

## OCORRÊNCIAS DE ÍNDICES DE ANOMALIA DE CHUVA NEGATIVOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

## OCCURENCES OF NEGATIVE RAINFALL ANOMALY INDEX IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

## OCURRENCIAS DE ÍNDICES DE ANOMALÍA DE LLUVIA NEGATIVOS EN EL ESTADO DE RÍO GRANDE DEL SUR

Joceli Augusto Gross

Doutorando em Geografia - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, nº 1000 - Sala 2052  
- CRS/INPE, Camobi, Santa Maria, RS - 97105-900  
gross\_joceli\_augusto@hotmail.com

Roberto Cassol

Doutor em Geografia - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, nº 1000 - Sala 2052 -  
CRS/INPE, Camobi, Santa Maria, RS - 97105-900 rtocassol@gmail.com

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação espacial dos índices de anomalia de chuva negativos do Rio Grande do Sul no período de 1991 a 2012, considerando a frequência em meses de ocorrência, como subsídio para os estudos referentes aos eventos de estiagem nos municípios e setores regionais do Estado. Foram adquiridas séries históricas de 22 anos de dados de precipitação pluviométrica de 57 estações meteorológicas para a realização do cálculo do Índice de Anomalia de Chuva mensal, considerando as médias mensais das precipitações locais. Os dados foram interpolados por krigagem sobre o território do Estado e cruzados com a malha municipal do mesmo, o que possibilitou a determinação da frequência absoluta em meses de ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos por município e conseqüentemente nos setores regionais do Rio Grande do Sul para todo período de análise. Os resultados mostraram que a frequência de índices de anomalia de chuva negativos, considerando o número de meses de ocorrência foi maior no setor Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, principalmente nas estações do verão, outono e inverno e na última década do período de análise.

**Palavras chave:** Estiagem; Índice de Anomalia de Chuva; Krigagem; Rio Grande do Sul.

### ABSTRACT

The present study aims a spatial averaging of the negative rainfall anomaly index in Rio Grande do Sul in the period from 1991 to 2012, considering frequency in months of occurrence as subsidy to studies related to drought events in municipalities and regional sectors of the State. The historical series of 22 years of rain precipitation data were acquired in 57 meteorological stations to perform the monthly calculation of rain anomaly index considering average local precipitations. The data were interpolated by kriging on the territory of the State and they were crossed with its municipal mesh, which enabled the determination of the absolute frequency in months of occurrence of negative rainfalls anomaly index by city and consequently in regional sectors of Rio Grande do Sul of the entire period of analysis. The results showed that the frequency of negative rainfall anomaly index, considering the number of months of occurrence, was the highest in southwest of Rio Grande do Sul, mainly in the last decade of the period analyzed.

**Keywords:** Drought; Rainfall Anomaly Index, Kriging, Rio Grande do Sul

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la evaluación espacial de los índices de anomalía de lluvia negativos del Rio Grande del Sur en el periodo de 1991 a 2012, considerando la frecuencia en meses de ocurrencia, como base para los estudios referentes a los eventos de estiaje en los municipios y sectores regionales del Estado. Fueron adquiridas series históricas de 22 años de datos de precipitación pluviométrica de 57 estaciones meteorológicas para la realización del cálculo del Índice de Anomalía de Lluvia mensual, considerando las medias mensuales de precipitaciones locales. Los datos fueron interpolados por krigaje sobre el territorio del estado y mezclados con la malla municipal del mismo, lo que posibilitó la determinación de la frecuencia absoluta en meses de ocurrencia de índices de anomalía de lluvia negativos por municipio y consecuentemente en los sectores regionales del Rio Grande del Sur para todo período de análisis. Los resultados mostraron que la frecuencia de índices de anomalía de lluvia negativos, considerando el número de ocurrencias fue mayor en el Sector Sudoeste del Estado de Rio Grande del Sur, principalmente en la última década del periodo de análisis.

**Palabras-clave:** Estiaje; Índice de anomalía de Lluvia; Krigaje; Rio Grande del Sur

## 1. INTRODUÇÃO

As observações e monitoramento da variabilidade espaço/temporal das precipitações é de fundamental importância, tendo em vista, os danos e prejuízos que a falta de chuvas pode ocasionar a agricultura. De acordo com Lazzari (2005) cerca de 700 mil hectares plantados com grãos foram perdidos na safra de 2004/2005 no Estado do Rio Grande do Sul em função da falta de chuvas. Berlato e Cordeiro (2005) estudaram as causas das perdas nas lavouras das principais culturas agrícolas gaúchas no período de 1992 a 1997 e verificaram que para a soja e o milho em 96,6% e 88,4% dos casos, respectivamente, a estiagem foi a responsável. Os autores destacaram que no período estudado não houve grandes estiagens, sendo a mais significativa a dos anos que remetem a safra 1995/1996 originada por evento fraco do *La Niña*.

A estiagem é um fenômeno natural, caracterizado pela escassez de água associada a períodos extremos de déficit de precipitação mais ou menos longos, que repercutem negativamente sobre as atividades socioeconômicas e ecossistemas naturais (SILVEIRA et al., 2006). A forma crônica da estiagem é denominada seca, considerada atualmente um dos desastres naturais de maior ocorrência e impacto no mundo. Este fenômeno ocorre por longos períodos de tempo e afeta grandes extensões territoriais. A estiagem pode ser caracterizada como um breve período de seca e classificada em três principais tipos: a seca climatológica, quando a pluviosidade é baixa em relação as normais de determinada área; a seca hidrológica, quando ocorre déficit de água em reservatórios e rios e; a seca edáfica, quando constata-se um déficit de umidade do solo (CAMPOS; NETO; MARTINS, 1997).

Neste sentido, avaliando-se as precipitações pluviométricas em relação as suas médias históricas, as ocorrências de estiagem ou secas climatológicas, suas intensidades frequências e períodos de duração podem ser observadas, tanto espacialmente como temporalmente. Tsakiris et al. (2007) afirmam que vários métodos têm sido propostos para a identificação, quantificação e monitoramento das secas, sendo os mais conhecidos, os índices de seca. Os índices de seca fornecem representações espaciais e temporais das secas e, portanto, colocam as condições atuais em perspectiva histórica. Um destes índices é o Rainfall Anomaly Index (RAI) ou Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy (1965). Este índice, tem como principal característica, necessitar apenas de dados de precipitação para ser calculado, e visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação.

Gross (2015) estudou os registros de decretos de situação de emergência por estiagem nos municípios do Estado do Rio Grande do Sul, em função dos períodos de duração das estiagens em meses consecutivos de ocorrência, de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) no período de 1991 a 2012. Neste estudo, o autor observou que cerca de 70% dos decretos de situação de emergência por estiagem foram efetuados após dois e três meses consecutivos de ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos. Para os demais

decretos, os períodos variaram de quatro a dez meses consecutivos. Destaca-se que as intensidades dos eventos de estiagem observados foram em sua maioria de suaves a moderadas.

Utilizando séries históricas de 30 anos de dados de precipitação (1977 a 2006) de 43 estações meteorológicas, Marcuzzo; Melo e Rocha (2011) analisaram a variação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) no Estado do Tocantins. Calculando o IAC mensal, encontraram uma grande variação nos índices interanuais precipitados em cada mês, com um total de 13 anos úmidos e 17 secos, e concluíram por uma tendência de diminuição das chuvas no Estado. Os autores salientaram que o IAC pode ser utilizado para o acompanhamento interanual da precipitação pluviométrica do Estado do Tocantins, e determinar as mudanças em seu regime de chuvas.

Sanches; Verdum e Fisch (2014) utilizaram o IAC para analisar a variabilidade das precipitações anuais em postos pluviométricos no município de Alegrete - RS no período de 1928 a 2009, comparando os índices calculados com as ocorrências do El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Neste estudo, o IAC correlacionou-se de forma significativa com as ocorrências da ODP, tanto na fase quente como na fase fria. No entanto, com relação ao ENOS as correlações mais significativas foram verificadas para com os dados relacionados a fase quente do fenômeno, o El Niño. Estudo similar foi realizado por Chechi e Sanches (2013) que utilizaram o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para avaliar a influência do El Niño Oscilação Sul (ENOS) em dados de precipitação coletados nos municípios de Erechim, Quatro Irmãos e Erebangó no Alto Uruguai gaúcho. Neste estudo foi observado que o IAC teve maior correspondência com a fase quente ou positiva do ENOS, o El Niño.

De acordo com Repelli et al. (1998) o IAC é uma potencial ferramenta para aplicações de monitoramento de eventos extremos de precipitação, tendo em vista a facilidade de acesso aos dados de precipitação em tempo real. O autor salienta que este índice parece ser apropriado para a utilização em regiões semiáridas e/ou tropicais, especialmente para o Nordeste do Brasil. Neste sentido, Marcuzzo; Melo e Rocha (2011) observaram a necessidade de mais estudos sobre a precipitação pluviométrica utilizando o IAC nos demais Estados e Regiões do Brasil.

Frente ao exposto o presente trabalho teve como objetivo a avaliação espacial dos índices de anomalia de chuva negativos do Rio Grande do Sul no período de 1991 a 2012, considerando a frequência em meses de ocorrência, como subsídio para os estudos referentes aos eventos de estiagem nos municípios e setores regionais do Estado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Características gerais da área de estudo

O Rio Grande do Sul está localizado no Sul do Brasil, mantendo fronteiras a Oeste com a Argentina, ao Sul com o Uruguai, ao Norte com o Estado de Santa Catarina e a Leste é banhado pelo Oceano Atlântico (Figura 1). Esta é a única Região do Brasil situada na zona extratropical conferindo à mesma, características climáticas diferenciadas das demais regiões do país. A extensão territorial do Estado é de 268.781,896 km<sup>2</sup>, dividida em 496 municípios que abrigam 10.693.929 habitantes (IBGE, 2010).

Em se tratando de América do Sul, o Estado está situado na Região Sudeste, que é formada pelo Sul do Brasil, Nordeste da Argentina, Uruguai e Paraguai. Esta região recebe forte influência do fenômeno Oscilação Sul (ENOS), ocasionando períodos de baixa pluviosidade em sua fase fria, o La Niña, e altos índices pluviométricos em sua fase quente, o El Niño (BERLATO; FONTANA, 2004).

O clima do Rio Grande do Sul é mesotérmico úmido (Cfa e Cfb) pela classificação de Köppen-Geiger. As temperaturas variam sazonalmente, o que confere ao Estado verões quentes e invernos rigorosos, com a formação de geada e eventuais ocorrências de neve. As médias de temperaturas variam de 15°C à 18°C com mínimas de -10°C e máximas de 40°C. A distribuição anual das precipitações pluviométricas é relativamente equilibrada, no entanto, com relação aos volumes precipitados ocorrem diferenças entre o Sul e o Norte do

Estado. No Sul, as precipitações oscilam entre 1.299 e 1500 mm e, ao Norte entre 1.500 e 1800 mm, com maior intensidade das chuvas na porção Nordeste, junto a encosta do planalto (RIO GRANDE DO SUL/SCP, 2013).

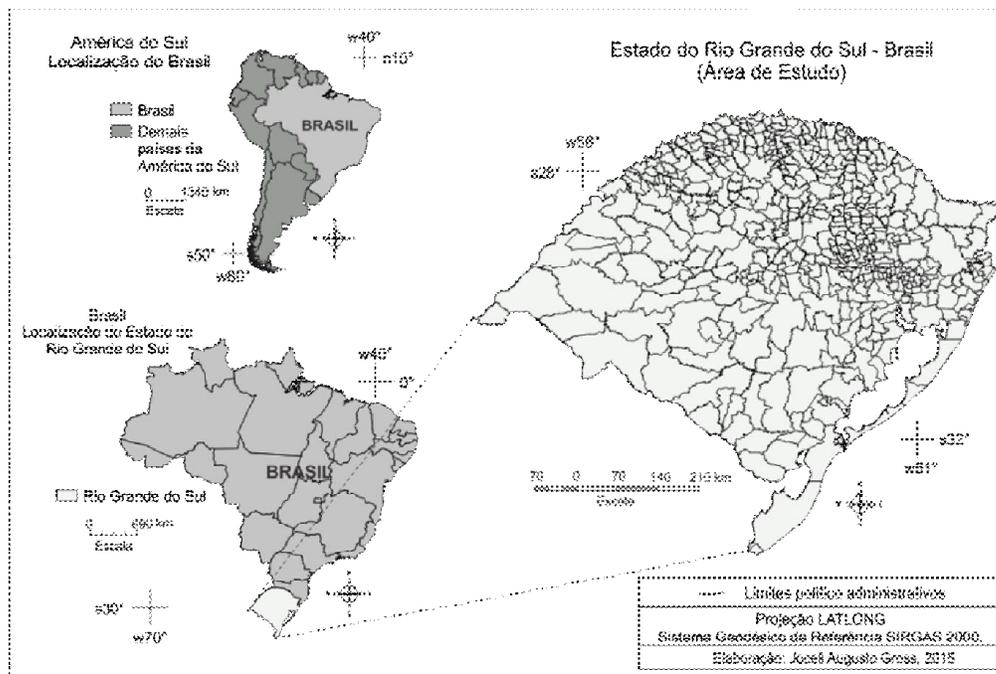


Figura 1: Localização da área de estudo, Rio Grande do Sul.

## 2.2 Metodologia

O estudo foi conduzido nos laboratórios de Geotecnologias LABGEOTEC e de Geografia e Cartografia junto ao Centro Regional Sul do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE), localizado na Universidade Federal de Santa Maria. A área de estudo (Figura 1) foi o Estado do Rio Grande do Sul, justificada pelos significativos danos e prejuízos em decorrência de estiagens registrados pela Defesa Civil - RS.

Para a pesquisa foram utilizadas séries históricas de 22 anos de dados de precipitação pluviométrica (1991 a 2012) de 57 estações meteorológicas para a realização do cálculo do Índice de Anomalia de Chuva mensal, e a determinação dos períodos secos ou de anomalias negativas de precipitação, considerando as médias mensais das precipitações locais.

A aquisição dos dados de precipitação foi na página (ou site) *HidroWeb* da Agência Nacional das Águas (ANA) <<http://hidroweb.ana.gov.br>> e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Das estações ou pontos amostrais definidos, 44 localizam-se no Estado Rio Grande do Sul e 13 no Estado de Santa Catarina conforme Figura 2. Os dados das estações do Estado de Santa Catarina foram considerados nas avaliações para cobrir da melhor maneira possível as áreas do Rio Grande do Sul próximas aos limites entre os dois Estados, principalmente no litoral Norte e na área situada entre os pontos que localizam os municípios de Lagoa Vermelha-RS, Caxias do Sul-RS e Timbé do Sul-SC, o que não foi possível nas áreas mais ao Sul do Estado, devido a falta de dados ou falhas nas séries históricas dos mesmos. A determinação destes pontos amostrais no Estado de Santa Catarina foi baseada na análise de agrupamento pluviométrico realizada por Khan, Kim e Saraiva (1998), que determinaram a área montanhosa na fronteira entre os dois Estados, como uma Região com precipitações similares, de acordo com os dados

observados em estações meteorológicas daquela área, que compreende todo o Norte e Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul estendendo-se em direção Norte sobre parte do Estado de Santa Catarina, ou seja, toda fronteira entre os dois Estados.

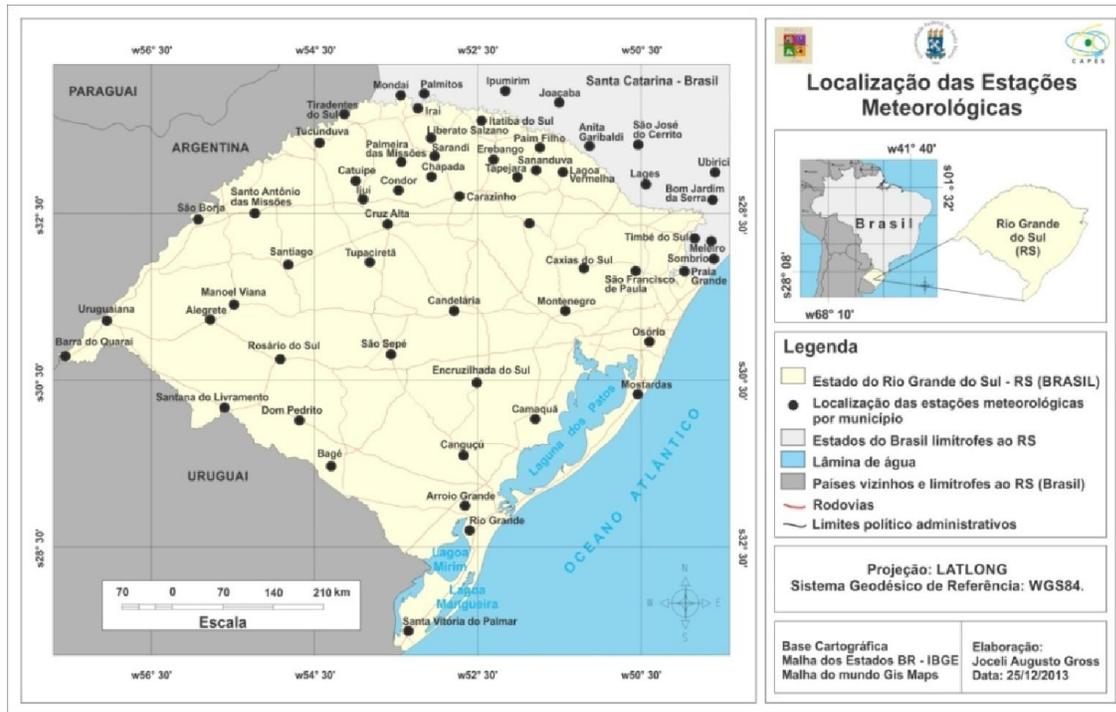


Figura 2: Localização das estações meteorológicas, RGS e SC

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) mensal é calculado de acordo com as equações 1 e 2 desenvolvidas por Rooy (1965). Para anomalias de precipitação positivas, o parâmetro  $M$  é a média dos dez valores mais elevados de precipitação do período estudado; para as anomalias negativas, o parâmetro  $X$  representa os dez valores mais baixos de precipitação do mesmo período.

$$IAC = 3[(N - \bar{N})/(M - \bar{N})] \text{ Para anomalias positivas} \quad (1)$$

$$IAC = -3[(N - \bar{N})/(X - \bar{N})] \text{ Para anomalias negativas} \quad (2)$$

Onde:

$N$  = precipitação (mm) observada atual (do mês que será calculado o IAC);

$\bar{N}$  = precipitação média da série histórica (mm);

$M$  = média dos dez valores mensais mais altos;

$X$  = média dos dez valores mensais mais baixos.

Os valores do índice são ordenados em um esquema de classificação de nove categorias (Tabela 1) variando de extremamente úmido a extremamente seco (FERNANDES et al. 2009).

**Tabela 1** — Classificações das intensidades das anomalias de precipitação de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

IAC	Classificação
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
0,50 a 1,99	Umidade baixa
-0,49 a 0,49	Normal
-1,99 a -0,5	Seca suave
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca alta
$\leq -4,00$	Seca extremamente alta

Fonte: Adaptado de Fernandes et. al. 2009.

Os dados do Índice de Anomalia de Chuva mensal, referentes a cada estação meteorológica foram interpolados por *Krigagem*, obtendo-se os valores do referido índice para os pontos não amostrados e a distribuição das anomalias negativas de precipitação mensal no território do Rio Grande do Sul no período de 1991 a 2012, totalizando 264 cartogramas ou imagens anomalia de precipitação. Estes dados foram cruzados com a malha municipal do Estado, o que possibilitou a verificação da frequência absoluta em meses de ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos por município e conseqüentemente para os setores regionais, em todo período de análise. De forma complementar, os dados gerados com o cálculo do índice de Anomalia de Chuva (IAC) também foram avaliados por estação do ano e de 1991 a 2001 e de 2002 a 2012, cobrindo pouco mais de duas décadas, para observar as diferenças nestes dois períodos. Ressalta-se que para esta última avaliação foram utilizados os dados do IAC calculados para todo o período de 1991 a 2012, ou seja, não foram realizados novos cálculos para os dois períodos especificados.

Considerando todos os 264 cartogramas gerados, os principais dados utilizados para a *krigagem* foram: ângulo de anisotropia de 0°; o modelo utilizado foi o linear; o efeito pepita variou de 0,0102 à 1,89 perfazendo uma média de 0,386.

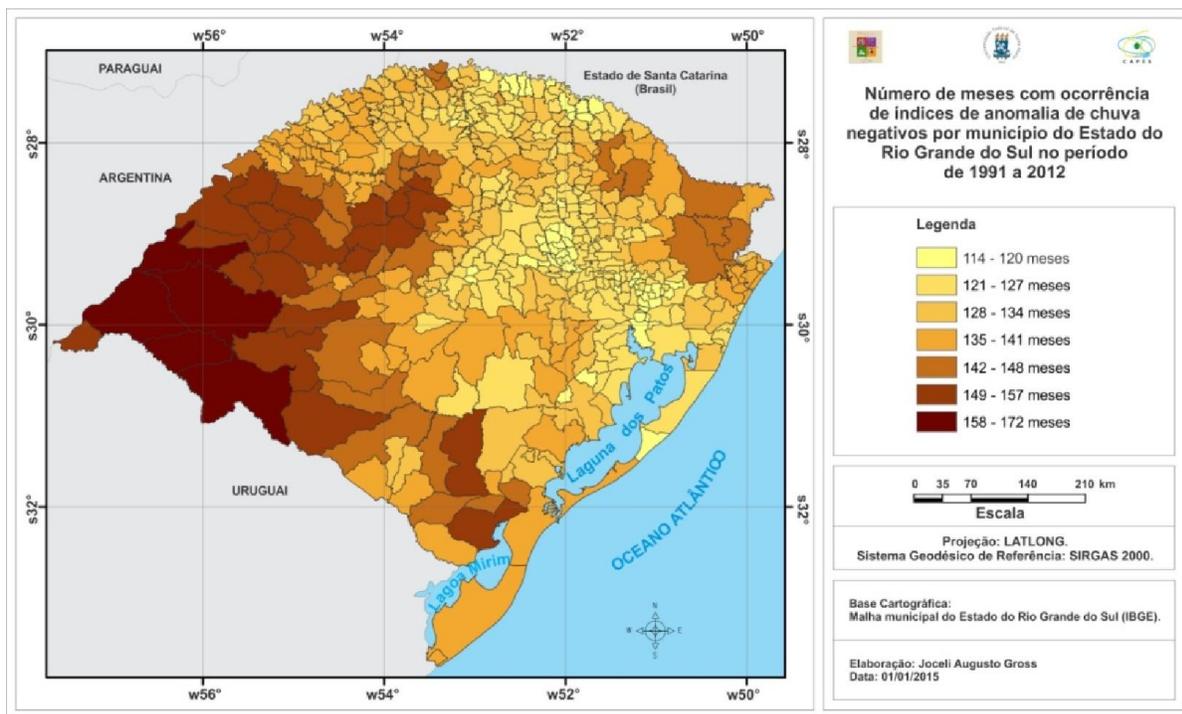
Para identificação dos meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos, considerou-se todas classificações a partir de seca suave até extremamente alta (Tabela 1), sem discriminação das classificações de seca no decorrer das avaliações. No cruzamento das espacializações dos dados do IAC, interpolados por *krigagem* sobre a área territorial do Estado, com a malha municipal do mesmo foram considerados afetados pelas estiagens, apenas os municípios em que suas respectivas áreas inseriram-se totalmente em uma ou mais classificações referentes aos índices de anomalia de chuva negativos. As interpolações e cruzamentos dos dados foram realizadas no software Spring 4.3.3 (SPRING, 1996).

Destaca-se, que o menor período analisado no presente trabalho foi de um mês, de maneira que para as avaliações referentes a frequência de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos, por estação do ano foram considerados os meses de janeiro, fevereiro e março como verão, abril, maio e junho como outono, julho, agosto e setembro como inverno e outubro, novembro e dezembro como a estação da primavera.

Para a discussão dos resultados também foram adquiridos: Dados de decretos de situação de emergência por estiagem, junto ao site da Defesa Civil - RS <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>>; Dados relacionados a fenômenos que interferem na precipitação pluviométrica do Estado como o El Niño Oscilação Sul adquiridos junto ao site <<http://www.noaa.gov/>> da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015); Informações espaciais, como as Regiões Fisiográficas do Rio Grande do Sul (PACHECO, 1956), observadas em outros estudos e relacionadas as ocorrências de estiagem no Estado do Rio Grande do Sul.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do cruzamento da malha municipal do Rio Grande do Sul com os dados do Índice de Anomalia de Chuva mensal, observou-se que o setor Sudoeste do Estado foi afetado significativamente por índices negativos (Figura 3). Em determinados municípios localizados no Sudoeste, as ocorrências de anomalias negativas de precipitação foram verificadas em mais de 60% dos 264 meses avaliados, sendo estes os municípios de Alegrete, Itaqui, Quaraí, Santana do Livramento e Uruguai, com um máximo de 172 meses de ocorrências no município de Alegrete. Resultado similar foi observado por Kulman et al. (2014) em estudo sobre as ocorrências de estiagem no Estado utilizando dados de decretos de situação de emergência no período de 1981 a 2011.



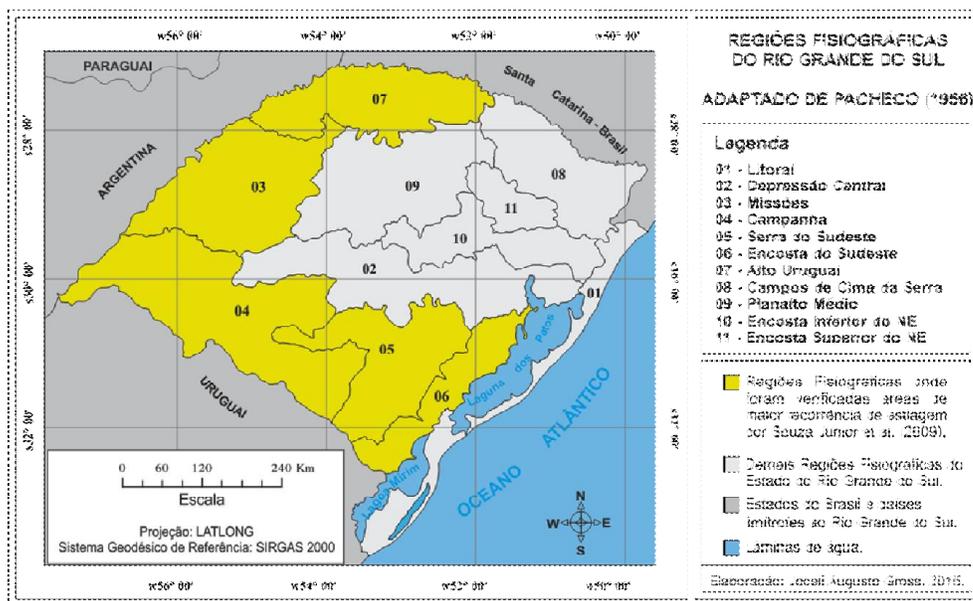
**Figura 3:** Número de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos por município do Estado do Rio Grande do Sul no período de 1991 a 2012. Fonte dos dados precipitação para o cálculo do IAC: Agência Nacional das Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Sanches; Verdum e Fisch (2013) estudaram a tendência de chuvas de longo prazo, aplicando o teste de Mann-Kandall a séries históricas de dados de precipitação (1928 a 2009) de estações meteorológicas localizadas no município de Alegrete-RS, no Sudoeste do Rio Grande do Sul, e constataram uma redução de 222,2 mm na análise da tendência linear dos totais anuais de precipitação para os 82 anos de análise. Tendências negativas também foram observadas pelos autores nos totais mensais normalizados para a maioria dos meses do ano, com exceção de fevereiro e novembro que apresentaram tendências positivas. No entanto, sob aplicação do teste de Mann-Kandall, estes dados não apresentaram tendência significativa a mudança de comportamento.

As áreas de menor ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos situam-se principalmente na Região Metropolitana de Porto Alegre e adjacências, onde em determinados municípios foram observadas ocorrências em até 45% dos 264 meses avaliados.

Souza Junior; Sausem e Lacruz (2010) observaram em imagens anomalia de vegetação, áreas de maior recorrência de eventos de estiagem no período de 2000 a 2009, nas Regiões Fisiográficas da Campanha,

Missões, Serra do Sudeste, Encosta do Sudeste e parte do Alto Uruguai (Figura 4). Estas áreas de recorrência de estiagem, coincidem pelo menos em parte, com as áreas de maior ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos verificados no presente trabalho e expostas na Figura 3, principalmente em se tratando dos setores Sudoeste (Campanha) e Centro Oeste (Missões).

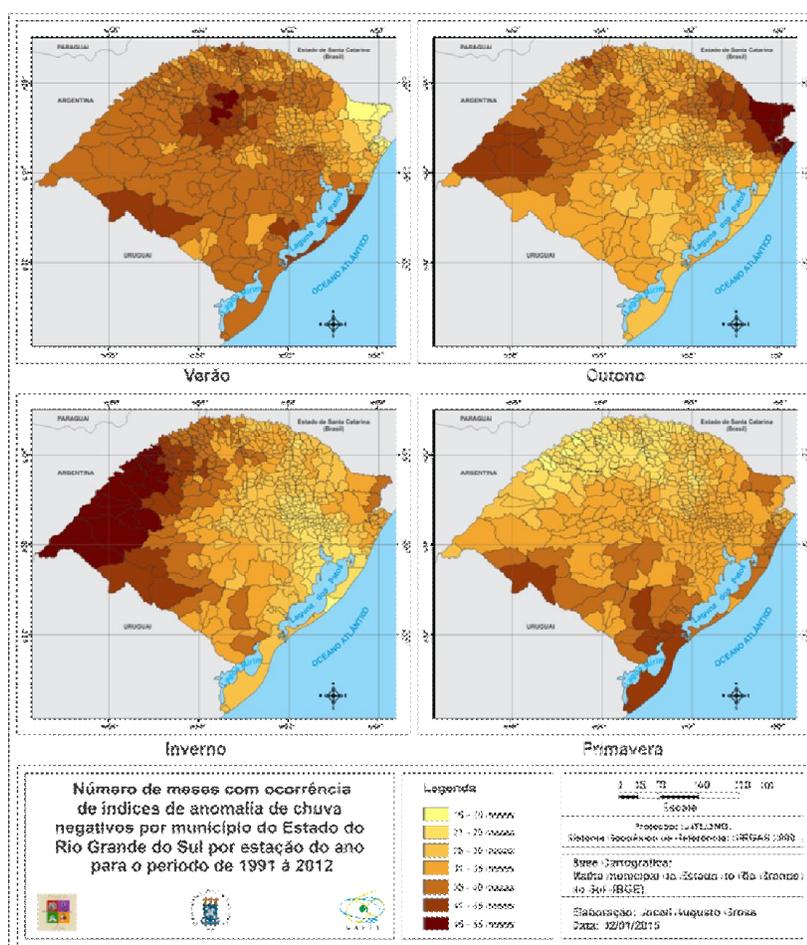


**Figura 4:** Regiões Fisiográficas do Rio Grande do Sul. Destacadas em cor amarela as Regiões Fisiográficas, onde Souza Junior et al. (2009) verificaram áreas de maior reocorrência de estiagem no período de 2000 à 2009. Fonte: Adaptado de PACHECO (1956).

Na Figura 5 são apresentados os resultados da avaliação do número de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos por município, considerando a divisão do período de análise de 1991 a 2001 e de 2002 a 2012, onde fica demonstrado que o número de meses em que os municípios do Estado foram afetados por anomalias negativas de precipitação foi superior no período de 2002 a 2012, pelo menos para a maioria dos casos. Em determinados municípios como Canguçu, Piratini e Pinheiro Machado localizados no setor Sul do Estado os aumentos do número de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos chegou a 39% com relação aqueles observados no período de 1991 a 2001. Com vista nestes resultados avaliou-se os totais de decretos de situação de emergência por estiagem, em cada um dos períodos em separado, onde observou-se que de um total 3005 decretos para todo o período de análise, ou seja, de 1991 a 2012, 70% foram registrados de 2002 até 2012 principalmente nos anos de 2004, 2005, 2009 e 2012, de acordo com dados da Defesa Civil - RS. Destaca-se, que mesmo com a diferença observada, o setor Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul mantém-se como aquele com o maior número de ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos, tanto de 1991 a 2001 como de 2002 a 2012.



massa de ar que influencia na precipitação do Rio grande do Sul nos meses de verão é a Tropical Continental (cT), ocasionando altas temperaturas e ondas de calor. Essa massa de ar se origina pelo maior aquecimento do continente em relação ao mar e da depressão térmica continental, a denominada Baixa do Chaco. Esse sistema de baixa ao interagir com a frente polar provoca alterações nas condições climáticas brasileiras, e em especial pouca precipitação, ou verão seco na Região Sul do Brasil (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980; NIMER, 1990; FERREIRA, 2007).



**Figura 6:** Número de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos por município por estação do ano no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1991 à 2012. Fonte dos dados precipitação para o cálculo do IAC: Agência Nacional das Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Na estação do outono, em determinados municípios do Nordeste Rio-Grandense, como Bom Jesus, São José dos Ausentes, Cambará do Sul e Jaquirana, verificou-se no, uma significativa frequência de meses com ocorrência de anomalias negativas de precipitação, o mesmo ocorrendo para determinados municípios localizados na Região Sudoeste e Centro Oeste do Rio Grande do Sul.

No inverno as maiores frequências de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos foram observados em municípios das Regiões Sudoeste e Centro Oeste, em acordo com Britto; Barletta e Mendonça (2006) que verificou em estações pluviométricas localizadas nos municípios de Uruguaiana, Alegrete e Santana do Livramento no Sudoeste Rio-Grandense, o inverno como a estação menos chuvosa para o período de 1968 a 1998. No período de inverno, a maior variabilidade das precipitações pluviais pode estar associada à formação de Ciclogêneses e Frontogênes na América do Sul (SATYAMURTY; MATTOS, 1989). As ciclogêneses são mais ativas nos meses de inverno, influenciando para maiores quantidades de precipitação na Região Leste do Estado, sendo que a Região Oeste,

juntamente com a Argentina e o Paraguai, sofrem subsidência e em consequência períodos de seca (GAN; RAO, 1991; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000).

Na primavera, os municípios com maior ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos, localizam-se no setor Sul do Estado. Por outro lado, no setor Noroeste observou-se as menores ocorrências de índices negativos, nesta mesma estação do ano. Para esta Região destaca-se que Britto; Barletta e Mendonça (2008) observaram os meses de setembro e outubro (primavera) como os mais chuvosos, em estações meteorológicas nos municípios de São Luiz Gonzaga e Cruz Alta.

Para o setor Sudoeste, na estação da primavera, observou-se os menores números de meses com ocorrência de índices de anomalia de chuva negativos, quando comparados com aqueles verificados nas demais estações do ano. Nos meses de primavera o Sul do Brasil sofre a influência dos Sistemas Convectivos de Mesoescala o que provoca forte precipitação nesta região, além de influenciar também na distribuição da precipitação no Noroeste e Norte do Estado do Rio Grande do Sul (GUEDES, 1985; SILVA DIAS, 1987; BRITO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi a avaliação espacial dos índices de anomalia de chuva negativos do Rio Grande do Sul no período de 1991 a 2012, considerando a frequência em meses de ocorrência, como subsídio para os estudos referentes aos eventos de estiagem nos municípios e setores regionais do Estado. Neste sentido, destaca-se que metodologia atendeu ao objetivo proposto, permitindo verificar as ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos, nos municípios e setores regionais do Estado. Portanto, possibilitou observar as áreas de abrangência e a frequência de ocorrências de índices negativos de precipitação, sendo estas informações de fundamental importância para estudos voltados as estiagens no Estado e para as ações que visem a mitigação dos seus efeitos sobre as comunidades humanas e as atividades econômicas por elas desenvolvidas, principalmente aquelas vinculadas ao setor da agropecuária, que depende de índices pluviométricos adequados para seu bom desenvolvimento.

A partir das avaliações espaciais observou-se que na Região Sudoeste a frequência de índices de anomalia de chuva negativos, em meses de ocorrência foi superior com relação as demais Regiões do Estado, principalmente na última década do período de análise e nas estações do verão, outono e inverno. Neste sentido, a Região Sudoeste é merecedora de atenção por parte dos tomadores de decisão, no que se refere as medidas mitigadoras a serem efetuadas antes, durante e depois das ocorrências de desastres naturais por eventos adversos de estiagem.

As menores frequências de índices de anomalia de chuva negativos foram verificadas nos municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre e adjacências. Ademais, destaca-se a importância de estudos aprofundados com o objetivo de verificar as causas do maior número de ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos na última década do período de análise, dando continuidade as avaliações realizadas no presente trabalho a partir de 2013, ou próxima década, para comparações com os resultados obtidos e expostos neste manuscrito, assim como, aqueles obtidos por outros pesquisadores, e a verificação de tendências do fenômeno estudado.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> > Acesso em: 17 Out. 2013.
- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. “Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul”. 2005. In: Federação dos Clubes de Integração e Troca de Experiência - FEDERACITEa. (Org.). **As Estiagens e as Perdas na Agricultura: Fenômeno Natural ou Imprevisibilidade?**. 1ª ed. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, , v.1, p. 43-59
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tiempo y Clima**. 2ª.ed. Barcelona: Omega, 1978. 395 p.
- BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização Sazonal e Mensal da Precipitação Pluvial Máxima no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Associação Brasileira de Climatologia, Presidente Prudente, SP, 2006.
- BRITTO, P. F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. In: **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 4, v. 3/4, p. 37- 48, 2008.
- CAMPOS, J. N. B.; NETO, J. F. V.; MARTINS, E. S. Vulnerabilidade de sistemas hídricos: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, v. 2, n. 1, 1997. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br>> Acesso em: 25 Dez. 2013.
- CHECHI, L.; SANCHES, F. O. O Uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do Fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista de Geografia Física**, v. 6, n. 6, 2013. Disponível em: < <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/655/493>> Acesso em: 09 de Fev. 201
- DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>> Acesso em: 29 de Dez. 2012.
- FERREIRA, M. E. 2007. **Estiagens no Estado do Paraná 1971 – 2004**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra. Curso de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba. 162 p.
- FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. da.; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. Disponível em:<[http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/downloads/downloads/publicacoes/artigos/doc\\_244.pdf](http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/downloads/downloads/publicacoes/artigos/doc_244.pdf)> Acesso em: 10 Nov. 2013.
- GAN, M. A.; RAO, V. B. **Surface Cyclogenesis over South America**. Mon. Wea. Rev.,v. 119, n. 5, p. 1293 1302, 1991.
- GRIMM A, BARROS, V. R.; DOYLE, M. E.: Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, 13, 35–58, 2000.
- GROSS, J. A.. **Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos Municípios do Rio Grande do Sul Afetados Pelas Estiagens no Período de 1991 a 2012**. Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), sob orientação do Dr. Roberto Cassol, no ano de 2015. Disponível em: <[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=7122](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7122)> Acesso em: 28 Out. 2015.
- GUEDES, R. L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a Região Central da América do Sul**. São Paulo, 1985. Dissertação de Mestrado – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Banco de Dados Agregados. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2012.
- INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2014. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em: 17 de Jul. 2013.
- KHAN, V.M., KIM, I.S., SARAIVA, J.M. Análise de agrupamento pluviométrico nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, CONGRESSO LATIIONAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 8., Brasília, D.F. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia. 1998. Disponível em: < <http://www.cbmet.com/index.php>> Acesso em: 20 Ago. 2015.

KULMAN, D.; REIS, J. T. SOUZA, A. C.; PIRES, C. A. da F.; SAUSEN, T. M. Ocorrência de Estiagem no Rio Grande do Sul no Período de 1981 a 2011. **Revista Ciência e Natura**, v. 36 n. 3 set-dez. 2014, p. 441– 449.

LAZZARI, M. R. Safra 2004/2005 de grãos de verão do RS: produção e preços em baixa.in. **Indicadores. Econômicos. FEE**, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 47-64, set. 2005.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H.M. Distribuição Espaço- temporal e Sazonalidade das Chuvas no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2011. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/sgcv3/.pdf>> Acesso em: 15 de Nov. 2012.

NIMER, E.. Clima. In: **Geografia do Brasil – Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration - National Weather Service. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>>.Acesso em: 05 Fev. 2015.

PACHECO, M. F. de S. D. **Divisão Regional do Rio Grande do Sul. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, CEMAPA, 1(4):7-17, maio/jun, 1956.

REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, Carlos Afonso. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: **X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DA FLISMET**, 1998, Brasília DF. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, 1998.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DA COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO (SCP) **Atlas Socioeconômico do Rio Grande Do Sul**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/>> Acesso em: 25 Set. 2013.

ROOY, M. P. V. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**, Notas, 1965.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de Tendência de Chuvas de Longo Prazo. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science** - vol. 8 n. 3 Taubaté - Sep. / Dec. 2013 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n3/v8n3a18.pdf>> Acesso em: 05 de Jul. 2015.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O Índice de Anomia de Chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Revista Caminhos de Geografia** (on-line) v. 15, n. 51, Uberlândia, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/26423>> Acesso em: 08 de Fev. 2015.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F.: **Climatological lower tropospheric frontogenesis in the mid latitudes due to horizontal deformation and divergence**. Mon. Wea. Rev., v. 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Rev. Bras. Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

SILVEIRA, R. D.; SARTORI, M. G. B.; SILVA, R. R.; ROSA, J. L. A estiagem do verão de 2005 no RS: causas e impactos socioeconômicos na microrregião geográfica de Santa Maria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 7., 2006, Rondonópolis. **Anais Rondonópolis: UFMT**, 2006

SOUSA JÚNIOR, M. A.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil utilizando dados ENVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, p. 122, 2010.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

TSAKIRIS G.; LOUKAS A.; PANGALOU D.; VANGELIS H.; TIGKAS D.; ROSSI G.; CANCELLIERE A. Drought characterization. School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Greece. in. Iglesias A.; Moneo M.; López-Francos A. **Drought management guidelines technical annex**, 2007. Disponível em: <<http://om.ciheam.org/om/pdf/b58/00800535.pdf>> Acesso em: 12 Mai. 2012.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1ª ed. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.