

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO *TRMM* COM
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO *MODIS* PARA O
MONITORAMENTO DE ESTIAGEM NA REGIÃO SUL DO
BRASIL**

João Paulo Assis Gobo

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo
Dr. Nelson Jesus Ferreira.

INPE
Santa Maria
2010



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INTEGRAÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO *TRMM* COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO *MODIS* PARA O MONITORAMENTO DE ESTIAGEM NA REGIÃO SUL DO BRASIL

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

João Paulo Assis Gobo (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: jphanso@yahoo.com.br

Dr. Nelson Jesus Ferreira (CPTEC/ INPE, Orientador)
E-mail: nelson.ferreira@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Dra. María Silvia Pardi Lacruz (CRS/INPE)

Julho de 2010

RESUMO

As análises climatológicas e as previsões climáticas para determinados locais foram beneficiadas em grande parte pela evolução do sensoriamento remoto. A estiagem é o resultado da redução das precipitações, do atraso dos períodos chuvosos ou da ausência de chuvas previstas para um período determinado, ocasionando prejuízos significativos para a agricultura e a pecuária. Neste contexto, a precipitação e o comportamento da vegetação frente ao excesso ou déficit de chuva são variáveis importantes a serem estudadas e o sensoriamento remoto vem auxiliar de maneira decisiva neste estudo. A presente pesquisa tem como objetivo estabelecer a relação entre os dados de anomalia de precipitação obtidos a partir do satélite *TRMM* com dados dos índices de vegetação *NDVI* e *EVI* do sensor *MODIS* para o monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil. Inicialmente, foram obtidos os dados de acumulado de precipitação pluviométrica a partir do satélite *TRMM* para a região no período compreendido entre dezembro de 2000 a dezembro de 2008. Os dados foram importados para o *software* SPRING onde foi gerada uma grade retangular utilizando um interpolador de média ponderada. Devido à resolução dos dados do *TRMM* serem de $0,25^\circ$ (~25 km), foi gerada uma nova grade retangular utilizando um interpolador bicúbico com resolução de 250m, com a finalidade de dispor destes dados na mesma resolução das composições índice de vegetação do sensor *MODIS*. Tanto as imagens *TRMM* como as composições *NDVI* e *EVI* foram agrupadas por estação do ano e posteriormente calculadas as médias de acumulado de precipitação e índice de vegetação *NDVI* e *EVI* para cada estação e cada ano do período analisado. Posteriormente foram geradas as imagens de média e desvio padrão de referência para cada estação e foram calculadas as anomalias de precipitação e as anomalias de vegetação do *NDVI* e do *EVI* para a primavera, verão, outono e inverno de cada ano para todos os anos do período estudado. A análise integrada das imagens resultantes de anomalia de precipitação e índice de vegetação permitiu conhecer a diferença do tempo de resposta dos tipos de vegetação em função do déficit de precipitação, a distribuição espacial dos eventos de estiagem ocorridos no período analisado assim como a forte correlação existente entre a resposta dos índices de vegetação *NDVI* e *EVI* do *MODIS* e as anomalias de precipitação do *TRMM*.

INTEGRATION OF THE *TRMM* PRECIPITATION DATA WITH THE *MODIS* VEGETATION INDEXES FOR THE DROUGHT MONITORING IN SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

The climatological analysis and predictions for certain locations have been benefited largely by the evolution of remote sensing. Drought is the result of the reduction of precipitation, the delay of rainy periods or the absence of rain predicted for a determined period, it causes significant damage to agriculture and livestock. In this context, the precipitation and the vegetation behavior in front of the excess or lack of rain are important variables to be study and the remote sensing comes to support in a decisive way in this study. This research aims to establish the relation between the precipitation anomaly data obtained from the *TRMM* satellite with the *NDVI* and *EVI* vegetation indexes data from the *MODIS* sensor for the drought monitoring in southern Brazil. Initially, it was obtained the data of accumulated rainfall from the *TRMM* satellite for the zone during the period from December 2000 to December 2008. The data were imported to the *SPRING* software in which was generated a rectangular grid using a weighted average interpolator. Since the *TRMM* data determination are $0,25^{\circ}$ (~25 km), it was generated a new rectangular grid using a bi cubic interpolator with a resolution of 250m, in order to dispose of these data in the same resolution of the compositions vegetation index from *MODIS* sensor. Both the *TRMM* images and *NDVI* and *EVI* compositions were assembled by season of the year and after calculated the averages of accumulated rainfall and vegetation index *NDVI* and *EVI* for each season and each year of the analyzed period. Then the images of mean and standard deviation of reference were generated for each season and the precipitation anomalies and vegetation anomalies of the *NDVI* and the *EVI* were calculated for the spring, summer, autumn and winter of each year in all the years during the studied period. The integrated analysis of the resulted images from the precipitation anomaly and vegetation index admitted to know the difference in the response time of vegetation types depending on the rainfall deficit, the spatial distribution of the drought events occurred in the analyzed period as well as the strong existent correlation between the response of the *NDVI* and *EVI* vegetation index from *MODIS* and the *TRMM* precipitation anomalies.

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1 INTRODUÇÃO	12
1.2 Área de Estudo	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 O sensoriamento remoto e o satélite <i>TRMM</i>	15
2.2 Índice de vegetação NDVI e EVI	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 Metodologia	22
3.1.1 Aquisição e processamento dos dados <i>TRMM</i>	22
3.1.2 Aquisição e processamento dos dados <i>MODIS</i>	24
4 RESULTADOS	26
4.1 Análise das anomalias de precipitação <i>TRMM</i>	26
4.2 Análise das anomalias de Índice de Vegetação <i>NDVI/MODIS</i>	29
4.3 Análise anual	32
4.3.1 Ano 2001	32
4.3.2 Ano 2002	33
4.3.3 Ano 2003	34
4.3.4 Ano 2004	36
4.3.5 Ano 2005	37
4.3.6. Ano 2006	49
4.3.7. Ano 2007	40
4.3.8. Ano 2008	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Anomalias de precipitação pluviométrica para a Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.	27
Figura 2	Anomalias de índice de vegetação para a Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.	30
Figura 3	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2001.	32
Figura 4	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2002	34
Figura 5	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2003.	35
Figura 6	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2004.	37
Figura 7	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2005.	38
Figura 8	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2006.	39
Figura 9	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2007.	41
Figura 10	Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2008.	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Período das tomadas de imagens *MODIS* e suas respectivas divisões de acordo com a estação do ano. 24

1 INTRODUÇÃO

A definição de sensoriamento remoto pode ser dada como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície, sem que haja contato direto entre eles, por meio de sensores capazes de coletar dados dos objetos, a fim de extrair as informações desejadas (NOVO, 1998).

Sensoriamento remoto é o conjunto de atividades, com objetivo de caracterizar as propriedades dos alvos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante, refletido ou emitido pelos mesmos (LOCH, 2001).

As imagens obtidas pelos sensores remotos constituem-se em dados brutos que necessitam ser analisados e interpretados a fim de que sejam transformados em informações. Os dados detectados dos objetos na superfície são transferidos para o sensor através da energia ou radiação eletromagnética, estas informações adquiridas pelos sensores são registradas tornando possível à extração de informações sobre o ambiente (NOVO, 1998).

Moreira (2005) destaca ainda que todos os alvos da superfície terrestre se diferem quanto ao comportamento espectral, ou seja, cada alvo reflete uma energia diferente.

O sensoriamento remoto representa uma ferramenta importante para a obtenção de dados básicos e espaciais, para realização de tarefas de proteção do ambiente natural, bem como para decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio (BLASCHKE; KUX, 2005).

Desde meados da década de 70 o sensoriamento remoto vem sendo utilizado para os mais diversos fins. A climatologia e a meteorologia não se mantiveram a parte e passaram a utilizar das técnicas de sensoriamento remoto para o dos estudos e pesquisas referentes ao clima e ao tempo.

Esses avanços trouxeram várias conquistas no ramo da meteorologia, previsão do tempo, e estudos de eventos extremos como tornados, furacões, ciclones, tempestades, entre outros. Dentre os benefícios para a climatologia destacam-se as observações meteorológicas e climatológicas horárias, diárias e mensais de diversas partes do globo facilitando o entendimento do clima global e das diversas regiões do planeta. As observações referentes às precipitações também são de importante relevância para a climatologia e para os estudos derivados.

As análises climatológicas e as previsões climáticas para determinados locais foram beneficiadas em grande parte pela evolução do sensoriamento remoto. Nos dias atuais, onde se busca incessantemente a maior desenvolvimento na produção de alimentos, onde as perdas devem ser as menores possíveis, a avaliação climatológica é de fundamental importância. Neste contexto, a chuva é uma das principais variáveis a serem estudadas e o sensoriamento remoto vem auxiliar de maneira decisiva nestes estudos através das estimativas de precipitação por satélite, das anomalias de precipitação e dos acumulados de precipitação.

Viana (2009) analisou o comportamento espaço-temporal da precipitação na região sul do Brasil e verificou uma tendência geográfica da precipitação na região sul no período quente do ano na sub-região Litoral, enquanto na metade fria, na Campanha e no Planalto, a tendência mostrou-se moderada no verão e no outono.

O presente trabalho propôs o levantamento do acumulado de precipitação pluviométrica da Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008 a fim de gerar cartas de anomalia de precipitação pluviométrica para as quatro estações de cada ano, utilizando técnicas do sensoriamento remoto através dos dados obtidos do satélite *TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)* e posteriormente cruzar as cartas de anomalia de precipitação com as cartas de anomalia de índice de vegetação do sensor *MODIS*.

Os objetivos específicos são:

- Obter a precipitação pluviométrica acumulada a partir das imagens *TRMM* para os mesmos períodos dos produtos índice de vegetação do sensor *MODIS* (16 dias);
- Calcular as anomalias de precipitação da região sul do Brasil para o período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008;
- Analisar de forma integrada as anomalias dos índices de vegetação *NDVI/MODIS* com as anomalias de precipitação;
- Verificar a relação entre as anomalias de precipitação *TRMM* e as anomalias de índice de vegetação *MODIS*.

1.2 Área de Estudo

Segundo IBGE (2009), a área de estudo da presente pesquisa compreende a região Sul do Brasil, a qual ocupa um total de 576.408 km², sendo formada pelos estados do Paraná (199.314 km²), Santa Catarina (95.346 km²) e Rio Grande do Sul (281.748 km²) conforme observado na Figura 2.1. Tem uma população de 26.733.595 habitantes, dos quais 38,47% no estado de Paraná, 21,94% em Santa Catarina e 39,58% no Rio Grande do Sul

A região Sul destaca-se por sua produção agropecuária, sendo líder na produção nacional de soja e é responsável por 90% da produção nacional de trigo (Embrapa, 2006), além de suprir mais de 50% da demanda nacional de arroz (EMBRAPA, 2005). É também a região de maior exportação de carne bovina e possui o maior rebanho ovino do país.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O sensoriamento remoto e o satélite *TRMM*

É notório o avanço tecnológico na área de sensoriamento remoto no monitoramento das chuvas por meio de satélites ambientais nos últimos 30 anos. Porém, a chuva é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de medir, por causa da sua grande variação no espaço e no tempo.

Pluviômetros espalhados pela superfície terrestre coletam informações precisas da precipitação somente para uma pequena área localizada no entorno do dispositivo. O monitoramento detalhado sobre extensas áreas exige a existência de uma densa rede de pluviômetros, o que, em certos casos, é inviabilizado em áreas de difícil acesso como a floresta Amazônica e regiões montanhosas (ANGELIS, 2005). Com isso, consegue-se continuidade apenas temporal das medições, dada à impossibilidade de se dispor de aparelhos de medição sobre toda a superfície a ser observada, portanto, existe a necessidade de extrapolar ou interpolar os dados para toda a área. Mesmo a continuidade temporal é comprometida frequentemente por erros, falta de pagamento dos profissionais responsáveis pela medição ou falta de manutenção dos medidores (CONTI, 2002).

Com a prática de extrapolação/interpolação admite-se uma estimativa de precipitação para áreas mais distantes dos pontos medidos, sem qualquer indício físico real sobre a quantidade de precipitação verdadeiramente ocorrida (CONTI, 2002).

Diversas metodologias para estimativa de precipitação por meio de imagens de satélite vêm sendo propostas. Essas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Destacam-se os satélites da série *GOES (Geostationary Operational Environmental System)* e o satélite *Tropical*

Rainfall Measuring Mission (TRMM), este último com o objetivo específico de medição de precipitação nos trópicos.

O satélite *TRMM* foi lançado em novembro de 1997 através de uma parceria entre a *NASA* e a *JAXA*, com a finalidade de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos. O *TRMM* possui órbita oblíqua não heliosincrônica bastante baixa (403 km) com um período de translação bastante curto (aproximadamente 91 minutos), resolução espacial baixa e resolução temporal relativamente alta.

O *TRMM* carrega sensores que monitoram as nuvens e a precipitação, e a evolução temporal das nuvens e dos sistemas de precipitação. Os sensores do *TRMM* são: radiômetro passivo de microondas (*TMI*), o Radar de Precipitação (*PR*), o Sondador de Visível/Infra Vermelho (*VIRS*), o sensor Clouds and Earth's Radiant Energy System (*CERES*) que opera nos canais visível e infravermelho, e o sensor Lightning Imaging System (*LIS*), que permite investigar a distribuição e variabilidade de descargas elétricas dentro das nuvens, como também das nuvens para o solo e vice-versa (KUMMEROW e BARNERS, 1998).

Como os instrumentos a bordo dos satélites *TRMM* são amplamente utilizados nos produtos de estimativa de chuva por satélite, suas principais características são:

Radar de Precipitação (PR)

As principais informações obtidas por este sensor são a intensidade e distribuição da chuva, o tipo de chuva (convectiva ou estratiforme) e a altura pluviométrica. Sua resolução horizontal na superfície é da ordem de 4 km, com largura de varredura de 220 km. Uma das características mais importantes do *PR* é a sua eficiência na determinação de perfis verticais da chuva e neve acima da superfície, em uma altura média de 20 km. O Sensor *PR* detecta taxas leves de chuva, da ordem de 0,7 mm-1 (*NASA*, 2009).

Radiômetro Passivo de Microondas (TMI)

O *TMI* é um sensor de microondas passivo projetado para fornecer informação quantitativa da chuva sobre uma largura de varredura de 780 km na superfície. Por meio da medição da quantidade de energia de microondas emitidas pela Terra na atmosfera, o *TMI* é capaz de quantificar o vapor de água, a água precipitável e a intensidade da chuva na atmosfera. É um instrumento relativamente pequeno que consome pouca energia. Isto, combinado com a boa largura de varredura, faz do *TMI* um dos mais eficientes instrumentos de medição de chuva do *TRMM*. O Sensor *TMI* é baseado no projeto do altamente bem sucedido sensor *Special Sensor Microwave Imager (SSM/I)*, operado continuamente pela *Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)* desde 1987. O instrumento mede a intensidade da radiação em cinco frequências: 10,7, 19,4, 21,3, 37 e 85,5 Ghz. Estas frequências são similares ao *SSM/I*, exceto que o *TMI* tem um canal adicional 10,7 Ghz projetado para fornecer uma resposta mais linear para altas taxas de chuva comumente observadas na região tropical (*NASA*, 2009).

Sondador de Visível/Infravermelho (VIRS)

O *VIRS* é um instrumento primário do *TRMM*, pois se trata de um indicador muito indireto de chuva. Outras medidas de chuva que são feitas como nos satélites meteorológicos *Polar Orbiting Environmental Satellites (POES)* e *GOES*, são utilizadas em conjunto com o *VIRS*. O Sensor *VIRS* mede a radiação vindo da Terra em cinco regiões espectrais, desde o visível até o infravermelho. São dois os motivos que destacam a inclusão do *VIRS* no pacote de instrumento primários: o primeiro, porque é capaz de delimitar a chuva, e o segundo e mais importante, é que serve como referência para outras medidas feitas utilizando os satélites *POES* e *GOES* (*NASA*, 2009).

As imagens obtidas por meio dos sensores infravermelho são compostas de energia radiante provenientes da atmosfera, da superfície terrestre, ou da água. Esta energia pode ser convertida em temperatura, conhecida como temperatura de brilho, por meio da lei de *Stefan-Boltzmann*. As observações de temperatura de brilho podem ser usadas para inferir alturas de topo das nuvens. Baixas temperaturas de brilho implicam em altos topos de nuvem, resultando em grande espessura da nuvem e alta probabilidade de chuva. Altas temperaturas de brilho implicam em topos de nuvem baixos e baixa probabilidade de chuva (MAIDMENT, 1993).

O referido autor destaca que, diferentemente do infravermelho e do visível, as técnicas de microondas têm grande potencial para a estimativa da precipitação. A energia do microondas se relaciona com a chuva sob dois aspectos: emissão/absorção e dispersão. Para baixas frequências de microondas (10-37 Ghz) é registrada a emissão termal das gotas de chuva, enquanto que em altas frequências (> 85 Ghz) é registrada a dispersão da radiação que sobe da superfície terrestre, devido às partículas de gelo na camada de chuva, e topos de sistemas convectivos (MAIDMENT, 1993).

Os métodos de estimativa de chuva por meio de sensores de microondas ativos, como por exemplo, o radar, derivam o perfil vertical da taxa instantânea de chuva. As limitações desses métodos são similares às limitações das outras técnicas a partir do microondas, sendo que a principal se relaciona à pequena cobertura espacial do equipamento. A resolução espacial do radar é melhor, sendo da ordem de 4 km. Outro problema é a dificuldade na calibração de um radar espacial, contribuindo significativamente para a incerteza da estimativa da chuva (JOBARD, 2001).

Dentre os produtos do *TRMM* a presente pesquisa fez uso do produto 3B42 V6 que é um dos mais utilizados nas estimativas de chuva com resolução espacial de $0,25^\circ$, cobrindo a faixa do globo entre as latitudes de 50°N e 50°S , com resolução temporal de 3 horas. Este produto utiliza combinações de diferentes fontes com a finalidade de obter estimativas mais precisas de chuva (JOBARD, 2001).

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o produto 3B42 V6 que é uma combinação de estimativas de precipitação do *TRMM*, *Special Sensor Microwave Imager (SSM/I)*, *Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E)* e *Advanced Microwave Sounding Radiometer (AMSU-B)*, para ajustar as estimativas de precipitação no canal infravermelho.

2.2 Índice de vegetação *NDVI*

O sensor *MODIS* é um dos cinco sensores a bordo dos satélites *TERRA* e *AQUA* do Sistema de Observação da Terra *EOS (Earth Observing System)* da *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*. Este sensor trabalha com 36 bandas espectrais cobrindo desde a região do visível até o infravermelho termal, e gera imagens com resolução espacial de 250 metros para as bandas 1 e 2; 500 metros para as bandas 3 a 7 e 1000 metros para as outras 29 bandas. Cada cena deste sensor cobre uma faixa de 2330 km de largura (SOUSA JR. e PARDI LACRUZ, 2006).

Essas regiões espectrais foram definidas para minimizar o impacto da absorção de gases atmosféricos. O sensor *MODIS* possui uma característica espectral de resolução espacial moderada e alta resolução temporal (SOUSA JR. e PARDI LACRUZ, 2006).

Além disso, o *MODIS* oferece um contraste bom e sofre menos influência atmosférica por possuir a banda do infravermelho próximo mais estreita e bem posicionada (MOREIRA, 2000).

De acordo com Anderson *et al* (2003) o *MODIS* é o principal sensor desenvolvido para estes satélites, e apresenta ampla cobertura espacial e espectral, continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais e é a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

O satélite *TERRA* foi lançado em 18 de dezembro de 1999 e a primeira imagem do sensor *MODIS* foi obtida em fevereiro de 2001, já o satélite *AQUA* foi lançado em 4 de

maio de 2002 e a primeira imagem foi adquirida em junho de 2002, ambos estão em uma órbita de 705 km de altura.

O produto de sensoriamento remoto mais utilizado para o monitoramento da seca em extensas áreas é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*), principalmente aqueles derivados de imagens do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* da série de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, (SOUSA JR. et al., 2010).

Segundo Sousa Júnior (2010), o *NDVI* é mais utilizado para a identificação e monitoramento de regiões afetadas pela seca tanto em escala regional como nacional e global com resultados satisfatórios. Este índice é muito utilizado para identificar e quantificar os efeitos da seca. Nos Estados Unidos, TENG (1990) utilizou imagens *NDVI* do *AVHRR/NOAA* para monitorar os efeitos da seca no centro-oeste do país, e comprovou a eficiência do índice através de estudos de campo. Segundo este autor, a aplicação do índice de vegetação permite detectar a seca na sua fase inicial (SOUSA JR. et al., 2010).

LIU et al. (1994) analisaram a evolução espacial e temporal da seca na América do Sul para o período de 1981 a 1987 utilizando mapas mensais, elaborados a partir de valores de *NDVI/AVHRR* inferiores a 0,22. Os resultados indicaram o potencial das imagens índice de vegetação para monitorar a ocorrência de seca assim como a variabilidade climática em escala regional e continental. Com o surgimento do sensor (MODIS) a partir de 1999, foi possível dar continuidade à utilização do *NDVI* com uma resolução espacial maior (250 metros) quando comparada com a obtida com o *AVHRR* (1 – 4 km).

Diversos trabalhos utilizando índices *EVI* e *NDVI* comprovaram que ambos os índices, tiveram resultados similares e, permitiram verificar a existência de um evento de estiagem nos períodos analisados (LIU et al, 1994).

As anomalias do índice de vegetação da diferença normalizada (*NDVI*) do *MODIS* com relação a média e as anomalias padronizadas do índice foram calculadas para uma região ao noroeste da China, no período de 2001 a 2006 (LIN et al., 2008). Após a aplicação da estatística local de Getis (G) sobre as anomalias calculadas, determinaram os hotspots das áreas com alto risco de seca.

Na mesma região da China, LIN et al. (2008) calcularam, para o período de 2001 a 2006, diferentes índices de seca da vegetação (*Vegetative Drought Indices*) baseados em produtos *MODIS* de 16 dias, com resolução de 250 metros. A partir do *NDVI* foram obtidos o *Vegetation Condition Index – VCI*, o *Temperature Condition Index - TCI* e o *Vegetation Health Index - VHI*; também calcularam o *Moisture Condition Index – MCI* baseado no índice de umidade da diferença normalizada - *NDMI*, que corresponde à razão da diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio e a soma destas bandas. Os resultados mostraram que há concordância entre o *NDVI* e o *NDMI* durante o período em estudo, já os índices restantes mostraram diferenças na distribuição espacial (SOUSA JR. et al. , 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Aquisição e processamento dos dados *TRMM*

Para a realização desta pesquisa, primeiramente, foram obtidos os dados de acumulado de precipitação pluviométrica a partir do satélite *TRMM* (produto 3B42 V6), através do site <<http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>>, para a Região Sul do Brasil no período compreendido entre 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008. Estes dados de acumulado de precipitação estão disponíveis em grades com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ a cada 3 horas, e este trabalho utilizou 8 anos de dados referentes a área entre as latitudes de 22.0°S e 35.0°S e longitudes 58.8°W e 46.0°W .

Os dados obtidos foram baixados em formato ASCII e posteriormente importados para o *software SPRING* onde inicialmente foi gerada grade retangular utilizando um interpolador de média ponderada. Devido à resolução dos dados baixados ser de $0,25^\circ$, foi gerada uma nova grade retangular utilizando um interpolador bicúbico com resolução de 250m, de acordo com as imagens do sensor *MODIS*, a fim de posteriormente cruzar os dados de anomalia de precipitação com dados de anomalia de índice de vegetação obtidos a partir do sensor *MODIS*. O passo seguinte foi o fatiamento das imagens em classes de cores seguindo o padrão de cores da escala *TRMM* e a geração de isolinhas.

Por fim as imagens foram agrupadas pelo período das estações do ano e foram feitas as médias de cada estação para cada ano utilizando-se a fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

onde, a média de um conjunto N de dados numéricos X_1, X_2, \dots, X_N é representada por \bar{x} .

Após obter as médias das estações, estas foram submetidas ao cálculo de desvio padrão, onde um conjunto de dados X_1, \dots, X_n é definido por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Posteriormente, foram geradas as anomalias de precipitação para primavera, verão, outono e inverno de cada ano para todos os anos do período estudado.

As cartas de anomalia de precipitação geradas obedeceram à seqüência do período de imagens *MODIS* totalizando 392 imagens gerando 196 mosaicos de dezembro de 2000 a junho de 2009, sendo que foram utilizadas apenas as imagens do período de 20 de dezembro de 2000 a 1 de janeiro de 2009 considerando as quatro estações do ano, a saber:

Verão: 19 de dezembro a 21 de março;

Outono: 22 de março a 25 de junho;

verno: 26 de junho a 13 de setembro;

Primavera: 14 de setembro a 18 de dezembro.

Para verificar os eventos de seca se estabeleceu que este ocorre quando o SPI é igual ou menor a -1, quando o índice é positivo indica umidade, conforme os valores do Índice de Precipitação Padronizada - SPI e a categoria de seca, abaixo:

Categoria de Seca:

Extremamente úmido

Muito úmido

Moderadamente úmido

Próximo a Normal

Moderadamente Seco

Severamente Seco

Extremamente Seco

Valor de SPI
 2 e acima
 +1,50 a + 1,99
 +1,00 a + 1,49
 -0,99 a + 0,99
 -1,00 a - 1,49
 -1,50 a - 1,99
 -2,00 e abaixo

Os períodos de análise das imagens *TRMM* foram estabelecido de acordo com o mesmo período das imagens *MODIS*, a cada 16 dias, e as estações do ano foram definidas pelas datas de tomada das imagens tais como:

TABELA 1: Período das tomadas de imagens *MODIS* e suas respectivas divisões de acordo com a estação do ano.

Verão	Outono	Inverno	Primavera
20/dez 1/jan	23/mar 7/abr	11/jun 26/jun	15/set 30/set
2/jan 17/jan	8/abr 23/abr	27/jun 12/jul	1/out 16/out
18/jan 2/fev	24/abr 9/mai	13/jul 28/jul	17/out 1/nov
3/fev 18/fev	24/abr 9/mai	29/jul 13/ago	2/nov 17/nov
19/fev 6/mar	10/mai 25/mai	14/ago 28/ago	18/nov 3/dez
7/mar 22/mar	26/mai 10/jun	29/ago 14/set	4/dez 19/dez

3.1.2 Aquisição e processamento dos dados *MODIS*

As imagens de índice de vegetação *NDVI* do *MODIS* foram coletadas para o intervalo de 16 dias e foram divididas dentre as estações do ano de acordo com a Tabela 1 e receberam o mesmo tratamento dos dados *TRMM*. Essas imagens *NDVI/MODIS* foram obtidas em formato HDF (*Hierarchy Data Format*), e convertidas para o formato Geotiff utilizado o software *MODIS Reprojection Tool*.

Posteriormente as imagens foram plotadas no *software SPRING* onde estas foram submetidas ao cálculo das médias para cada estação de cada ano de estudo. O passo seguinte foi o cálculo da média geral para cada estação.

Após esta etapa, assim como foi feito com as imagens do *TRMM*, as imagens *MODIS* foram submetidas ao cálculo de desvio padrão e posteriormente geradas as anomalia de vegetação. A imagens foram classificadas de acordo com as seguintes classes de desvio padrão:

- < -2,0 desvios padrão - estiagem de intensidade alta
- 2,0 a -1,5 desvios padrão - estiagem de intensidade média
- 1,5 a -1,0 desvios padrão - estiagem de intensidade baixa
- 1,0 a 1,0 desvios padrão - normal
- 1,0 a 1,5 desvios padrão - vegetação com verdor baixo
- 1,5 a 2,0 desvios padrão - vegetação com verdor médio
- > 2,0 desvios padrão - vegetação com verdor alto

Após a geração das cartas de anomalia de índice de vegetação *NDVI/MODIS*, deu-se início a montagem dos mosaicos e a análise integrada entre as cartas de anomalia de precipitação do *TRMM* e as cartas de anomalia de índice de vegetação *MODIS*.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa. A seguir se descrevem as análises realizadas sobre as anomalias de índice de vegetação e as anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.

4.1 Análise das anomalias de precipitação *TRMM*

A partir dos dados de acumulado de precipitação, foram geradas as cartas de anomalia de precipitação da Região Sul do Brasil para o período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008 (Figura 1).

Os resultados obtidos mostraram a alta variabilidade na distribuição das precipitações para a região durante o período estudado. Esta variabilidade se expressa de maneira bastante evidente nas imagens do inverno de 2003 e verão de 2005, com anomalias negativas de precipitação devido a influencia dos efeitos do fenômeno La Niña sobre a Região Sul do Brasil.

Já nas imagens do inverno e da primavera de 2002 vê-se o oposto, com índices de anomalia de precipitação pluviométrica acima do normal, caracterizando a situação atmosférica então influenciada pelo fenômeno El Niño no Oceano Pacífico, que fez com que os índices de chuva para a Região Sul do Brasil fossem acima do normal.

Verifica-se, também, que na grande maioria das imagens dos períodos em que as anomalias de precipitação pluviométrica são negativas, as áreas mais afetadas são o noroeste do Rio Grande do Sul, o oeste de Santa Catarina e o sudoeste do Paraná. Já quando os índices de anomalia de precipitação pluviométrica são acima da média normal, as áreas mais afetadas são as que compreendem o quadrante norte do Rio Grande do Sul e o quadrante leste de Santa Catarina.

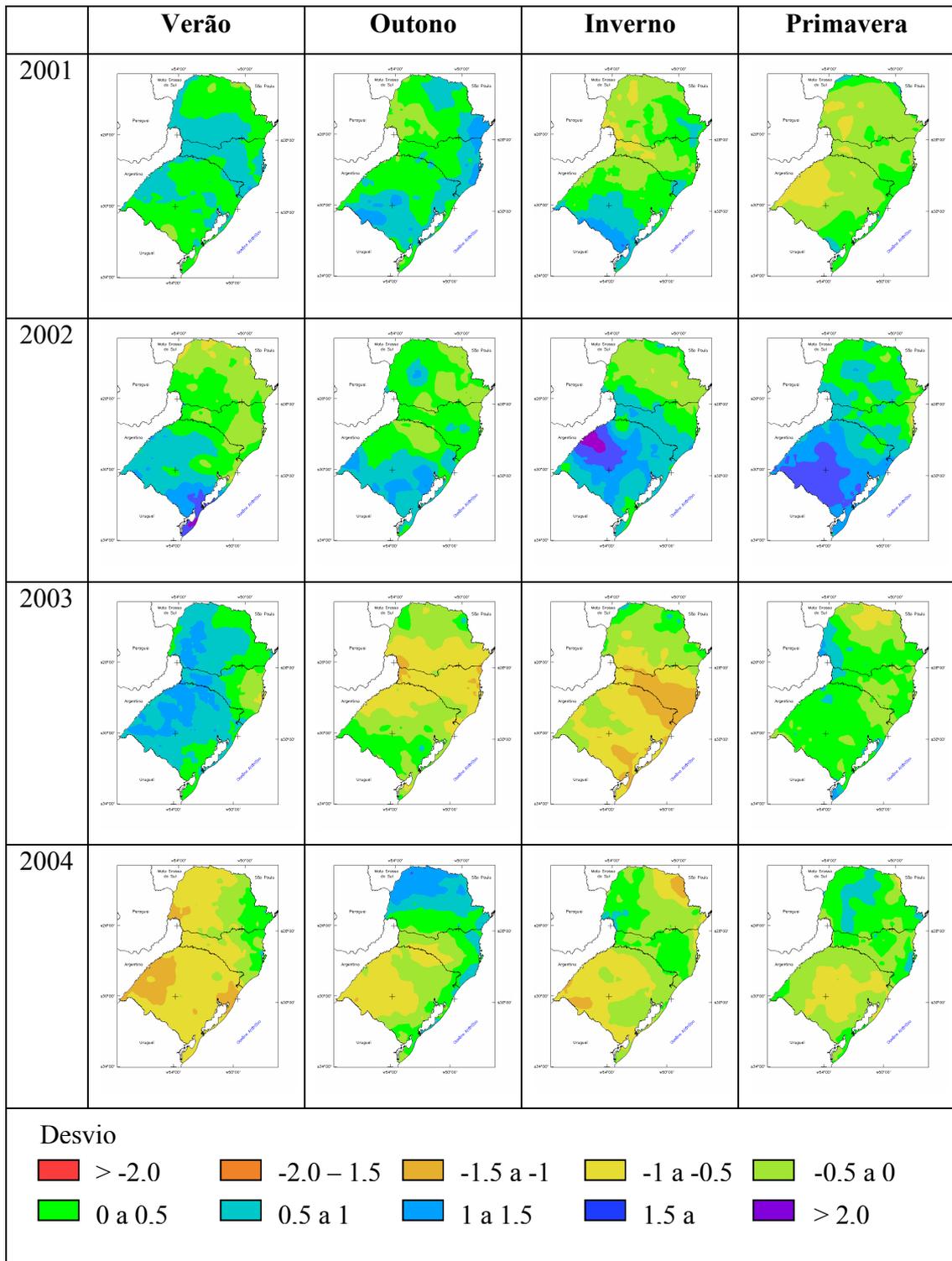


Figura 1 - Anomalias de precipitação pluviométrica para a Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.

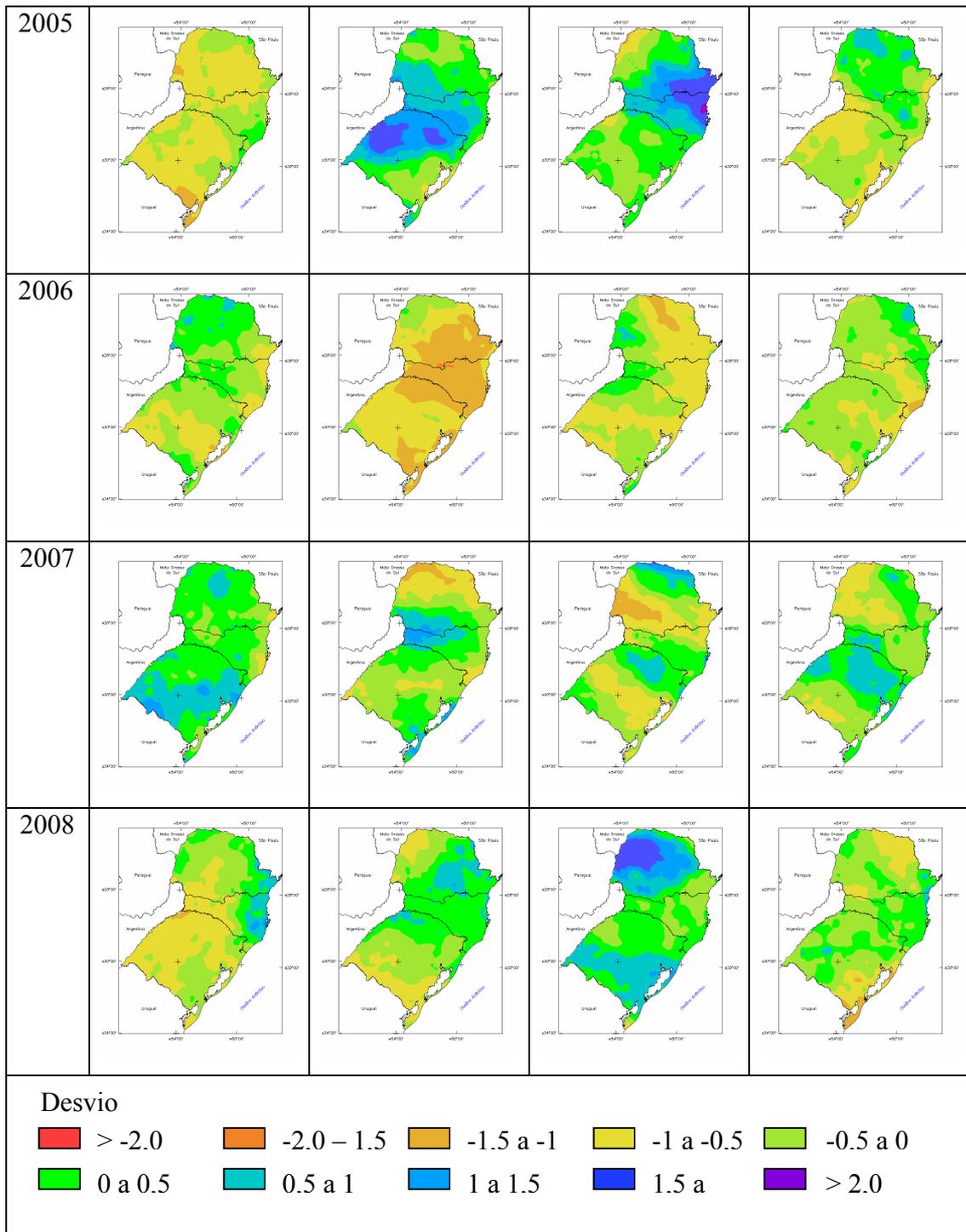


Figura 1 - Anomalias de precipitação pluviométrica para a Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.

4.2 Análise das anomalias de Índice de Vegetação *NDVI/MODIS*

De acordo com as cartas de índice de vegetação *NDVI/MODIS*, pode-se verificar a ocorrência de grandes focos de estiagem em diversos pontos da região Sul do Brasil, como, por exemplo, nas imagens do outono de 2004, verão de 2005 e inverno de 2007, com anomalias de vegetação dentro da classe de estiagem de intensidade alta, o que se explica principalmente pela influencia dos efeitos do fenômeno La Niña sobre a Região Sul do Brasil (Figura 2).

No entanto, nas imagens do outono e do verão de 2003, bem como na imagem do verão de 2007, verifica-se o oposto, com índices de anomalia de vegetação acima do normal, dentro da classe de verdor alto, caracterizando uma distribuição abundante das chuvas na Região Sul.

Assim como nas imagens de anomalia de precipitação, verifica-se, que na grande maioria das imagens as áreas mais afetadas por anomalias de estiagem alta são o noroeste do Rio Grande do Sul, o oeste de Santa Catarina e o sudoeste do Paraná. Já quando os índices de anomalia de vegetação estão acima da média normal, as áreas mais afetadas são as que compreendem o quadrante sul do Rio Grande do Sul e o quadrante oeste de Santa Catarina, bem como a região central do Rio Grande do Sul .

De acordo com trabalho realizado por Rosembach et al. (2009), para a região Sul do Brasil sobre o comportamento da vegetação, a influência de eventos climáticos de escalas global e local, tanto cíclicos como não cíclicos, com a utilização de ondaletas para quantificar as relações tempo-escala dos fenômenos atmosféricos aplicada a dados de *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index), representando a resposta espectral da vegetação, concluiu que para as três amostras de vegetação estudadas os valores altos de *NDVI* (entre 0,7 e 0,8) aparecem em todas as estações com pequena queda no mês de agosto (0,55 a 0,7) sendo que os valores mais baixos ocorrem no inverno dos anos de 2000 e 2004.

Segundo Rosembach et al. (2009), em termos de amplitude do *NDVI*, a variabilidade é mais significativa em Campos Úmidos, onde se observa acentuada sazonalidade. Nos demais locais a sazonalidade embora presente, não é tão perceptível.

No caso das frequências mais altas, a variabilidade do *NDVI* pode estar associada a mudanças eventuais das condições meteorológicas locais, como geadas ou períodos de seca (ROSEMBACK et al., 2009).

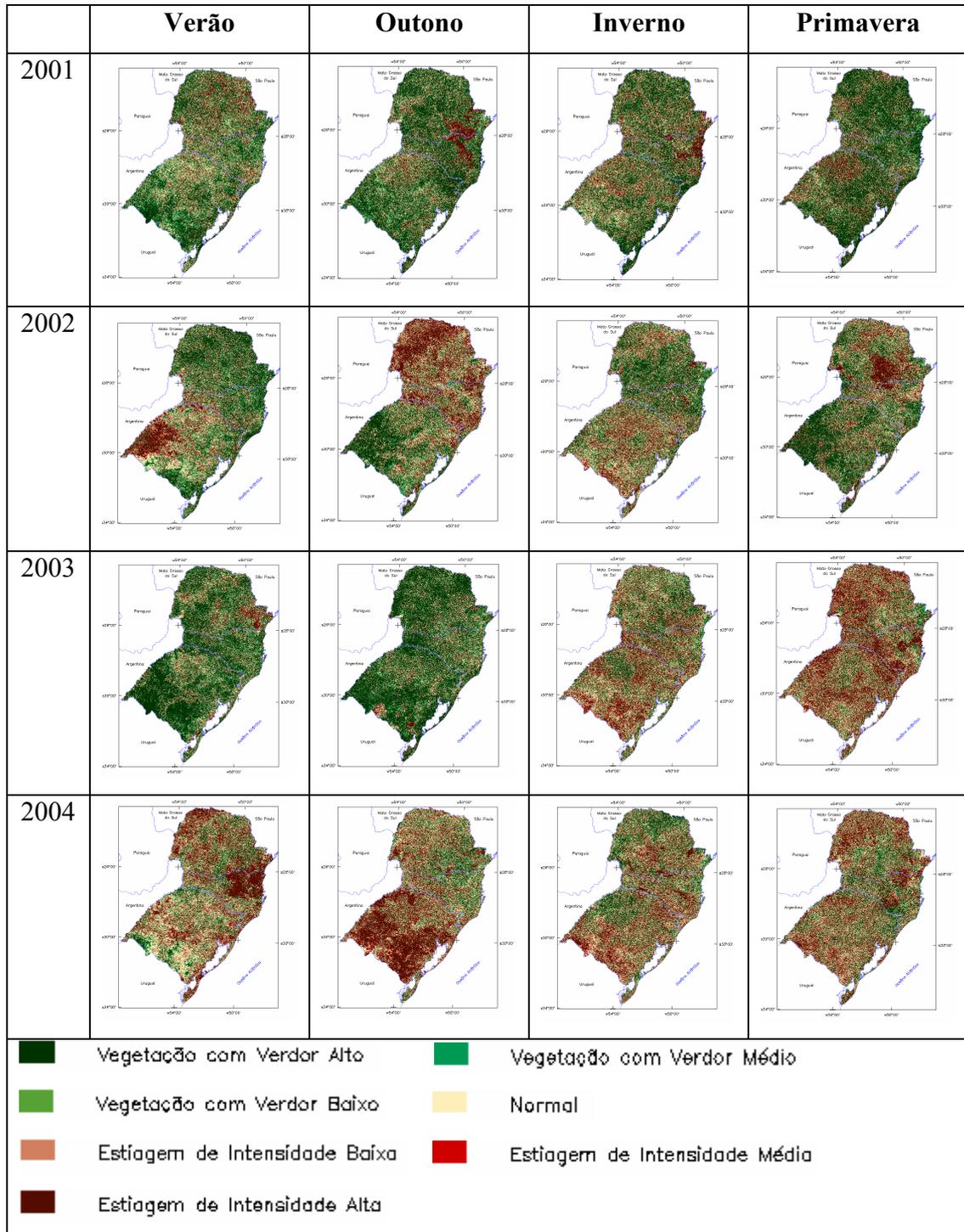


Figura 2 - Anomalias de índice de vegetação para a Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.

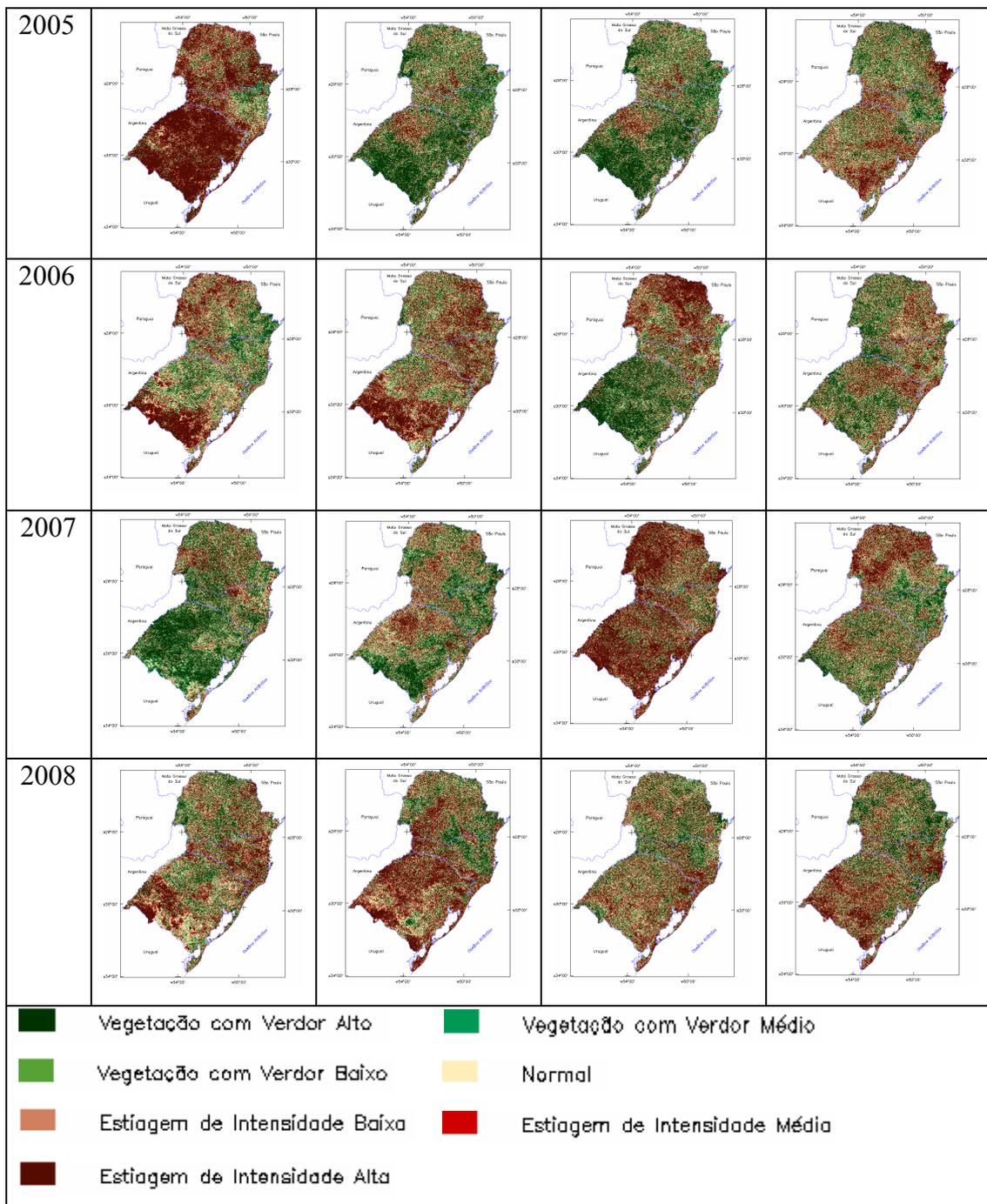


Figura 2 - Anomalias de índice de vegetação para a Região Sul do Brasil no período de 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2008.

4.3 Análise anual

4.3.1 Ano 2001

É possível notar através das cartas de anomalia de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a região Sul do Brasil no ano de 2001 que as chuvas foram bem distribuídas em praticamente todas as partes da Região o que levou a um padrão de anomalia de índice de vegetação bastante dentro do normal para quase todas as regiões e

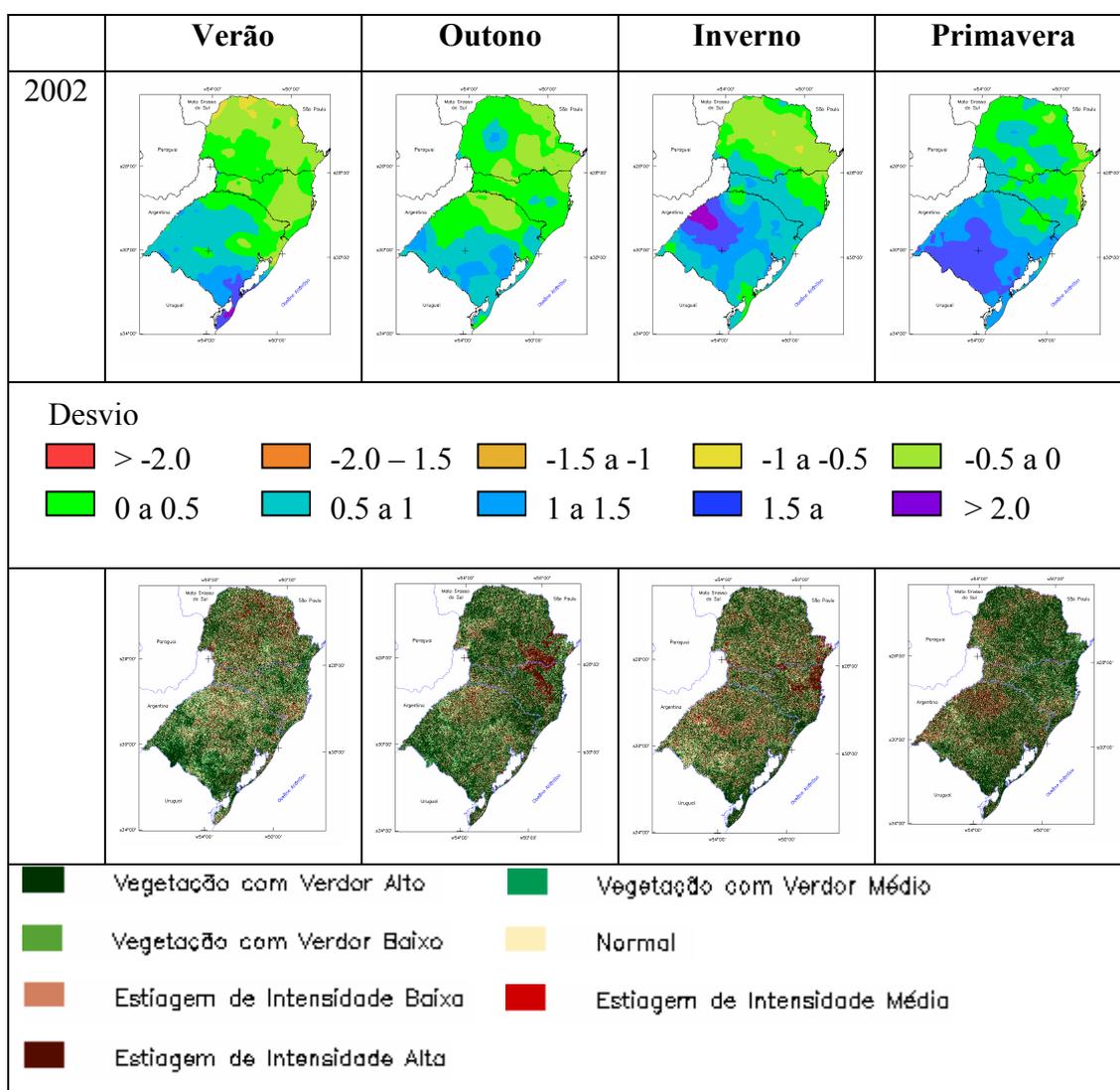


Figura 3 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2001.

muito poucos focos de estiagem, estes, possivelmente associados ao tipo de espécie vegetal destas regiões, como por exemplo, na estiagem alta verificada no outono e no inverno de 2001 no sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina.

No entanto, o ano de 2001 apresenta-se como um ano de chuvas bem distribuídas e anomalias de índice de vegetação dentro da normal, com leve oscilação para verdor médio, em praticamente todos os estados.

4.3.2 Ano 2002

No ano de 2002, observa-se um padrão de anomalia de precipitação bastante alto e acima da média para o estado do Rio Grande do Sul, sendo que o mesmo não se verifica para os estados do Paraná e de Santa Catarina. Deste modo, ao observar as anomalias de índice de vegetação, verifica-se que estas apresentam valores de estiagem alta e média principalmente nas regiões centro e norte do Paraná no período de primavera e outono, respectivamente.

No Rio Grande do Sul, há caso de estiagem alta somente na região da campanha gaúcha (sudoeste do estado) durante o período de verão, possivelmente provocada pela predominância de vegetações como gramíneas e herbáceas nesta zona do estado.

Em Santa Catarina, o padrão de precipitações é praticamente o mesmo verificado no estado do Paraná, o que faz com que as anomalias de índices de vegetação no estado de Santa Catarina estejam bastante abaixo do normal, durante o outono e a primavera de 2002.

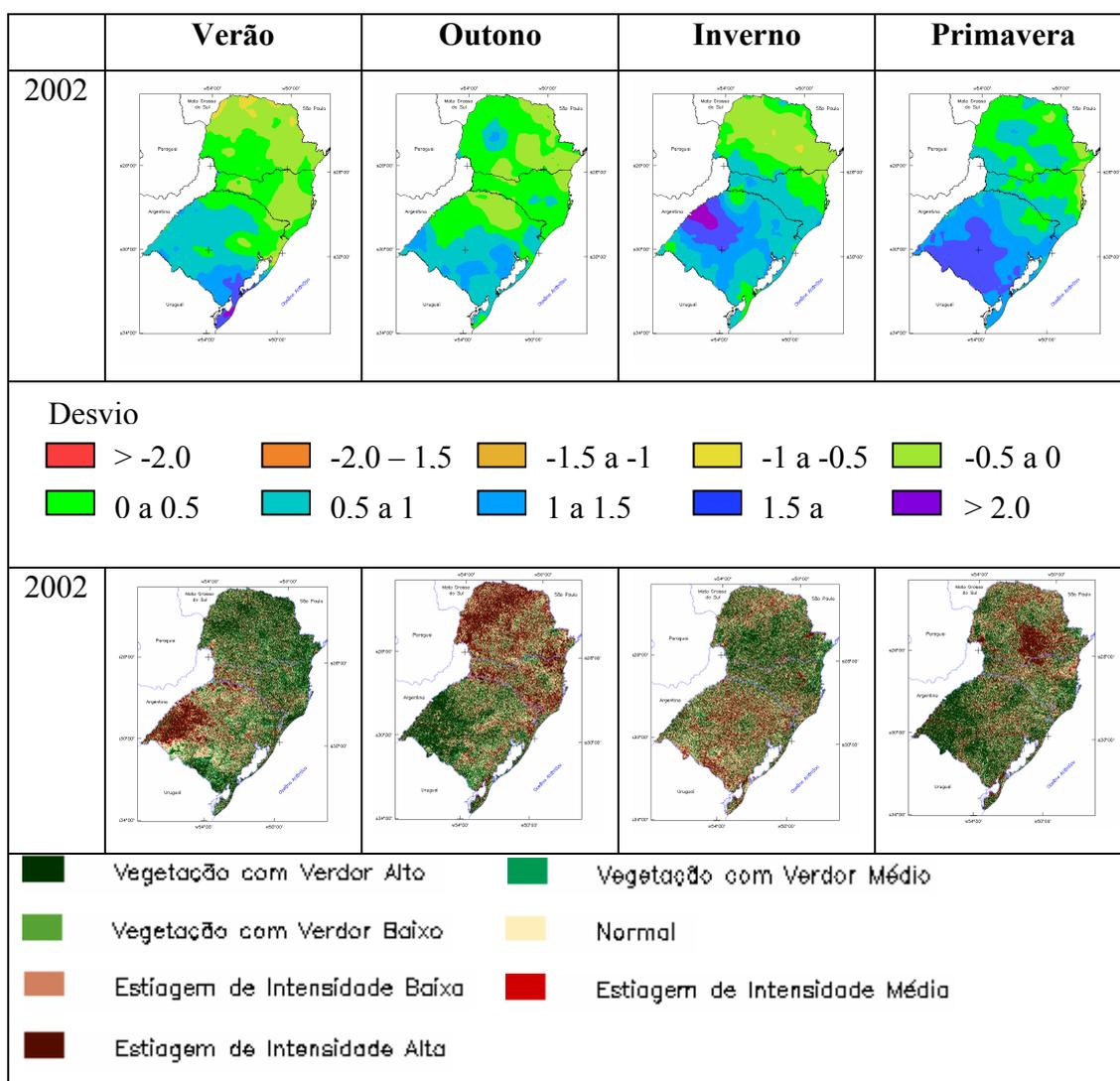


Figura 4 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2002.

4.3.3 Ano 2003

A distribuição da precipitação no ano de 2003 deu-se de maneira variada, com índices de anomalia de precipitação acima do normal durante o verão em praticamente todas as regiões dos estados, enquanto nos meses de outono e inverno verificou-se padrões de precipitação abaixo do normal.

Esta variabilidade das anomalias de precipitação para a região sul no ano de 2003, reflete-se nas anomalias de índice de vegetação que, notavelmente, passaram de anomalias de verdor alto e médio durante o verão e o outono para anomalias de estiagem média e alta durante o inverno e a primavera do mesmo ano.

O noroeste do Rio Grande do Sul e do Paraná, bem como o sudeste de Santa Catarina, foram as regiões mais afetadas pela estiagem do ano de 2003, enquanto os menores valores de anomalia de precipitação foram verificados no nordeste do Rio Grande do Sul e no Sudeste de Santa Catarina.

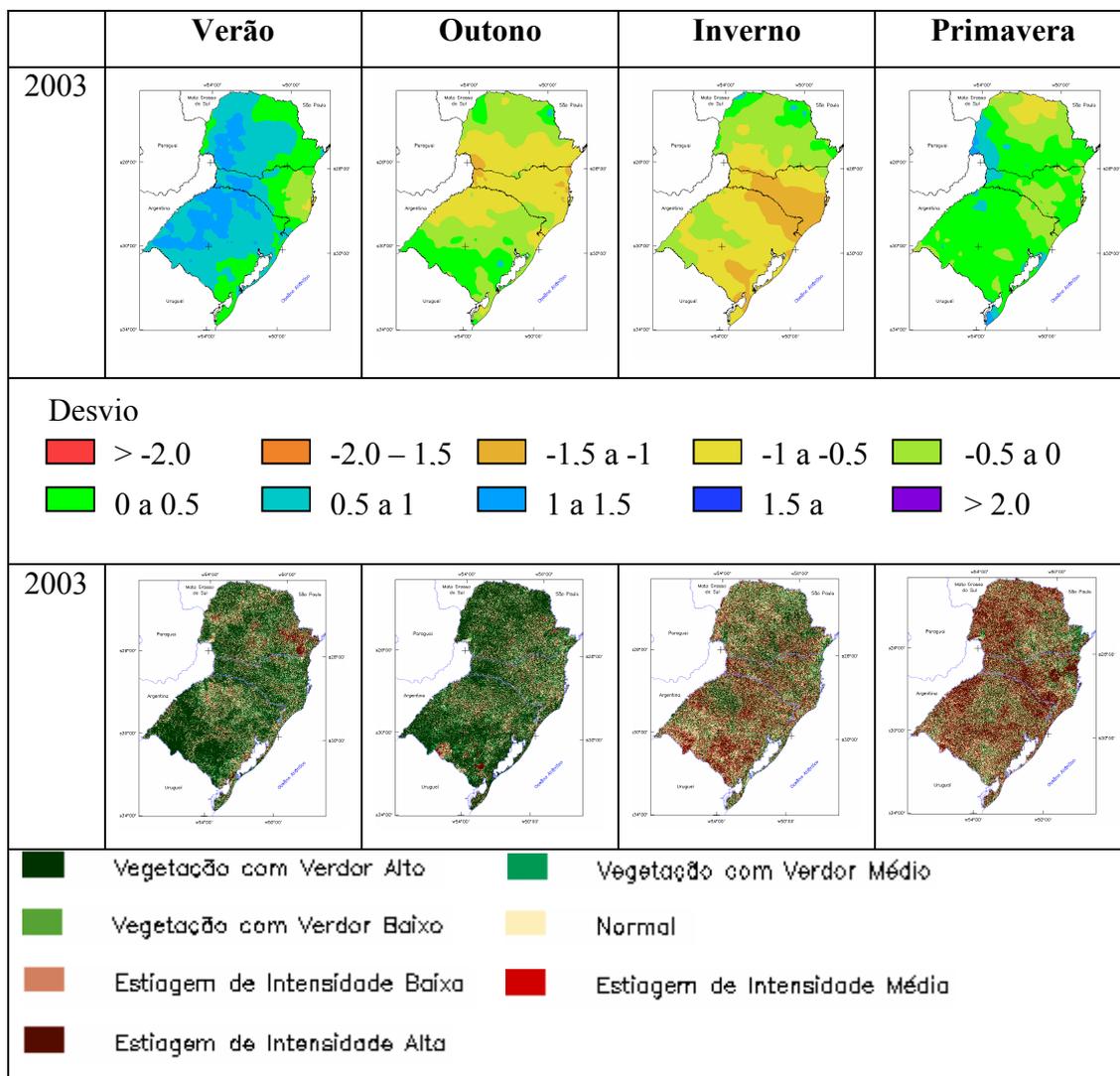


Figura 5 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2003.

4.3.4 Ano 2004

Diferentemente dos anos anteriores, o ano de 2004 apresentou anomalias de precipitação bastante abaixo do normal, principalmente para o estado do Rio Grande do Sul e em algumas regiões do Paraná.

As anomalias de índice de vegetação verificadas apresentaram fortes valores de estiagem média e alta em praticamente todo o estado do Rio Grande do Sul, noroeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina.

No período de verão, os principais focos de estiagem aconteceram no noroeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina, enquanto na maioria das outras regiões os índices de vegetação apresentavam-se praticamente normais. No entanto, praticamente todas as regiões dos estados sofriam com a estiagem forte neste ano, o que viria a se intensificar no decorrer do mesmo.

Já no período de outono, o Rio Grande do Sul, foi o estado mais atingido, com anomalias de índice de vegetação na classe de estiagem de intensidade alta em grande parte do estado. No mesmo período as demais regiões apresentavam-se com índices de vegetação praticamente normais.

Durante o período de inverno e de primavera, praticamente toda a Região Sul apresentava índices de vegetação negativos, com apenas alguns focos de índice acima do normal, o que provavelmente não sofreu influência da dinâmica climática regional.

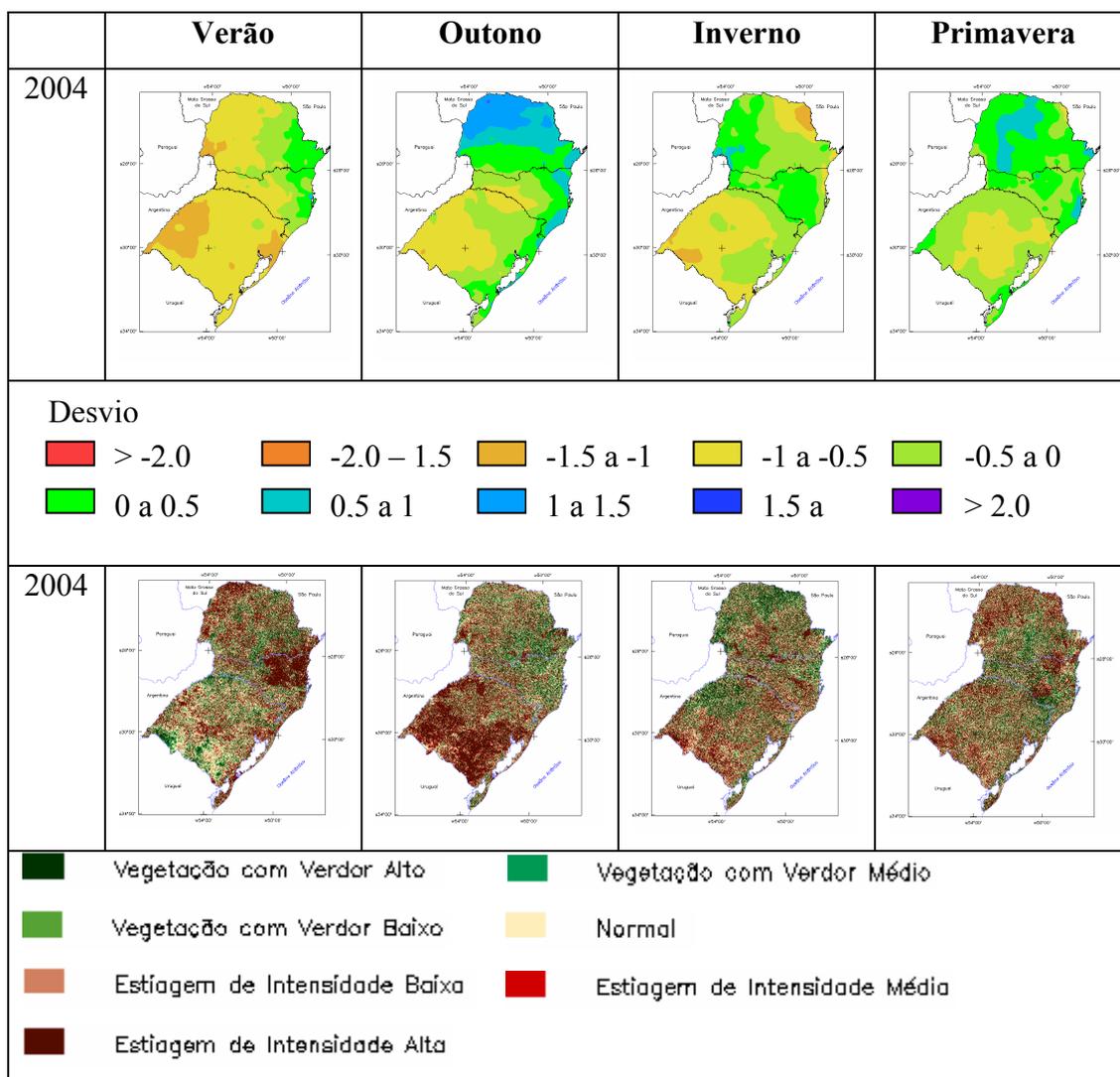


Figura 6 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2004.

4.3.5 Ano 2005

A baixa distribuição das chuvas associada as anomalias de índice de vegetação negativas durante o ano de 2004, teve reflexos em boa parte das regiões durante o ano de 2005.

A distribuição das precipitações durante o verão de 2005 apresentou índices bastante baixos principalmente no estado do Rio Grande do Sul, o que pôs em risco grande parte das culturas de cereais em diversos municípios do estado.

Devido a estes déficits hídricos causados principalmente pelos efeitos do fenômeno La Niña que encontrava-se em atuação, as anomalias de índice de vegetação para a Região Sul apresentaram valores extremamente baixos durante o verão de 2005 em praticamente toda região, com principal atenção para o Rio Grande do Sul, onde os valores predominantes encontravam-se dentro da classe de estiagem de intensidade alta, com desvio padrão < 2.

Nas demais estações do ano, houve anomalia de precipitação acima do normal na região noroeste do Rio Grande do Sul e Nordeste de Santa Catarina, e anomalia de precipitação dentro do padrão normal nas demais regiões, o que possibilitou uma rápida recuperação da vegetação em alguns dos locais mais afetados.

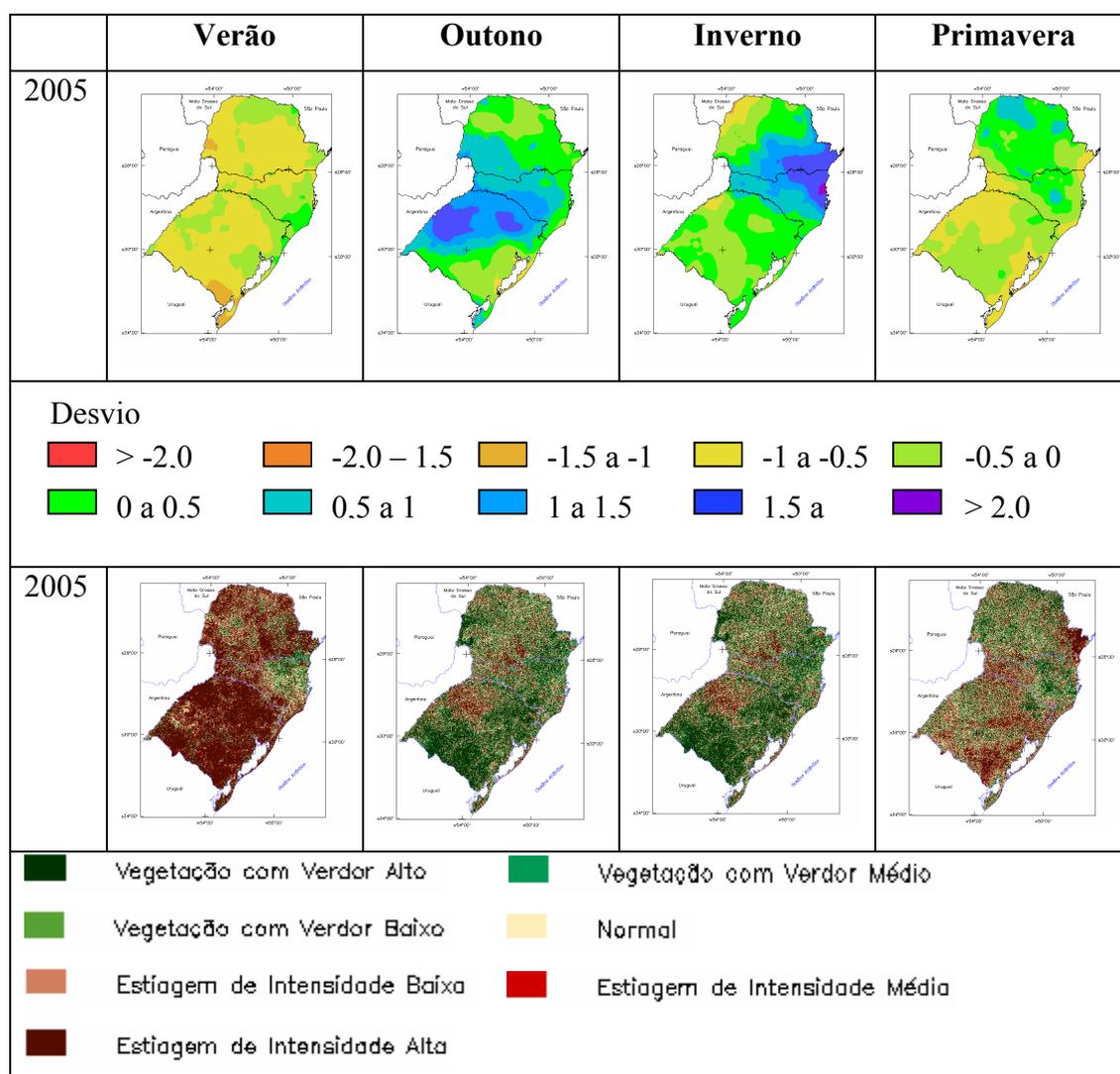


Figura 7 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2005.

4.3.6 Ano 2006

Após a rápida recuperação da vegetação no final do ano de 2005 provocada pela melhora na distribuição das chuvas na região sul, o ano de 2006 apresentou novamente valores negativos de anomalia de vegetação, bem como valores negativos de anomalia de precipitação, o que reforça ainda mais a relação existente entre as duas variáveis.

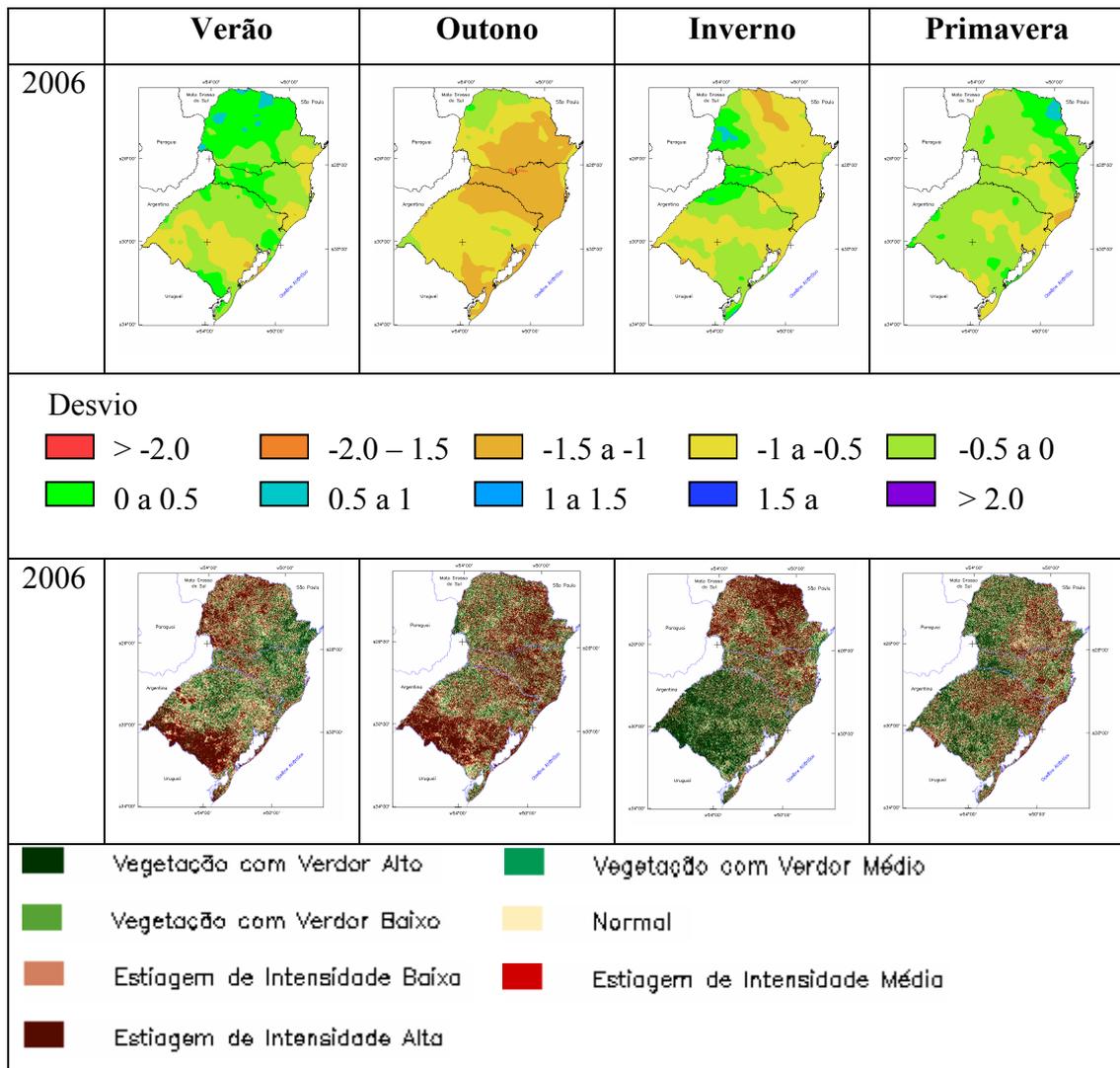


Figura 8 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2006.

Em praticamente todas as estações do ano de 2006, houve estiagem em diversos pontos da região, principalmente no sul e sudeste do Rio Grande do Sul durante o verão e o outono e no norte, nordeste e noroeste do Paraná durante o verão o outono e o inverno.

As anomalias de vegetação acima do normal foram verificadas apenas no inverno de 2006 para partes do Rio Grande do Sul e durante o verão para a região nordeste de Santa Catarina, acompanhando o comportamento gradual das anomalias de precipitação.

4.3.7 Ano 2007

Para as análises do ano de 2007, verifica-se uma melhor distribuição da precipitação em boa parte da Região Sul durante praticamente todo ano. Nota-se que as anomalias de precipitação estão dentro do normal e acima do normal em praticamente todas as regiões dos estados, com exceção do inverno de 2007 onde as precipitações foram abaixo da média no centro do Rio Grande do Sul e sudoeste do Paraná, provocando uma anomalia do índice de vegetação negativa com estiagem de intensidade alta em praticamente todo o oeste da Região Sul.

Durante o verão e o outono, no entanto, as precipitações mantiveram-se dentro e acima do padrão normal em quase toda a região, com exceção ao norte do Paraná durante o outono de 2007, onde as anomalias de precipitação encontravam-se com valores negativos. Entretanto, foi registrada estiagem de intensidade média no outono no noroeste do Rio Grande do Sul, agravada logo em seguida pela forte estiagem do inverno.

Anomalias de vegetação normais e acima do normal foram registradas durante os meses de verão e de outono de 2007 em praticamente todo o estado do Rio Grande do Sul e em partes de Santa Catarina, principalmente na região nordeste deste estado onde encontra-se a formação Serra do Mar, com grandes altitudes e alto grau de vegetação.

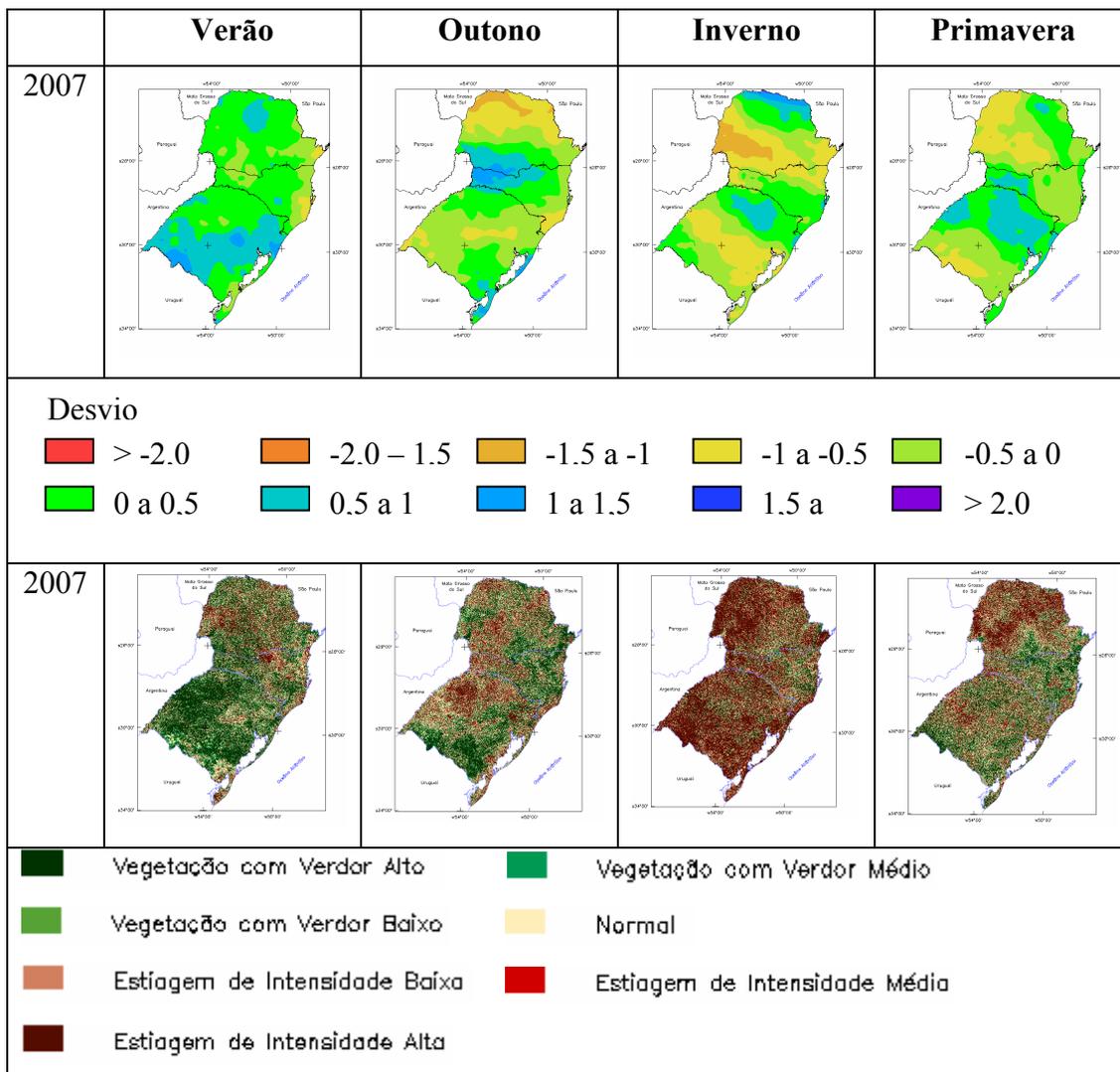


Figura 9 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2007.

4.3.8 Ano 2008

Verificou-se no ano de 2008 anomalias de precipitação abaixo do normal em praticamente todas as estações do ano com exceção do inverno de 2008 para o sul do Rio Grande do Sul e Oeste do Paraná.

Observa-se que as anomalias de índice de vegetação apresentaram diversos pontos de estiagem média e alta principalmente no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, como no verão e na primavera de 2008 no sudoeste do Rio Grande do Sul e leste de Santa Catarina.

Durante o outono de 2008, verificou-se anomalia de índice de vegetação em praticamente todo o estado do Rio grande do Sul, certificando o fato de que as anomalias de precipitação do verão e do outono de 2008 para o mesmo estado estava abaixo dos padrões normais. Tal fato tem resposta direta na anomalia de índice de vegetação.

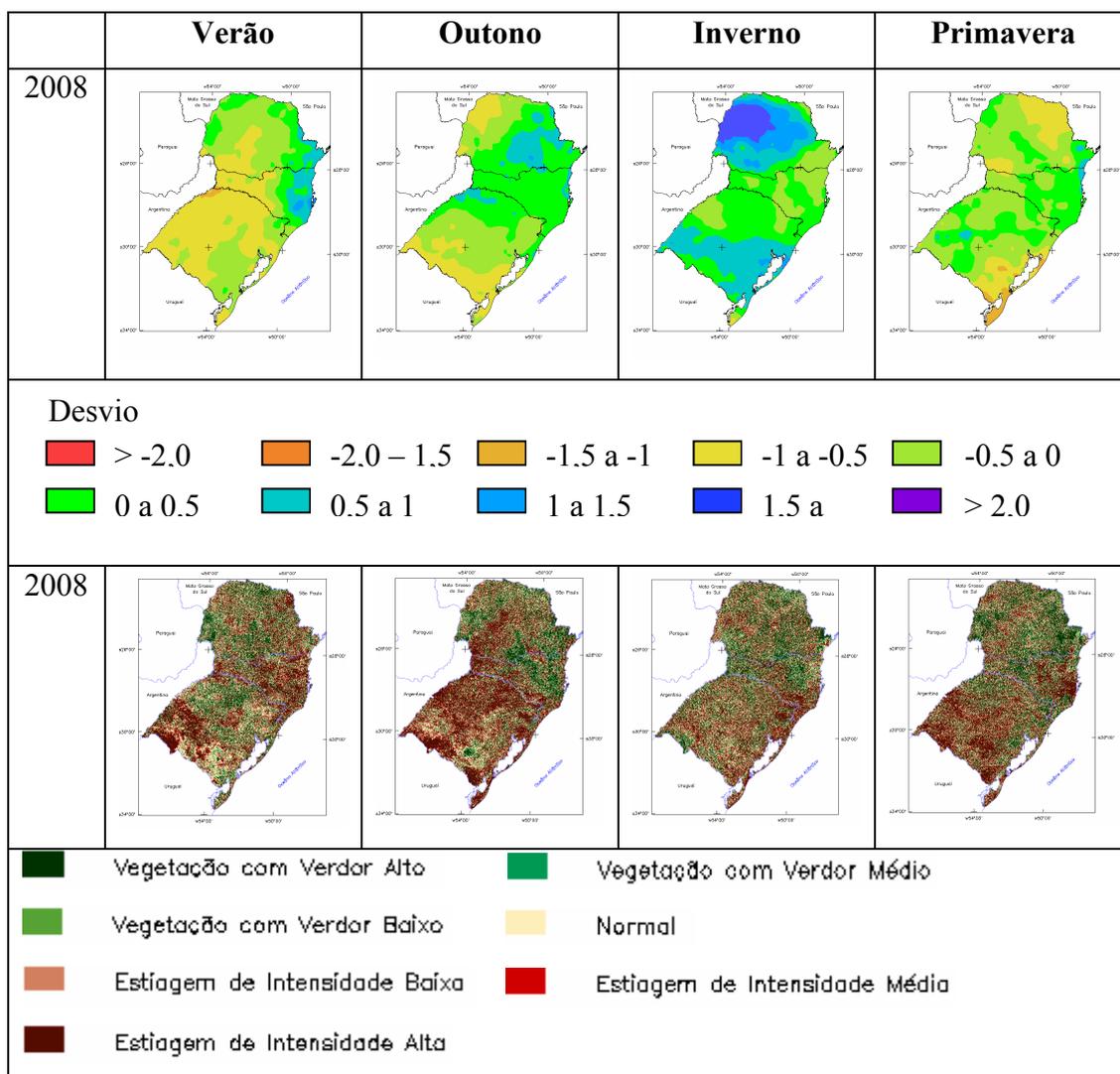


Figura 10 - Anomalias de índice de vegetação e anomalia de precipitação para a Região Sul do Brasil no ano de 2008.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados alcançados mostraram que a metodologia utilizando as imagens *TRMM* e *NDVI/MODIS* foram úteis para o monitoramento das anomalias de precipitação e anomalias de índice de vegetação para a região Sul do Brasil.

Foi possível a obtenção das imagens de anomalia de índice de vegetação *NDVI/MODIS* positivas e negativas para cada estação do ano no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2008, bem como as imagens de anomalia de precipitação do *TRMM*. Ambas foram obtidas a cada 16 dias, devido a resolução temporal das composições *NDVI/MODIS*, o que possibilitou um monitoramento bastante contínuo dos episódios de estiagem possibilitando a realização de prevenções.

O uso dos softwares *SPRING* e *MODIS* Reprojection Tool, no processamento das imagens mostrou-se bastante eficaz e permitiu um bom desenvolvimento das perspectivas entre as imagens de anomalia de índice de vegetação e anomalia de precipitação.

Os estados mais afetados pelos períodos de estiagem foram Rio Grande do Sul e Paraná, sendo que foram as regiões noroeste do rio grande do sul e oeste do Paraná as mais afetadas por episódios de estiagem de intensidade alta.

A maioria dos eventos de estiagem aconteceram no verão e no inverno para os estados do Rio Grande do Sul e do Paraná, sendo que em Santa Catarina, estes eventos ocorreram mais durante o verão e o outono e a primavera foi a estação com menos episódios de estiagem para toda região.

Verificou-se, também que o verão de 2005 foi o que teve a maior anomalia negativa de vegetação do período, com estiagem de alta intensidade em praticamente todas as regiões dos três estados da Região Sul.

As anomalias de precipitação tiveram um comportamento semelhante aos das anomalias de índice de vegetação, sendo que a anomalia de índice de vegetação apresentou atraso em relação ao excesso ou a falta de precipitação registrada nas cartas de anomalia de precipitação. Esse atraso se deu em função de a planta não responder ao déficit ou ao excesso hídrico de maneira imediata.

Por fim, a presente pesquisa demonstrou ser perfeitamente coerente e possibilitou a verificação dos dados de anomalia de precipitação e anomalia de índice de vegetação de maneira integrada, facilitando o entendimento do comportamento destas respectivas variáveis.

Desta forma, este trabalho busca auxiliar no monitoramento e na prevenção de desastres naturais, tais como a estiagem, a fim de mitigar e evitar os danos as populações destas áreas.

Devido ao período analisado ter sido de oito anos, não se pode inferir se houve, há ou está havendo um aumento ou uma diminuição destes eventos de estiagem na região Sul do Brasil, pois para isso seriam necessárias uma série de análise de pelo menos 30 anos. No entanto, busca-se incentivar para que mais trabalhos como estes sejam executados, a fim de possibilitar o entendimento do comportamento deste tipo de evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. *et al.* **Sensor Modis: uma abordagem geral.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

ANGELIS, C. F. Análise dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrador de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos - PRECIBRA. Projeto de Pesquisa. CPTEC-INPE, 2005.

BLASCHKE T. & KUX H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CONTI, G. N.: **Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto:** Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, 2002.

JOBARD, I. Status of satellite retrieval of rainfall at different scales using multisource data. MEGHA-TROPIQUES 2nd SCIENTIFIC WORKSHOP, 2001, Paris, França.

KUMMEROW, C.; BARNES, W.; KOZU, T.: The Tropical Rainfall Measuring Mission. NASA, 1998.

LIN, M. L.; CAO, Y.; JUAN, C. H.; CHEN, C. W.; HSUEH, I. C.; WANG, Q. B.; LEE, Y. T. Monitoring Drought Dynamics in the Ejin Oasis using Drought Indices from MODIS Data. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2008. IGARSS 2008. Boston, Massachusetts, U.S.A. *Proceedings...* IEEE International, v. 4, p. IV-834 – IV-837, July 2008b.

LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. A. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. **International Journal of Climatology**. Vol. 14, no. 3, p. 343 – 354, 1994.

LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 4º ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

MAIDMENT, D.R. Handbook of hydrology. New York. **McGraw-Hill**, 1ª edição, 1993, 1424 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) Disponível em: <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> . Acesso em julho de 2009.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.

ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; CONFORTE, J. C. Análise de ondaletas aplicadas a dados multitemporais de NDVI/MODIS. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 34, n. 3, p. 559-575, set./dez. 2009.

SOUSA JÚNIOR, M. A.; PARDI LACRUZ, M. S. 2006. Monitoramento de desastres naturais utilizando imagens *MODIS* - estudo de caso: Pantanal. *In*: 1º Simpósio de

SOUSA JUNIOR, M. A.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Monitoramento de estiagem na Região Sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009. São José dos Campos: INPE, 2010. 134 p. (INPE-16700-RPQ/852). publicado em 10-05-2010. Disponível em:**

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.07.16.56>>. Acesso em: 30 jun. 2010.

TENG, W. L. AVHRR Monitoring of Vegetation Index Crops during the 1988 Drought. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, n.8, p. 1143-1146, 1990.

TRMM (Tropical Rainfall Mission Mission). National Aeronautics and Space Administration (NASA) Mission Overview. Disponível em <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em outubro de 2009.