


Figura 8. Imagens da média e variabilidade do albedo para os meses SON obtido no padrão de onze anos.

Observar que a baixa refletividade dos Oceanos é vista em todas as imagens de albedo médio, com maior intensidade no Oceano Atlântico e menor intensidade no Oceano Pacífico. O período de junho até agosto mostra uma refletividade menor no Planalto Central decorrente da baixa humidade deste período. Nos períodos de SON e DJF, o sul do Oceano Atlântico mostra alta variabilidade, observar cores laranja e vermelha em torno do Trópico de Capricórnio, como consequência da instabilidade climática neste período. O clima fica constantemente variando entre nublado e úmido para céu claro e tempo árido e, frequentemente, este fato acontece numa mesma semana.

3.2 Imagens de Albedo Médio para os trimestres dos anos de 2010 e 2011

Os mapas de Albedo médio calculados pela matriz de 17x17 elementos, conforme descrito na seção 2 deste trabalho, é mostrado na Fig. 9 para o ano de 2010 e na Fig. 10 para o ano de 2011.

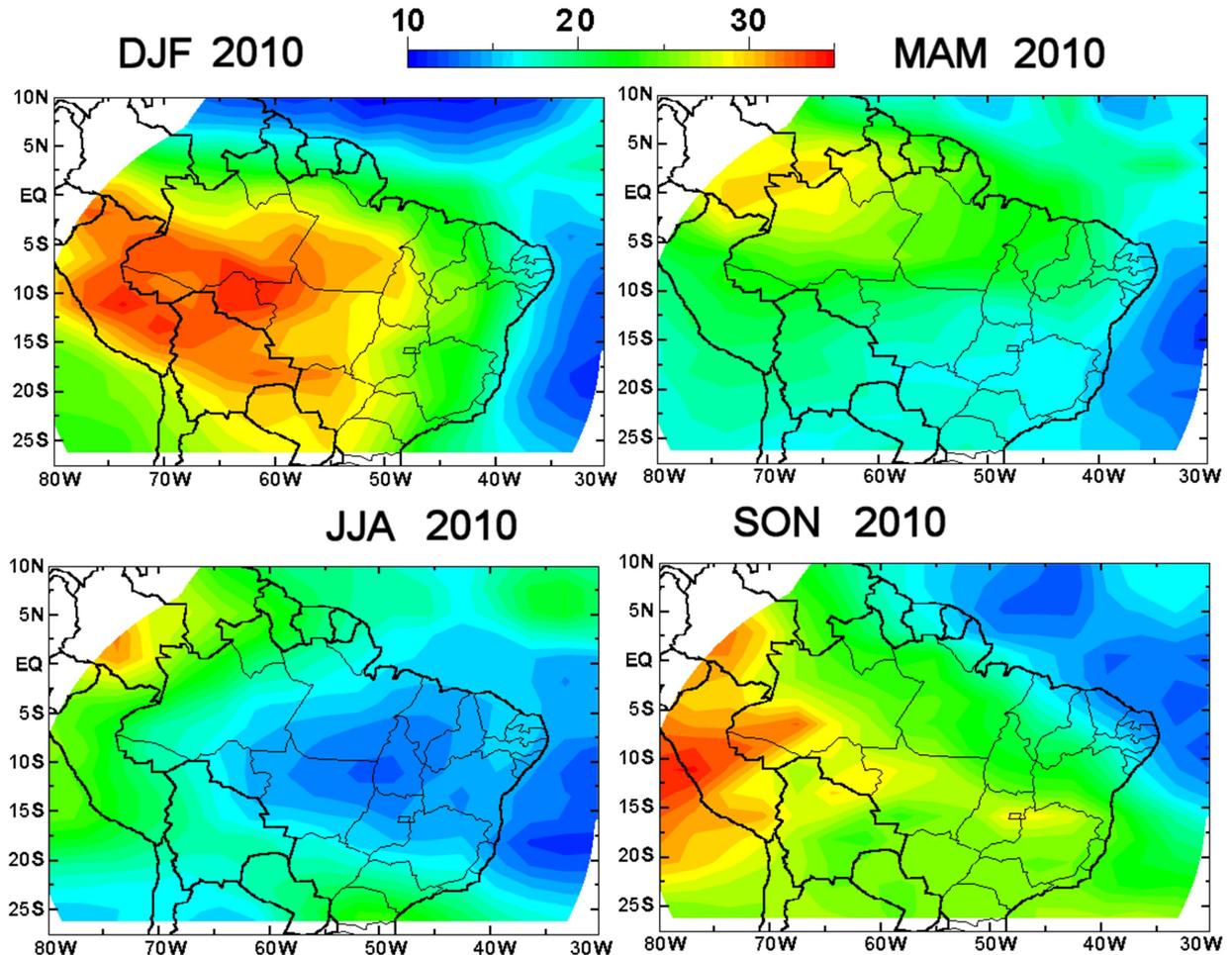


Figura 9. Imagens do Albedo médio dos trimestres DJF, MAM, JJA e SON para o ano de 2010.

As imagens mostradas na Fig. 9 foram calculadas para o ano de 2010 e, quando comparadas com as imagens das Figs. 5, 6, 7 e 8, podemos verificar que:

- O albedo médio no trimestre DJF no Oceano Atlântico foi menor do que a média. Cor azul mais acentuada tanto no Atlântico Sul como no Atlântico Norte.
- O albedo médio no trimestre DJF no Peru foi maior do que a média. Cor vermelha mais acentuada é justificada pelo aumento na cobertura de nuvens neste ano.
- O albedo médio no trimestre MAM foi similar à média mostrada na Fig. 6.
- O albedo médio no trimestre JJA, também, foi similar à média mostrada na Fig. 7.
- O albedo médio no trimestre SON foi menor do que a média nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. Cor verde mais acentuada substituindo as cores laranja e amarela. Também, nos países Paraguai, Bolívia e parte norte do Chile tivemos o mesmo resultado.

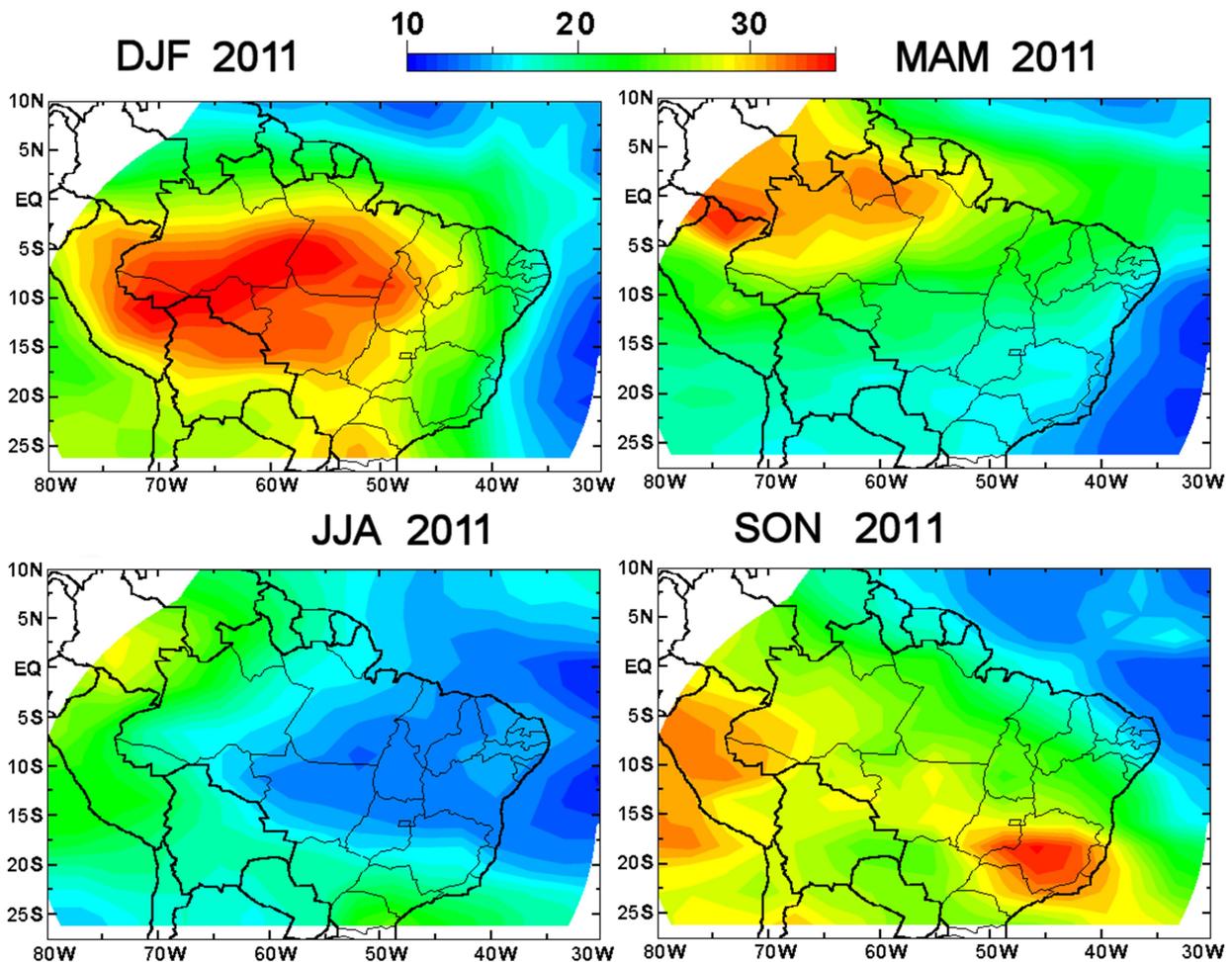


Figura 10. Imagens do Albedo médio dos trimestres DJF, MAM, JJA e SON para o ano de 2011.

As imagens mostradas na Fig. 10 foram calculadas para o ano de 2011 e, quando comparadas com as imagens das Figs. 5, 6, 7 e 8, podemos verificar que:

- O albedo médio no trimestre DJF no estado do Paraná foi maior do que a média. Cor laranja mais acentuada indicando aumento na cobertura de nuvens neste estado no ano de 2011.
- O albedo médio nos trimestres MAM e JJA foram similar à média mostrada nas Figs. 6 e 7.
- O albedo médio no trimestre SON foi bem maior do que a média no estado de Minas Gerais. Cor vermelha mais acentuada substituindo as cores laranja e amarela. Este fato é explicado por um aumento na cobertura de nuvens neste estado quando comparado com o valor médio do padrão de onze anos da Fig. 8.

3.3 Imagens de Anomalia do Albedo no padrão de onze anos para os trimestres

Os mapas de anomalia são calculados pela matriz de 17x17 elementos conforme descrito na seção 2 deste trabalho e mostrado na Fig. 4. A Fig. 11 mostra as anomalias para os trimestres de dezembro de 2009 até fevereiro de 2010 (2009DJF), março até maio de 2010 (MAM2010), junho até agosto de 2010 (JJA2010) e de setembro até novembro de 2010 (SON2010). A figura 12 mostra as anomalias para os trimestres de dezembro de 2010 até fevereiro de 2011

(2010DJF), março até maio de 2011 (MAM2011), junho até agosto de 2011 (JJA2011) e de setembro até novembro de 2011 (SON2011).

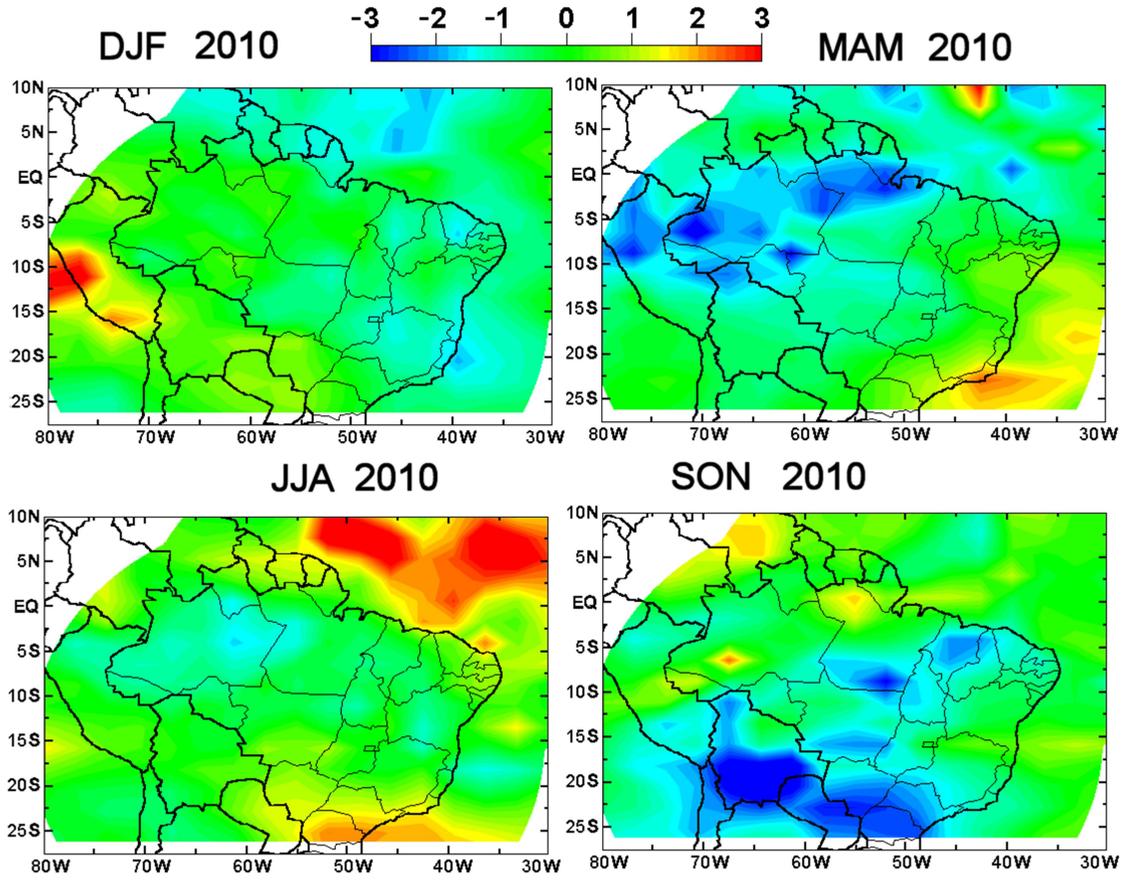


Figura 11. Imagem das anomalias trimestrais do padrão de onze anos para 2010.

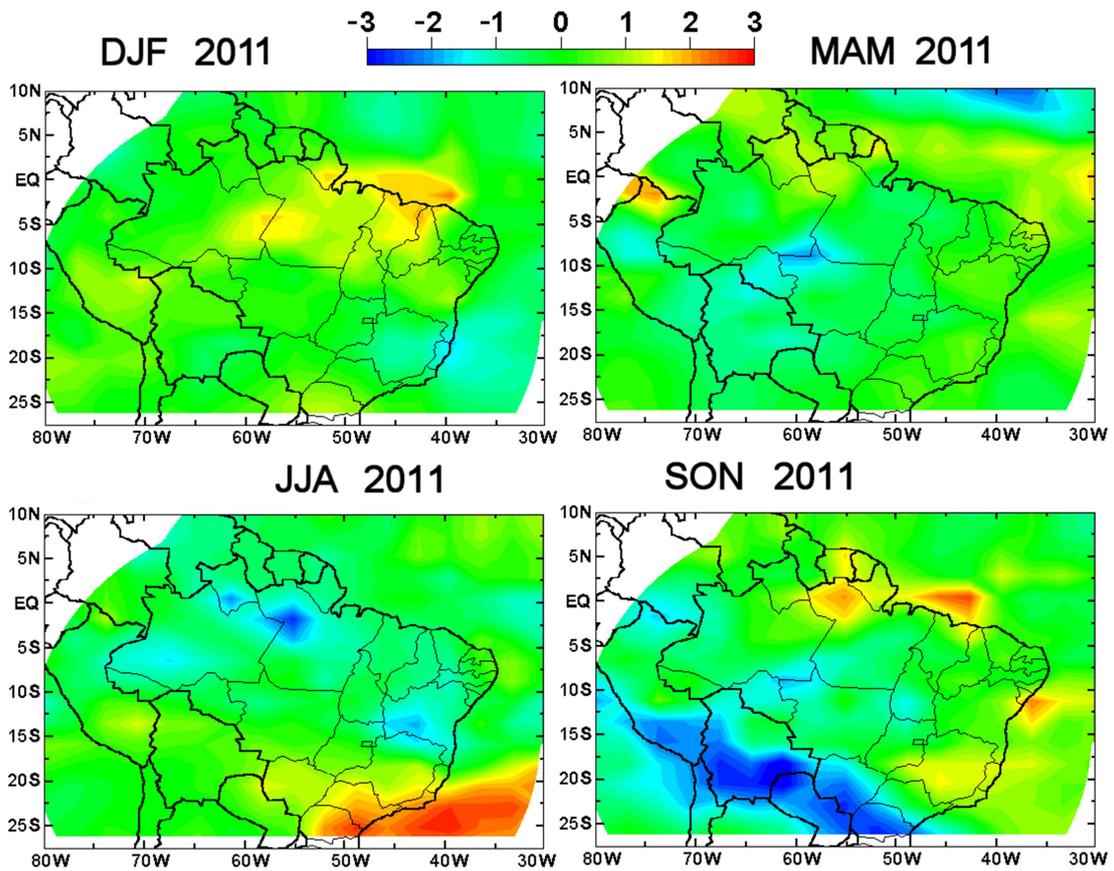


Figura 12. Imagem das anomalias trimestrais do padrão de onze anos para 2011.

Nas imagens de anomalias das Fig. 9 e Fig. 10 é observável estabilidade porque temos predominância da cor verde, onde o valor da anomalia é próximo de zero (ver barra de cores) e, isto, indica a persistência dos valores de albedo obtido nos padrões de onze anos. A coloração vermelha indica um aumento de até três desvios padrões no valor do albedo em relação ao padrão. A coloração azul indica uma diminuição de até três desvios padrões no valor do albedo em relação ao padrão. Numa distribuição Gaussiana ou Normal a probabilidade de acontecer desvios no valor de até um desvio padrão é de 68%, de até dois desvios no valor é de 98% e de três desvios é de 99,5 %. Este fato serve para monitorar mudança climática e para o período das anomalias mostradas, com base nos valores de albedo, pode-se observar que a normalidade se manteve. Os valores de albedo no continente da América do Sul abaixo do Trópico de Capricórnio para os trimestres SON de 2010 e 2011 foram menores do que o padrão, conforme destacado pela cor azul nos mapas. Este fato pode ser explicado por uma diminuição da cobertura de nuvens nesta região. No entanto, também, pode ser resultado de uma mera oscilação estatística e os próximos gráficos de anomalia irão esclarecer se é diminuição na cobertura de nuvens ou flutuação estatística.

4. CONCLUSÃO

Os dados de albedo acumulados desde o lançamento do SCD2 e selecionados dentro de várias regiões em latitudes e longitudes, são processados, para se estabelecer um padrão estatístico (Veissid, 2003). Desta forma, como explicado na seção 2 deste trabalho, é possível estabelecer média e desvio padrão em um período escolhido arbitrariamente (mês, trimestre, estação do ano ou qualquer outro período). Neste trabalho, foi estabelecido padrão de onze anos para o trimestre DJF dos anos de 1998-Dezembro até 2009-Fevereiro. O trimestre DJF de 2010, que corresponde aos meses de dezembro de 2009 até fevereiro de 2010, foi comparado com o trimestre médio padrão em termos de números de desvios padrões de variabilidade (ver Fig. 9). Conclui-se pelo mapa mostrado neste trabalho que este período não apresentou nenhuma mudança climática, pois as diferenças entre o valor médio medido e o padrão de onze anos foram muito menores que um desvio padrão de variabilidade com exceção de uma pequena mancha vermelha no litoral do Peru. Várias outras conclusões podem ser extraídas das imagens de anomalia para 2010 na Fig. 9 e para as imagens de anomalia de 2011 na Fig. 10.

Um experimento simples colocado a bordo de um satélite Brasileiro permite estimar o albedo planetário em tempo real. Os dados tratados com um algoritmo adequado permitem monitorar variabilidade climática pois o albedo corresponde a refletividade da energia solar pelo sistema atmosfera-superfície. Portanto, o albedo é um excelente monitor do clima. A metodologia empregada é isenta dos efeitos da degradação dos sensores (células solares) do ECS pois os dois sinais sofrem redução proporcional que é compensada pelo quociente no cálculo do albedo. Fato análogo acontece, também, com o efeito da temperatura. Portanto, o Experimento que mede o Albedo é um equipamento autocalibrável.

Considerando que o sinal do Experimento Célula Solar continuará provavelmente pelos próximos anos, 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. Como continuação deste trabalho, serão processados dados dos trimestres subsequentes a 2011 e comparar com os padrões de 11 anos destes mesmos trimestres vistos nas Figs. 5, 6, 7 e 8. Desta forma, os dados de albedo permitem estabelecer correlação com mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS

- Cecatto, J. R., Capítulo 4: O Sol, 2018, **Curso INPE**, http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.31.16.33/doc/04_Sol_2018Rv4.pdf.
- Veissid, N., Pereira, E. B., Um modelo simples de levantamento do albedo planetário empregando dados do Experimento Célula Solar do satélite brasileiro SCD2, **Brazilian J. of Geophysics**, v. 18(1), p. 25, 2000.
- Veissid, N., Variabilidade climática caracterizada pelo desvio padrão do albedo planetário. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia e a Gestão de Energia, Foz do Iguaçu-PR, 4 a 9 de Agosto de 2002, Trabalho completo publicado nos **Anais** (CD-ROM), trabalho 2142-1.
- Veissid, N., New satellite sensor and method for the direct measurement of the planetary albedo, results for the 1999, 2000 and 2001 in South America, **Atmospheric Research**, v. 66, p. 65-82, 2003.
- Veissid, N., Análise das médias mensais do albedo planetário medido pelo Experimento Célula Solar do satélite Brasileiro SCD2. In: III Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS), Belém-PA, 21-24 de Setembro de 2010, Trabalho Completo nos **Anais** no CD-ROM do Congresso, trabalho 69570 (11 páginas).
- Veissid, N.; Escobedo, J. F.; Galdino, M. A. Taxa de absorção atmosférica sobre as cidades de Botucatu-SP e Rio de Janeiro-RJ, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 4, p.455-468, 2010.
- Veissid, N., Novo algoritmo para mapas de variabilidade climática. In: **IV Conferência Regional sobre Mudanças Globais: O Plano Brasileiro para um Futuro Sustentável**, São Paulo-SP, 4-7 de Abril de 2011, Poster apresentado.

- Veissid, N., New algorithm to study climate change based on planetary albedo measurement by Brazilian satellite SCD2. In: **Climate Change, Impacts and Vulnerabilities in Brazil**, Natal-RN, 27/05 até 01/06 de 2012, apresentação oral.
- Veissid, N., Experimento Albedo do satélite SCD2 do INPE estabelece base de dados decenal para monitorar mudança climática global. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13-18 abril de 2013, Foz do Iguaçu-PR. **Anais do Simpósio** em DVD, ISBN 978-85-17-00044-7. Trabalho completo disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.13.03>, p. 1707-1713.
- Veissid, N., Base de dados decenal para monitorar mudança climática global estabelecida pelo Experimento Albedo do SCD2: primeiras imagens de anomalia para 2009, **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, 25 a 29 de abril de 2015, p. 2039-2046.
- Veissid, N., Imagens de Anomalia Normalizada pela Variabilidade do Padrão Decenal do Albedo Planetário Medido pelo Satélite SCD2 do INPE. Pôster In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Santos – SP, 28-31 de Maio de 2017. Trabalho Completo no site do Congresso, ISBN 978-85-17-00088-1, trabalho 61651, p. 1955-1962.
- Tavares, M., Meteorologia Espacial, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 22, n. 4, 2000, p. 496-502.

ELEVEN YEAR DATABASE OF PLANETARY ALBEDO MEASURED BY SCD2 INPE SATELLITE WITH ANOMALY IMAGES FOR 2010 AND 2011

Abstract. *The second satellite of the Complete Brazilian Space Mission of the National Institute for Space Research (SCD2/INPE/MECB) launched on October 23, 1998 carries a Solar Cell Experiment on board. The Experiment acts as a radiation sensor and allows measuring direct solar radiation and the portion of this radiation that is reflected by the Earth. In this way, the Experiment measures the reflectivity of the Earth which is known as terrestrial Albedo. The Albedo value is obtained by the ratio between these two radiations after angular spherical corrections in their values. The sunspot cycle has an 11-year period and affects climate, cloud cover and other meteorological parameters. An 11-year database of planetary Albedo over South America was established for the interval between December 1998 and November 2009. Values measured in the interval between December 2009 and November 2011 enabled the construction of quarterly anomaly graphs of the planetary Albedo. The graphs check global climate changes and the results shown in this work that in the years 2010 and 2011 there was no change in relation to the 11-year pattern.*

Keywords: *Solar Radiation, Planetary Albedo, Satellite*