

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Dissertação

Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul

Gisele Machado da Silva

Pelotas, 2015

GISELE MACHADO DA SILVA

Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Ciências.

Orientador: Dr^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra

Co-Orientador: Dr^a Rita de Cássia Fraga Damé

Co-Orientador: Dr. Fioravante Jaekel dos Santos

Pelotas, 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:
Bibliotecária Daiane Schramm – CRB-10/1881

S624aSilva,Gisele Machado da

Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul./ Gisele Machado da Silva; Orientadora : Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra. – Pelotas, 2015.

110f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas.

GISELE MACHADO DA SILVA

Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 31/03/2015

Banca examinadora:

Prof. Dr^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra (Orientadora)

Doutora em Agronomia pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig

Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Vitor Emanuel Quevedo Tavares

Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

*“Dedico a minha filha lasmin, minha
principal motivação e inspiração,
na busca por um futuro melhor.”*

Agradecimentos

Agradeço primeiro a Deus pelo dom da vida e pela força para vencer todos os obstáculos.

Aos meus pais que sempre zelaram pela minha educação e sempre estiveram na torcida, certos da minha vitória.

À minha orientadora Dr^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra pelo apoio, por mostrar que posso ir muito além do que eu poderia imaginar, foi a pessoa decisiva para meu crescimento acadêmico e profissional, muito obrigada por tudo.

Aos meus co-orientadores Dr^a Rita de Cássia Fraga Damé e Dr. Fioravante Jaekel dos Santos pelas reuniões, pelo tempo dedicado, pela ajuda imensurável, pelos conselhos, pela dedicação a este trabalho, enfim por tudo o que fizeram para que este fosse concluído, obrigada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, pela dedicação em sala de aula, pelo conhecimento repassado, permitindo o enriquecimento da minha formação.

À minha família, minha base, pela compreensão e ajuda nos momentos mais cansativos e difíceis desta jornada.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação de Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização deste Curso, e ao IFSul pela oportunidade de estudar, ao conceder meu afastamento para qualificação.

Às colegas Daiane Zarnott e Rosiane Couto pelas horas incansáveis de estudo, e de ótima conversa e momentos de descontração.

Aos amigos pela compreensão das minhas horas de ausência e pela força.

*"SE QUEREMOS PROGREDIR, NÃO DEVEMOS REPETIR A HISTÓRIA, MAS FAZER UMA
HISTÓRIA NOVA"*

(Gandhi)

Resumo

SILVA, Gisele Machado da. Avaliação da ocorrência de seca no Estado do Rio Grande do Sul. 2015. 126f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

O Estado do Rio Grande do Sul tem acumulado perdas na produção agropecuária e econômica, em função da ocorrência de eventos de seca. Apesar de todo o avanço tecnológico, a agricultura ainda depende das condições climáticas e meteorológicas e, por isso, estudos devem ser realizados com o intuito de auxiliar na investigação do comportamento da seca, nas mais diversas regiões. Um passo importante para o entendimento dos eventos de seca é a utilização de índices, que fazem um levantamento da situação, conforme uma escala de intensidade, que objetiva dar um panorama do comportamento hídrico da região. Assim, o presente trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar o comportamento da seca, utilizando índices meteorológicos, em diferentes escalas temporais para 40 estações, compostas por uma série de dados de precipitação de 90 anos (1913-2002), localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, obtidas através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia e da Agência Nacional de Águas. Para tanto, foram utilizados dois índices de seca: Índice Padronizado de Precipitação, nas escalas temporais de 1, 3, 6, 9, 12 e 24 meses, nas intensidades severa e extrema, e o Índice de Moreno, em escala trimestral e semestral, nas intensidades intensa e severa, bem como a contagem do número total de dias secos e análise da sequência de dias secos. Para o preenchimento de dados das séries de precipitação diária, foi utilizada a modelagem estocástica Cadeia de Markov de dois estados. Os resultados mostraram que para o Índice de Moreno, a escala trimestral, comparativamente à escala semestral, apresentou maior concentração de eventos de seca. Para o Índice Padronizado de Precipitação, as maiores sequências de meses secos foram encontradas na intensidade extrema; a maior ocorrência de eventos de seca severa coincidiu em 85% com os períodos de La Niña e a maior incidência de eventos de seca severa e intensa ocorreu na década de 1943 a 1952. Quanto à espacialização do Índice Padronizado de Precipitação, nas escalas 6, 12 e 24 meses, esta representou adequadamente os resultados obtidos nas sequências de períodos secos.

Palavras-chave: Índice Padronizado de Precipitação, Preenchimento de falhas, Sequência de dias secos, Espacialização.

Abstract

SILVA, Gisele Machado da. Evaluation of drought occurrence in the state of Rio Grande do Sul. 2015. 126 pages. Dissertation (Master's degree in Management and Conservation of Soil and Water - Graduate Program in Management and Conservation of Soil and Water. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

Due to the occurrence of drought events, the state of Rio Grande do Sul has accumulated losses in the agricultural and economic production. Despite the technological advances, agriculture still depends on climatic and weather conditions and, therefore, studies should be conducted in order to help the investigation of drought behavior in various regions. An important step in the understanding of drought events is the use of indexes, which survey the situation, according to an intensity scale, which aims to give an overview of the water behavior in the region. Thus, this study aims to identify and characterize drought behavior by using meteorological indexes, at different time scales for 40 seasons, consisting of a series of rainfall data from 1913 to 2002, located in the state of Rio Grande do Sul, obtained from the database of the National Institute of Meteorology (INMET) and the National Water Agency (ANA). Therefore, two drought indexes were used: Standardized Precipitation Index, in the time scales of 1, 3, 6, 9, 12 and 24 months, in severe and extreme intensities, and the Moreno Index, a quarterly and half-yearly scale, in intense to severe intensities, as well as the count of the total number and sequence analysis of dry days. For data filling of daily precipitation series, the stochastic model was used applying the Markov chain from two states. The results indicated that for the Moreno Index, the quarterly level, compared to the half-yearly scale, showed a higher concentration of drought events. For the Standardized Precipitation Index, the main sequences of dry months were found in extreme intensity; the higher incidence of severe drought events coincided in 85% with periods of La Niña and the higher incidence of severe and intense drought events occurred from 1943 to 1952. As for the spatial distribution of the Standardized Precipitation Index, in the scales 6, 12 and 24 months, it adequately represented the results obtained in the sequences of dry periods.

Keywords: Standardized Precipitation Index, gap filling, dry days sequence, spatial distribution.

Listade Figuras

Figura 1.	Caracterização dos tipos de seca em função da duração e dos impactos causados.....	22
Figura 2.	Divisão do Estado do Rio Grande do Sul em mesorregiões..	33
Figura 3.	Localização das 40 estações pluviométricas nas sete mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul.....	33
Figura 4.	Precipitação média mensal das estações que compõem as diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul no período de 1913-2002.....	52
Figura 5.	Comportamento da precipitação total mensal e do número de dias sem chuva para Bagé, Bento Gonçalves, Bom Jesus, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Iraí, Pelotas e Porto Alegre, no período de 1961 a 2002.....	54
Figura 6.	Comportamento da precipitação total mensal e do número de dias sem chuva para Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Rio Grande, Santa Maria, Santa Vitória do Palmar, São Luiz Gonzaga, Torres e Uruguaiana, no período de 1961 a 2002.....	55
Figura 7.	Contagem do número de sequências de dias secos, considerando valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias, no período de 1961 a 2002, para Bagé, Bento Gonçalves, Bom Jesus, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul e Iraí.....	57
Figura 8.	Contagem do número de sequências de dias secos, considerando valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias, no período de 1961 a 2002, para Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande e Santa Maria.....	58
Figura 9.	Contagem do número de sequências de dias secos, considerando valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias, no período de 1961 a 2002, para Santa Vitória do Palmar, São Luiz Gonzaga, Torres e Uruguaiana.....	59
Figura 10.	Comportamento do total mensal do número de ocorrência de eventos de seca a) Severa, b) Extrema, bem como a	

	média do total de ocorrência.....	74
Figura 11.	Espacialização dos valores de seca severa do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 6 meses).....	99
Figura 12.	Espacialização dos valores de seca extrema do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 6 meses).....	99
Figura 13.	Espacialização dos valores de seca severa do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 12 meses).....	101
Figura 14.	Espacialização dos valores de seca extrema do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 12 meses).....	101
Figura 15.	Espacialização dos valores de seca severa do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 24 meses).....	102
Figura 16.	Espacialização dos valores de seca extrema do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 24 meses).....	103

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Caracterização das 40 estações de precipitação localizadas nas sete mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul.....	34
Tabela 2.	Períodos utilizados para o preenchimento de falhas das chuvas diárias das quinze estações utilizadas.....	36
Tabela 3.	Classificação do Índice de Moreno (1994) (IM) quanto à severidade de seca.....	41
Tabela 4.	Classificação da intensidade da seca de acordo com o Índice Padronizado da Precipitação (SPI).....	44
Tabela 5.	Probabilidades de transição P(00), P(01), P(11) e P(10) e os valores dos parâmetros β e γ da distribuição Gama, das séries de precipitação pluvial de 15 estações para o Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1961 a 2002.....	47
Tabela 6.	Resultados de média e desvio padrão para as séries de precipitação diária simulada e preenchida pela cadeia de Markov e estatística do teste “t”, para 15 localidades do Estado do Rio Grande do Sul.....	49
Tabela 7.	Número de ocorrências sequenciais de dias secos para o limite de 1 mm de precipitação, no período de 1961 a 2002, para alguns municípios do Estado do Rio Grande do Sul.....	60
Tabela 8.	Número de ocorrências trimestrais e semestrais, nas intensidades intensa e extrema nas mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul.....	64
Tabela 9.	Número total de eventos de seca intensa e extrema nas escalas trimestral e semestral.....	65
Tabela 10.	Período de ocorrência de eventos de seca severa, duração, bem como a escala de SPI para algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul.....	69
Tabela 11.	Período de ocorrência de eventos de seca extrema, duração, bem como a escala de SPI para algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul.....	69
Tabela 12.	Total mensal de eventos de seca severa para cada uma das	

	escalas temporais.....	72
Tabela 13.	Total mensal de eventos de seca extrema para cada uma das escalas temporais.....	73
Tabela 14.	Ano e mês de ocorrência do SPI mensal de seca severa, para seis municípios do Rio Grande do Sul.....	75
Tabela 15.	Ano e mês de ocorrência do SPI mensal de seca extrema, para os municípios de São Borja e Soledade, localizados no Estado do Rio Grande do Sul.....	75
Tabela 16.	Características do município de São Borja, quanto aos valores de precipitação total mensal do ano de 1947, em relação às médias mensais de precipitação da série (1913-2002).....	76
Tabela 17.	Número de ocorrências de seca severa para o SPI 1, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	77
Tabela 18.	Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 1, considerando-se na análise as décadas da série e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	78
Tabela 19.	Características dos municípios de Santa Maria e Cruz Alta, quanto aos valores de precipitação total mensal dos anos de 1926 e 1962, em relação às médias mensais de precipitação das séries (1913-2002).....	80
Tabela 20.	Número de ocorrências de seca severa para o SPI 3, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	81
Tabela 21.	Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 3, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	81
Tabela 22.	Número de ocorrências de seca severa para o SPI 6, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	83
Tabela 23.	Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 6,	

	considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	84
Tabela 24.	Características do município de Cruz Alta, quanto aos valores de precipitação total mensal do ano de 1917, em relação às médias mensais de precipitação da série (1913-2002).....	85
Tabela 25.	Número de ocorrências de seca severa para o SPI 9, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	87
Tabela 26.	Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 9, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	88
Tabela 27.	Número de ocorrências de seca severa para o SPI 12, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	89
Tabela 28.	Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 12, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	90
Tabela 29.	Número de ocorrências de seca severa para o SPI 24, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	92
Tabela 30.	Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 24, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões.....	92
Tabela 31.	Mesorregiões com maior número de ocorrência de seca severa e extrema considerando cada uma das classes de SPI e a década correspondente.....	95
Tabela 32.	Valores de precipitação total mensal na mesorregião Nordeste, bem como a média mensal para o período de 1943 a 1952.....	96
Tabela 33.	Comparação entre a ocorrência de La Niña e de seca severa e extrema de acordo com as classes de SPI analisadas.....	97

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Geral.....	18
2.2	Específicos.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	Definição de Seca e Seus Impactos.....	19
3.1.1	Seca Meteorológica.....	20
3.1.2	Seca Agrícola.....	21
3.1.3	Seca Hidrológica.....	21
3.1.4	Seca Socioeconômica.....	21
3.2	A Seca no Rio Grande do Sul.....	22
3.3	Número de Dias sem Chuva (NDSC).....	25
3.4	Sequência de Dias sem Chuva.....	26
3.5	Indicadores para Quantificação da Seca.....	27
3.5.1	Índice de Moreno (1994).....	27
3.5.2	Índice Padronizado de Precipitação (SPI).....	28
3.6	Distribuição Espacial do Índice Padronizado de Precipitação (SPI).....	30
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1	Caracterização da Região de Estudo e Clima.....	32
4.2	Levantamento dos Dados.....	32
4.3	Preenchimento das Falhas de Dados Diários de Precipitação.....	36
4.4	Análise do Número de Dias sem Chuva (NDSC).....	39
4.5	Sequência de Dias Secos.....	40
4.6	Índice de Moreno (IM).....	40
4.7	Índice Padronizado da Precipitação (SPI).....	41
4.8	Espacialização das Informações.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1	Preenchimento de Falhas de Dados Diários de Precipitação.....	46
5.2	Caracterização do Regime Pluvial das Mesorregiões do Estado do RS...	51
5.3	Número de Dias sem Chuva (NDSC).....	53
5.4	Sequência do Número de Dias Secos.....	56

5.5	Índice de Moreno (IM).....	61
5.6	Análise Global do Índice Padronizado da Precipitação (SPI).....	67
5.6.1	Índice Padronizado da Precipitação na Escala Mensal (SPI 1).....	74
5.6.2	Índice Padronizado da Precipitação na Escala Trimestral (SPI 3)...	78
5.6.3	Índice Padronizado da Precipitação na Escala Semestral (SPI 6)...	82
5.6.4	Índice Padronizado da Precipitação na Escala Nove Meses (SPI 9).....	86
5.6.5	Índice Padronizado da Precipitação na Escala Anual (SPI 12).....	88
5.6.6	Índice Padronizado da Precipitação na Escala de Dois Anos (SPI 24).....	91
5.6.7	Ocorrência de ENOS e os resultados do SPI e a Década e a Mesorregião com maior número de Eventos Secos.....	93
5.7	Espacialização do Índice Padronizado de Precipitação nas Escalas 6, 12 e 24 Meses.....	98
6	CONCLUSÕES.....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	APÊNDICE.....	115

1 Introdução

Atualmente, as discussões geradas em torno de problemas ambientais de ordem diversa, são necessárias e relevantes para a pesquisa científica, que visem diagnosticar e orientar quanto ao caminho a seguir, rumo à solução ou amenização de tais problemas.

A escassez hídrica tem motivado reflexões em função da repercussão negativa no cotidiano da população, tanto nas zonas rurais quanto nas urbanas, uma vez que a seca não reconhece fronteira e tem como característica sua lenta evolução. Mesmo quando normalizada a precipitação após eventos secos, seus danos ainda podem ser sentidos, com maior ou menor magnitude, de acordo com as características climáticas da região.

Historicamente, a região nordeste do Brasil é a mais assolada por períodos de escassez hídrica. No entanto, tem-se observado registros de tal situação nas mais diversas regiões do país, como por exemplo, a região sudeste, que tem sido vitimada por reduzida precipitação, causando falta d'água para o abastecimento da população e demais usos.

A situação caótica em que se encontra a região sudeste não fica restrita apenas ao Estado de São Paulo, uma vez que Minas Gerais também prevê que a seca deste ano será pior do que a do ano passado. A seca da região paulista se dá em função dos baixos volumes de precipitação, intenso consumo, associada à falta de conscientização no uso da água e, ainda, a falta de ações do poder público, no sentido de alertar os consumidores, da iminente escassez hídrica, fazendo com que um sistema de racionamento seja implantado previamente. A crise hídrica paulista além de afetar o abastecimento urbano e rural, tem atingido diversas áreas: a agricultura, a pecuária, as hidrelétricas e as indústrias. A situação paulistana de crise hídrica gerou também cenas inusitadas como ressurgimento de cidades outrora inundadas para construção de represas e carcaças de carros, antes afundados nos corpos hídricos. Mesmo com alguns dias de chuvas na região, não são suficientes para a normalização da situação, pois apenas uma parte da água precipitada irá abastecer o manancial superficial. É ainda necessário considerar o fato de que um período longo de quedas no volume dos corpos hídricos, em função dos baixos

índices de precipitação, faz com que haja a necessidade de um volume expressivo de água para reposição, uma vez que há lentidão na normalização, em função do consumo ser constante.

O Rio Grande do Sul, forte produtor nacional de grãos, vem sendo prejudicado em suas lavouras com a falta de precipitação, que no Estado podem ser associadas às ocorrências do fenômeno LaNiña. Os prejuízos com a estiagem no ano de 2008 fez com que o Produto Interno Bruto gaúcho deixasse de crescer 2,1%, em relação ao ano anterior. Desta forma a problemática da escassez hídrica não afeta apenas a produção de alimentos, mas também a geração de energia, de empregos e a economia de modo geral.

Um passo importante para o entendimento dos eventos de seca é a utilização de índices, que fazem um levantamento da situação, conforme uma escala de intensidade, que objetiva dar um panorama do comportamento hídrico da região. O Índice Padronizado de Precipitação e o Índice de Moreno são exemplos de índices meteorológicos, que disponibilizam informações quanto às diferentes intensidades de seca, utilizando apenas dados de precipitação mensal.

Os índices de seca aliados a outros dados como a análise da totalização de dias secos e da sequência de dias secos, podem compor uma base de dados para monitoramento e previsão, constituindo-se como uma importante ferramenta para o estabelecimento de políticas públicas, tanto de âmbito municipal quanto estadual, que visem o gerenciamento das áreas mais castigadas pela seca e minimização dos prejuízos.

Assim sendo, este trabalho visa contribuir com a identificação e caracterização do comportamento da seca, utilizando índices meteorológicos para diversas estações localizadas no Estado do Rio Grande do Sul.

2 Objetivos

2.1 Geral

Identificar e caracterizar o comportamento da seca utilizando dois índices meteorológicos, em diferentes escalas temporais para as estações pluviométricas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Específicos

Preenchimento de dados faltantes em séries de precipitação diária de estações localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, utilizando a modelagem estocástica Cadeia de Markov de dois estados.

Analisar as séries de dados diários de precipitação, a partir da contagem de dias considerados secos.

Contabilizar os períodos secos em três diferentes intervalos de tempo.

Calcular o Índice de Moreno (1994) nas escalas semestrais e trimestrais para todas as estações meteorológicas e caracterizá-lo de acordo com as classes de severidade intensa e extrema.

Calcular o Índice Padronizado da Precipitação nas escalas de 1, 3, 6, 9, 12 e 24 meses para todas as estações meteorológicas e caracterizá-lo de acordo com as classes de severidade de seca severa e extrema.

Espacializar as informações do Índice Padronizado da Precipitação das 40 estações pluviométricas do Estado do Rio Grande do Sul, para as escalas temporais de 6, 12 e 24 meses, de acordo com as classes de severidade.

3Revisão Bibliográfica

3.1 Definição de Seca e Seus Impactos

A seca é um fenômeno natural que produz inquietação, e que ocorre devido às condições climáticas e meteorológicas, e tem como característica a forma lenta de seu processo, durante um período imperceptível, abrangendo proporções significativas (CUNHA, 2008), comparativamente a eventos de cheias, que advêm de forma rápida. Este fenômeno, conforme suas características têm difícil definição de seu período, pois mesmo depois de determinar um possível final com a presença de períodos de precipitação, pode causar prejuízos aos mais diversos setores desde o elétrico, principalmente as hidrelétricas, ao de alimentos.

A seca não reconhece fronteiras, sendo seu impacto tão ou mais grave do que aqueles desastres que ocorrem de forma rápida e causam prejuízos imediatos, como é o caso das enchentes, que geralmente podem ser contabilizados de forma local. A escassez hídrica ao interferir no rendimento da produção de um Estado ou de um grupo considerável de municípios, traz o risco à economia da região e o sustento de milhares de famílias.

Marengo et al. (2010) ao considerar as interferências antrópicas no meio ambiente fazem um alerta para uma maior constância de eventos extremos, que irão ocorrer ou já estão ocorrendo, nas mais diversas regiões do Brasil, com quantidade e intensidade elevadas, e destacam entre eles, os períodos prolongados de estiagem. Cunha (2008) destaca que todos os tipos de seca são originados da escassez de água por tempos extremos de redução de precipitação, mais ou menos longos. Tal fenômeno acomete qualquer região, seja com características úmidas ou áridas, sendo de difícil predição no que diz respeito ao seu início e fim e suas consequências são sentidas nas mais diversas áreas: agrícola, pecuária, geração de energia, lazer, e no consumo industrial e doméstico.

Sobre as consequências dos períodos sem ocorrência de precipitação, Carvalho et al. (2013) reiteram que em algumas regiões, onde há baixa disponibilidade de água, ocorre a migração da população. Ainda consideram que há na literatura limites adotados para considerar o dia como seco, que podem variar de

0 até 5 mm, cujos valores são dependentes de cada atividade e tipo de manejo ambiental a ser utilizado.

Os prejuízos causados por desastres naturais são da ordem de bilhões de dólares, além das consequências sociais. Nedel et al.(2010) relatam que os desastres naturais ocorridos no país, na primeira década de 2000, entre eles a seca, acarretou danos sociais e econômicos, cujos valores chegaram a 4 bilhões de dólares, em que boa parte destes desastres ocorreram no sul do Brasil.

A seca pode ocorrer em qualquer região sem diferenciação de clima, pois mesmo em um clima com características predominantemente úmidas esse fenômeno pode se manifestar, em função do déficit de precipitação em um dado período de tempo. Sentelhas (2010) comenta que o Brasil, em função das suas grandes dimensões e de todos os fatores macro climáticos, apresenta uma grande variedade de climas, variando do tropical no centro-norte ao temperado no sul, e de úmido na parte norte da região amazônica ao semi-árido na maior parte da Região Nordeste, onde o bioma Caatinga prevalece. Portanto, mesmo em regiões úmidas, como a Floresta Amazônica, no estado do Amazonas e a região dos Pampas, no Rio Grande do Sul, têm experimentado períodos de seca severa durante os últimos anos, causando prejuízos para diversas atividades humanas, principalmente a agricultura.

A seca não tem um conceito universal e de fácil compreensão, mas é classificada, segundo suas condições ou causas, ou ainda dentro de um contexto social, de acordo com seus efeitos como: seca meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica (HEIM JUNIOR, 2002).

3.1.1 Seca Meteorológica

A seca meteorológica tem uma ligação tênue com a região onde ocorre, porque depende das condições atmosféricas e é considerada referência para os outros tipos de seca.

Segundo Mendes (2008) este tipo de seca ainda pode estar associado a temperaturas mais altas, ventos fortes, baixa umidade relativa do ar, maior evapotranspiração, menor cobertura de nuvens e mais horas de sol, reduzindo a

infiltração de água no solo, os volumes de escoamento, a percolação profunda e a recarga dos aquíferos.

3.1.2 Seca Agrícola

A seca agrícola está intimamente relacionada às condições do solo, pois ocorre quando os déficits de precipitação ajudam a reduzir a disponibilidade de água no solo, causando o comprometimento da evolução das culturas e consequente diminuição na produção agrícola. A seca agrícola é considerada como uma consequência da meteorológica, porque influencia na evaporação, colaborando para a redução da água no solo.

Mendes (2008) ressalta que a agricultura de sequeiro é a primeira atividade econômica a ser afetada. Este tipo de seca pode ser minimizado ou inexistente se houver estrutura para armazenamento de água e um sistema de irrigação.

3.1.3 Seca Hidrológica

A seca hidrológica, de acordo com Cunha (2008), é consequência da seca meteorológica e advém de mudanças no sistema hidrológico. Observa-se este tipo de seca quando há diminuição nos talvegues, gerando redução da água disponível.

A seca hidrológica, mesmo tendo o clima como principal gerador, ainda pode ser acelerada em função de práticas antrópicas, tais como, uso inadequado do solo, desmatamento e construção de barragens.

3.1.4 Seca Socioeconômica

A seca socioeconômica ocorre quando as reservas de água disponíveis não são suficientes para atender as necessidades humanas. Esta pode ser advinda do aumento populacional e ainda em última análise, como consequência dos demais tipos de seca. Sobre a referida seca, Mendes (2008) considera que a crescente pressão da atividade humana sobre os recursos hídricos têm incrementado progressivamente a incidência deste tipo de seca, com graves e crescentes consequências socioeconômicas e ambientais. Na Figura 1 estão destacadas as

características de cada um dos tipos de seca, com relação a duração e os impactos causados (SILVA et al., 2005).

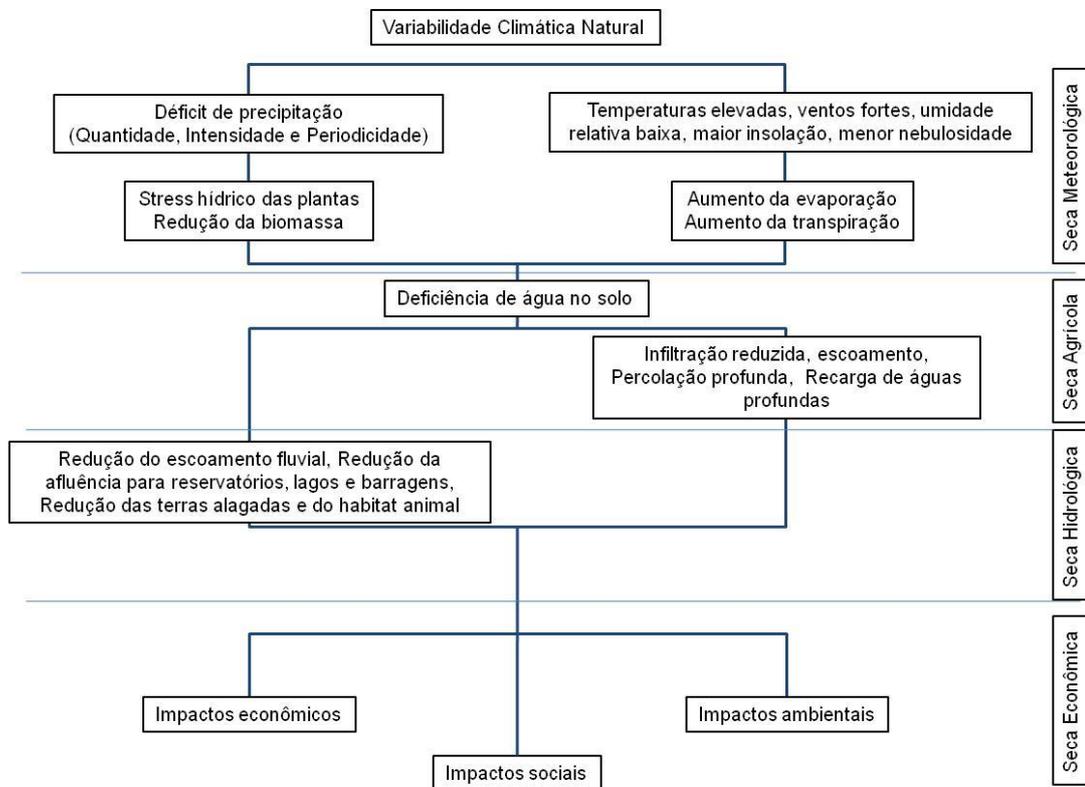


Figura 1. Caracterização dos tipos de seca em função da duração e dos impactos causados. Fonte: adaptado de Silva et al. (2005)

3.2 A Seca no Rio Grande do Sul

O clima de uma região é definido após um longo período de observação diária do comportamento dos elementos climáticos. O Rio Grande do Sul é uma região de clima temperado úmido, com chuvas distribuídas ao longo de todo o ano, e mesmo assim tem sido vitimado, principalmente nas últimas décadas, com uma frequência cada vez maior de eventos de seca. Entretanto, mesmo em climas úmidos podem ocorrer períodos significativos de escassez hídrica, caracterizados por secos, em função da inexistência e/ou diminuição da precipitação. Segundo Carvalho et al. (2013) é comum episódios de 5 dias consecutivos secos, tanto na estação chuvosa, quanto na seca. Roldão e Santos (2014) alertam para a classificação quanto a intensidade dos eventos, pois superiores a sete ou oito dias, são considerados fracos, entre nove e doze são de média intensidade e acima de treze, de forte

intensidade, podendo ocasionar danos à algumas culturas, caso o solo não esteja bem abastecido de água, em período anterior.

Nedel et al. (2010) realizaram um levantamento junto a Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul, entre os anos 2003-2009 das secas ocorridas no estado, com o objetivo de analisar a frequência mensal e anual dos eventos. Os autores constataram que nesses anos houve mais de mil eventos de secas no estado, sendo que desses, o verão é a estação do ano que apresenta maior número de ocorrências.

A seca, fenômeno ligado a fatores climáticos e meteorológicos, não está desvinculada das alterações climáticas, principalmente, no último século. Berlato (2005), Porto (2005) e Alberto (2006) realizaram associações entre o fenômeno El Niño e La Niña, com as condições de abundância e de redução nos índices de chuvas no Estado do Rio Grande do Sul, para determinados períodos. Esta associação advém do fato de que o El Niño, fenômeno natural que indica uma elevação anormal na temperatura do oceano Pacífico Equatorial e, La Niña, ao contrário, representa uma redução anormal de temperatura, geram influência nas condições atmosféricas, nas mais diversas partes do globo, principalmente em função de alterações no regime das chuvas. No Rio Grande do Sul, em anos de ocorrência de El Niño verifica-se um aumento dos índices pluviométricos e com a La Niña, uma redução nas precipitações.

Berlato et al. (2005) associaram os fenômenos El Niño e La Niña, quanto à variabilidade da precipitação pluvial proporcionada por estes fenômenos e a produção de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados mostraram que houve tendência, embora fraca, de redução da produtividade média, desde o início dos anos 1920 até a metade dos anos 1940. Nesse período, houve forte queda de produtividade nos anos agrícolas 1942/1943 e 1944/1945, associada a precipitações pluviais inferiores à média climatológica, determinada por dois eventos de La Niña. A partir daí, até o final dos anos 1960, houve estagnação da produtividade da cultura, ou seja, mais de 20 anos com produtividade média no Estado quase constante e abaixo da média histórica. Grande parte desse período coincidiu com precipitações pluviais abaixo da média histórica.

No Rio Grande do Sul, as culturas mais vulneráveis a estiagem são as de verão, como o feijão, o milho e a soja e nas últimas décadas, os registros de perdas

em função da estiagem são recorrentes, visto que ocorreram e estão ocorrendo em curto espaço de tempo.

Gross et al. (2012) realizaram um levantamento de dados que detectaram os municípios do Rio Grande do Sul afetados pela seca entre os anos de 2000 e 2010, São Borja e Seberi, que têm como principais culturas, o milho, a soja e o trigo. Os autores afirmam que estas culturas são muito dependentes das condições hídricas, e que as consequências negativas da seca agem como um efeito cascata, onde tem início no campo, e interfere até na economia dos municípios do Estado.

Os dados da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul (SEAPA, 2013) mostram que existem no estado 5,6 milhões de hectares cultivados com soja, milho, fumo, feijão e hortícolas. Destes, mais de 429 mil estabelecimentos agrícolas, pouco mais de 26 mil (6,2%) utilizam irrigação, ou seja, a maior parte depende das condições meteorológicas para o desenvolvimento de suas lavouras.

Fochezatto et al. (2009) comentam que os cultivos de soja, fumo, milho e feijão são responsáveis por aproximadamente 60% do total do valor da produção das lavouras no Rio Grande do Sul. Os autores analisaram os impactos diretos e indiretos da queda na produção agropecuária devido à estiagem de 2007/2008 e concluíram que os impactos gerados pela seca no estado, repercutiram na redução da produção e fabricação de produtos alimentares, na fabricação de óleo vegetal e redução nas vagas de emprego e, conseqüentemente, queda no Produto Interno Bruto gaúcho.

Bergamaschi et al. (2006) avaliaram as consequências do déficit hídrico e a produção de milho, no município de El Dourado do Sul/RS, e concluíram que a grande redução da produção ocorreu em função do déficit hídrico no desenvolvimento inicial do grão.

Quanto à soja, Sperling et al. (2012) trabalharam com dados de 22 anos de cultivo de milho no município de Cruz Alta/RS e verificaram que, em épocas de estiagem, a produção foi baixa nos anos de 1977/1978, 1978/1979, 1981/1982, 1985/1986, 1987/1988, 1990/1991, 1995/1996, 1996/1997, 1998/1999 e 1999/2000.

O verão no Estado é a época que mais sofre com as estiagens e em função disso, estudos são realizados com o intuito de buscar um panorama da situação das

principais culturas, buscando avaliar o momento crítico para cada lavoura, com relação à falta de água, de forma a amenizar as perdas na colheita.

Segundo Berlato et al. (2005), a soja e o milho são as principais culturas do Estado, pois representam mais de 70% da área cultivada e mais de 60% da produção de grãos, e na sua maioria não é utilizada irrigação, sendo dependentes da ocorrência de chuvas.

Para o milho, Bergamachiet al. (2004) relatam que a fase crítica encontra-se na pré-floração ao início de enchimento de grãos, ou seja, se houver déficit hídrico é muito difícil a recuperação, e no período vegetativo, a falta de água diminui o crescimento.

Assunção e Faria (2009) destacam que no país as principais regiões produtoras de milho têm oscilações em suas safras devido à disponibilidade de água, principalmente no período crítico da cultura, o que pode originar redução de rendimento, mesmo em anos climaticamente favoráveis.

Em geral, a cultura do milho é mais sensível às estiagens do que a soja, em função deste ter um período crítico mais curto, e com maior sensibilidade ao déficit hídrico (MATZENAUER et al., 2003). No que diz respeito a soja, Fietz e Urchei (2001) abordam que o período mais sensível ao déficit hídrico é o reprodutivo, mas ressaltam que não há consenso entre os estudos no que diz respeito ao estágio crítico da soja, em relação à umidade do solo.

O feijão pode ser plantado em todo o Rio Grande do sul, segundo Maluf et al. (2004), sendo, no entanto o rendimento do grão dependente das condições climáticas e com a época de semeadura. De acordo com os autores, o feijão mostra sensibilidade em relação ao excesso e deficiência hídrica, especialmente no subperíodo entre o início do florescimento e a maturação fisiológica. O principal problema para a cultura do feijão é a disponibilidade hídrica, agravada pelas estiagens, principalmente nos meses de outubro a janeiro.

3.3 Número de Dias sem Chuva (NDSC)

Silveira e Assis (2000) consideram como dia seco ou sem chuva, aquele cujo valor de precipitação é igual a 0 mm. Dependendo das condições atmosféricas e/ou a evapotranspiração da região, os valores considerados como secos variam de 0 a

inferiores ou iguais a 1,2,3,4 e 5 mm (DERECZYNSKI et al., 2009; SANTOS e BASSEGIO, 2011; CARVALHO et al., 2013). Assad et al.(1993) consideram que a chuva diária precipitada, com valor menor do que 1 mm é dificilmente absorvida pelas culturas, sendo rapidamente evaporada, sendo, portanto, considerado como dia sem chuva (seco).

A totalização do número de dias secos de uma série qualquer de dados diários de precipitação, pode ser considerada mais um subsídio para observar e analisar o comportamento dos períodos secos, das localidades que compõem as diferentes regiões, possibilitando a obtenção de áreas homogêneas, ou seja, áreas similares quanto ao mesmo comportamento das precipitações.

3.4 Sequência de Dias sem Chuva

Se a análise dos dias secos é uma ferramenta que auxilia na verificação de regiões homogêneas quanto à precipitação, uma análise complementar, considerada mais robusta, para auxílio nas pesquisas com os índices de seca, é a contagem sequencial dos dias sem chuva. Quando há uma sequência considerável de dias sem precipitação, a probabilidade de efeito negativo na agricultura é grande, em função da perda de umidade do solo, devido a evapotranspiração.

Nesse sentido, Roldão e Santos (2014) verificaram a ocorrência de veranicos na microrregião de Uberlândia/MG, concluindo que conhecer o clima da região pode influenciar no manejo agrícola. Os autores classificaram as sequências de dias secos ou de veranicos conforme o período de duração, cujo período colabora em maior ou menor grau para as práticas agrícolas. Concluíram que os veranicos de sete e oito dias podem ser classificados como fracos; os de nove a doze dias como médios; os de treze a dezoito dias como fortes e os veranicos com mais de dezoito dias como muito fortes, sendo que estes geralmente causam grandes danos às lavouras, podendo chegar à perda total.

Carvalho et al. (2013) determinaram a probabilidade de ocorrência de períodos secos em Rio Largo/AL, considerando como período seco três diferentes intervalos de tempo com sequência de dias secos (≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias). Os autores observaram que o intervalo de 5 dias mostrou maior ocorrência da estação seca e chuvosa.

3.5 Indicadores para Quantificação da Seca

Apesar de todo o avanço tecnológico, a agricultura depende das condições climáticas e meteorológicas e, por isso, estudos devem ser realizados com o intuito de auxiliar na investigação do comportamento da seca, nas mais diversas regiões. Como existem diferentes índices de seca, com distintas metodologias de cálculo, faz-se necessária uma avaliação de desempenho sobre qual índice apresenta melhores resultados numa dada localidade. De acordo com Quiring (2009), um único índice não pode representar todos os aspectos da seca, por isso é melhor utilizar uma abordagem multi-índice.

Atualmente, as pesquisas referentes à predição da seca utilizam vários índices indicadores de ocorrência do evento (NERY et al., 2000; BLAIN e BRUNINI, 2007; BLAIN et al., 2010; MISHRA e SINGH, 2010; GUEDES et al., 2012), os quais requerem diferentes variáveis e metodologias de cálculo, sendo, segundo Fernandes et al. (2010), necessário definir na seleção de qual índice utilizar, aquele em que se dispõe dos dados de entrada e do objetivo fim. Na sequência serão apresentados os índices de Moreno e o Padronizado da Precipitação, que permitem analisar a intensidade do fenômeno e classificá-lo quanto a sua severidade, utilizando diferentes escalas temporais.

3.5.1 Índice de Moreno (1994)

Moreno em 1994 criou um índice com o objetivo de analisar estatisticamente a seca na Colômbia, utilizando informações de precipitação total semestral e o valor da precipitação média semestral, para o mesmo período. Nery et al. (2000) estudaram as flutuações em escala anual e inter anual da precipitação no Vale do Itajaí, de forma a caracterizar a região, utilizando o Índice de Moreno (IM) para o período de abril a setembro e outubro a março. Os resultados mostraram que as secas mais significativas ocorreram no período de abril a setembro dos anos de 1940, 1944, 1950, 1951, 1953, 1963, 1968, 1978, 1981 e 1985. Já no período de outubro a março, as secas ocorreram em menor proporção, se comparadas com o inverno, sendo representativos os anos de 1942, 1948, 1964 e 1974, enquanto os anos de 1942 e 1948 foram marcados por secas intensas e extremas.

Nery et al. (1997), com o objetivo de analisar a variabilidade inter anual da precipitação do Rio Grande do Sul aplicaram o IM, cujos resultados mostraram que o primeiro semestre dos anos de 1945, 1964 e 1968 apresentaram secas em todo o estado. No primeiro semestre do ano de 1962 foi caracterizado por seca intensa ($-0,4 > IM \geq -0,6$) nas regiões sul e sudeste e no segundo semestre, seca intensa nas regiões central e norte.

3.5.2 Índice Padronizado de Precipitação (SPI)

O Índice Padronizado de Precipitação (SPI) foi desenvolvido por Mckee et al. (1993) com o objetivo de quantificar, padronizar e comparar a seca, em base temporal e espacial. Dentre os vários indicadores de seca é atualmente um dos mais utilizados (BLAIN e BRUNINI, 2007; PAULO e PEREIRA, 2008; BLAIN et al., 2010; FERNANDES et al., 2010; GUEDES et al., 2012). O SPI tem como vantagem a possibilidade de cálculo em diferentes escalas temporais e ainda tem condições de apresentar um panorama da severidade da seca e um aviso prévio de ocorrência dos eventos. Uma desvantagem refere-se ao tamanho da série de precipitação a ser utilizada, recomendando-se no mínimo 30 anos de períodos consecutivos (FERNANDES et al., 2009).

São crescentes os estudos de comportamento do SPI em diversos países com propensão a seca, tais como Estados Unidos, Cuba, Argentina, Portugal e Brasil (CUNHA, 2008; ALTAMIRANO e SANSIGOLO, 2010; PORTELA et al., 2012). Entretanto, anteriormente ao cálculo do SPI é necessário o ajuste dos dados da série a uma distribuição de probabilidade. Originalmente (MCKEE et al., 1993) tem sido adotada a distribuição Gama e atualmente, alguns autores (VICENTE-SERRANO, 2006; BLAIN, 2011) têm testado também a distribuição Pearson tipo III, pela maior flexibilidade, devido a inclusão de três parâmetros, em comparação com a distribuição Gama, com apenas 2.

Blain et al. (2010) com o objetivo de verificar, na escala anual, a possibilidade de utilizar o SPI no monitoramento das deficiências e excessos de precipitação em cinco localidades do estado do Espírito Santo, concluíram que a principal característica das séries de SPI é a grande variabilidade espaço-temporal, indicando que em uma mesma região, meses extremamente secos podem ser precedidos e

seguidos de meses úmidos ou normais. Além disso, distintos casos de seca podem ocorrer de forma aleatória entre as localidades, em um mesmo período.

Na interpretação dos valores encontrados de SPI e, portanto, da classe de severidade, considera-se que o evento seca começa quando o SPI torna-se negativo e termina quando este volta a apresentar valores positivos (BLAIN e KAYANO, 2011). Fernandes et al. (2009) comentam que os resultados positivos de SPI mostram precipitação maior que a mediana ou média e os valores negativos demonstram precipitações menores, podendo o mesmo ser utilizado, tanto em climas secos, quanto em clima úmidos.

Mishrae Singh (2010) em uma revisão sobre os conceitos de seca e os principais tópicos relacionados na América do Norte, Europa, Ásia, Austrália e África, discorrem sobre a importância do tema, o impacto da mesma nas mudanças climáticas, a caracterização a partir de parâmetros climáticos e hidrológicos, dentre outros. Os autores consideram que é necessária a compreensão das relações entre estes dois conjuntos de parâmetros (índices), com o propósito de desenvolver medidas para mitigar os impactos de secas.

A seca está intimamente associada ao déficit de precipitação sendo, por exemplo, chamada de “azar climático” por Roldão e Santos (2014), com seus primeiros efeitos sentidos quando da seca meteorológica. Com a permanência da ausência de chuva as consequências são sentidas na seca agrícola, prejudicando as culturas da época e, em um período mais longo, ocasionará a seca hidrológica.

Não é por acaso o uso cada vez mais frequente do SPI como ferramenta para diagnósticos de seca nas mais diversas regiões do mundo, e da associação das suas escalas temporais com os diferentes tipos de seca. Em Portela et al.(2012) há referência a respeito da escala de tempo utilizada pelo índice e os tipos de seca. Os diferentes estágios que perpassam os tipos de seca são relacionados com as escalas do SPI, pois como relata Guedes et al. (2012), o SPI 3 meses fornece um panorama das condições de água no solo, e é sensível às grandes variações na magnitude da chuva, onde a precipitação é muito reduzida ou abundante. Ainda segundo os autores, o SPI 6 é relacionado às anomalias das reservas de água a as vazões dos rios e o SPI 9 dá a indicação de padrões de precipitação; já o SPI 12 está ligado a escassez de água em forma de vazão e aos níveis de água dos lençóis subterrâneos.

Ainda sobre as escalas temporais do SPI, Júnior (2012) relata que o SPI 3 reflete as condições a curto prazo, o SPI 6 representa eventos de média duração, essencial para monitoramento do período de transição entre o seco e o chuvoso e o SPI 12 mostra padrões de precipitação de longo prazo, o que segundo o autor, é importante para o monitoramento da variabilidade anual e interanual.

Segundo Domingos (2006), o SPI 1 é uma representação mais exata da precipitação mensal, porque a distribuição foi normalizada e ele reflete condições de curto prazo. No caso do SPI 3, por exemplo, para o mês de fevereiro, compara a precipitação total de dezembro-janeiro-fevereiro de um determinado ano, com totais de precipitação de dezembro a fevereiro de todos os anos da série, este mostra as condições de água no solo a curto e médio prazo e fornece uma estimativa da precipitação sazonal.

Já para o SPI6 meses, Domingos (2006) considera que este compara a precipitação para o período com o mesmo período de 6 meses dos anos da série histórica em análise, ou seja, um SPI 6 meses no final de setembro compara o total de precipitação para o período de abril a setembro, com todos os totais anteriores para o mesmo período. Para o SPI 12 é comparada a precipitação de 12 meses consecutivos, com os mesmos 12 meses dos anos anteriores da série histórica. Portanto, está diretamente associado à falta de água em reservas, caudais e níveis de água subterrânea, os quais correspondem a escalas de tempo longas.

3.6 Distribuição Espacial do Índice Padronizado de Precipitação (SPI)

A representação na forma de mapas que retrate o comportamento atmosférico e/ou climático de uma região são hoje muito requisitados, tanto por profissionais que necessitam de dados específicos para o monitoramento, quanto por aqueles que desejam obter informações para seu cotidiano. Ao estudar os índices de seca, há necessidade de dados de precipitação que nem sempre são alcançados com facilidade, em função do tamanho das séries dos registros históricos. O SPI, criado por McKee et al. (1993), necessita de uma série de dados de precipitação total mensal de no mínimo 30 anos, além disso, os registros devem ser contínuos (sem falhas) e em todas as estações selecionadas, há a exigência de um período similar (início e fim). Assim, aliar os resultados obtidos quanto às classes

de severidade de seca, à um Sistema de Informações Geográficas (SIG), permite a distribuição espacial dos mesmos, assessorando na compreensão do comportamento da variável envolvida, no sentido de permitir a melhor gestão e planejamento dos recursos hídricos.

Pellegrino et al. (2007) objetivaram estimar e mapear o SPI, com base nos dados meteorológicos do portal AgriTempo e da Agência Nacional de Águas (ANA), com o propósito de desenvolver uma interface gráfica para consultados diferentes usuários. Para tanto, após a seleção de dados e o cálculo do SPI, o resultado dos valores totalizados foi utilizado para a interpolação no programa Surfer 8.0, usando Krigagem ordinária para confecção dos mapas da distribuição espacial do SPI.

O resultado da distribuição espacial é a confecção de superfícies para visualização de um determinado atributo de interesse. Entretanto, muitas vezes não se dispõe de todos os dados necessários, localizados dentro dos limites da região selecionada para pesquisa, podendo, então, serem gerados por modelagem matemática de forma analítica, a partir dos resultados obtidos. Segundo Pedrosa e Carvalho (2010), essas superfícies são os Modelos Digitais de Terrenos (MDT), os quais utilizaram um método chamado Inverso do Quadrado da Distância, e afirmam que este é habitualmente empregado em sistemas SIG, para geração de dados, a partir de informações pontuais. A interpolação, segundo Landim (2000), tem como um de seus objetivos, o procedimento matemático de ajuste, para uma função onde não há informações, a partir dos resultados obtidos de outros pontos da amostra.

A técnica de interpolação geoestatística tem como vantagens sobre as demais, a possibilidade de controle de parcela do erro aleatório causado pela influência espacial mútua entre as amostras, chamada de dependência espacial (MELLO et al., 2007).

4 Material e Métodos

4.1 Caracterização da Região de Estudo e Clima

O Estado do Rio Grande do Sul ocupa uma área de aproximadamente 282.184 km² e localiza-se entre as latitudes 27°05´S e 33°45´S e as longitudes 49°43´O e 57°39´O. Segundo a classificação de Köppen, o Estado se enquadra na zona fundamental temperada ou “C”, isto é, com temperatura média do mês mais frio próxima a 3°C, e no tipo fundamental “Cf”, clima temperado úmido, com chuvas distribuídas por todo ano. Como uma subdivisão do tipo fundamental “Cf”, o Estado costuma ser classificado em duas variedades específicas: clima subtropical ou virgiano, “Cfa”, cuja temperatura do mês mais quente é superior a 22°C, e a do mês mais frio oscila entre 3 e 18°C (ALVARES et al., 2013).

A precipitação pluvial anual média do Rio Grande do Sul é da ordem de 1.540mm, sendo superior a 1.500mm na metade norte do Estado e inferior a este valor na metade sul (BERLATO, 1992). Sua distribuição nas quatro estações do ano é bastante uniforme, apresentando, em média, 24% no verão, 25% no outono, 25% no inverno e 26% na primavera. Embora essa classificação climática indique uma ocorrência de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, são frequentes as deficiências de umidade nos solos, devido às estiagens associadas a uma maior evapotranspiração na primavera e verão. Essas condições aconselham a prática da irrigação, normalmente de caráter suplementar, porém decisiva para manter níveis adequados de produtividade média dos cultivos.

4.2 Levantamento dos Dados

O presente trabalho foi realizado a partir do levantamento de dados de todas as estações pluviométricas (Número da estação, Nome da estação, Latitude, Longitude e Altitude) existentes no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013) e da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), pertencentes ao Estado do Rio Grande do Sul. Foram utilizadas 40 estações pluviométricas distribuídas nas sete mesorregiões (IBGE, 2015) (Figura 2), selecionando-as em função da existência de um período comum de dados. Na Figura 3 encontra-se a localização das estações pluviométricas utilizadas no presente trabalho e na Tabela 1, a caracterização das mesmas.

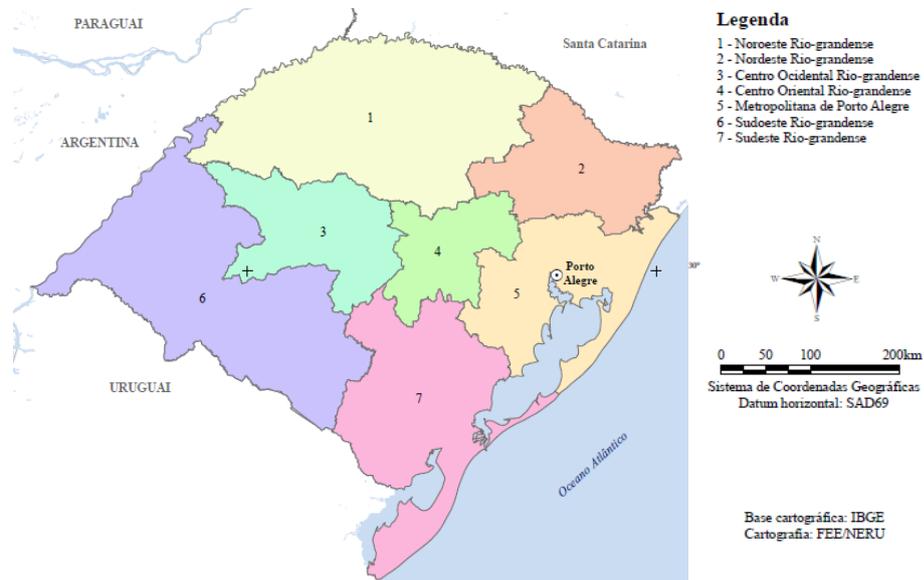


Figura 2. Divisão do Estado do Rio Grande do Sul em sete mesorregiões. Fonte: IBGE (2015)

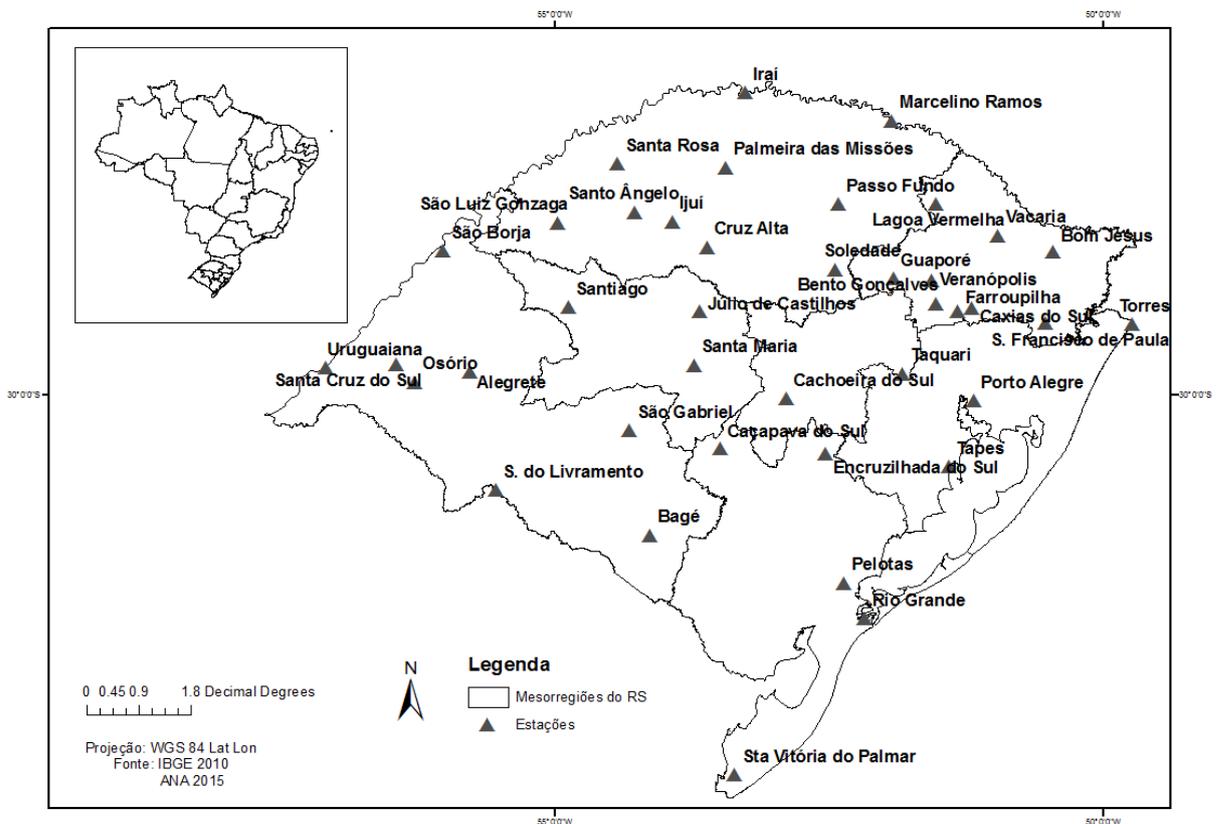


Figura 3. Localização das 40 estações pluviométricas nas sete mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: ANA (2015)

Tabela 1. Caracterização das 40 estações de precipitação localizadas nas sete mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul

Mesorregião	Estação	Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Centro Ocidental	2953017	Santa Maria	29°43'27"	53°43'12"	95
	2953011	Júlio de Castilhos	29°13'00"	53°40'00"	516
	2954011	Santiago	29°11'00"	54°52'00"	426
Centro Oriental	2955012	Santa Cruz do Sul	29°43'00"	56°26'00"	53
	3052002	Cachoeira do Sul	30°02'00"	52°53'00"	73
	2951030	Taquari	29°48'00"	51°49'00"	76
Metropolitana	2950021	Osório	29°53'00"	56°16'00"	10
	3051011	Porto Alegre	30°03'13"	51°10'24"	47
	3051013	Tapes	30°40'00"	51°24'00"	5
	2949002	Torres	29°20'41"	49°43'41"	31
Nordeste	2951003	Bento Gonçalves	29°09'00"	51°31'00"	640
	2851011	Guaporé	28°55'00"	51°54'00"	471
	2951008	Caxias do Sul	29°11'39"	51°11'09"	760
	2850011	Vacaria	28°31'00"	50°57'00"	1050
	2951013	Farroupilha	29°13'00"	51°19'00"	750
	2851042	Veranópolis	28°56'14"	51°33'11"	705
	2850001	Bom Jesus	28°40'07"	50°26'31"	1048
	2851014	Lagoa Vermelha	28°13'19"	51°30'45"	842
	2950032	São Francisco de Paula	29°20'00"	50°31'00"	922

Continua

Mesorregião	Estação	Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Noroeste	2753005	Palmeira das Missões	27°53'00"	53°26'00"	634
	2835005	Cruz Alta	28°37'28"	53°36'12"	432
	2853025	Ijuí	28°23'17"	53°54'50"	448
	2754005	Santa Rosa	27°51'00"	54°25'00"	360
	2852020	Passo Fundo	28°13'33"	52°24'12"	684
	2852045	Soledade	28°50'00"	52°26'00"	720
	2854007	Santo Ângelo	28°18'00"	54°16'00"	289
	2751005	Marcelino Ramos	27°27'00"	51°55'00"	414
	2854011	São Luiz Gonzaga	28°24'00"	54°58'00"	245
	2753003	Iraí	27°11'20"	53°15'12"	247
Sudeste	3053002	Caçapava do Sul	30°30'00"	53°29'00"	450
	3152014	Pelotas	31°45'00"	52°21'00"	13
	3252020	Rio Grande	32°04'44"	52°10'00"	3
	3353007	Santa Vitória do Palmar	33°31'57"	53°20'58"	24
	3052005	Encruzilhada do Sul	30°32'37"	52°31'25"	428
Sudoeste	3053002	Alegrete	29°47'00"	55°46'00"	121
	3055001	Santana do Livramento	30°53'00"	55°32'00"	328
	3054011	São Gabriel	30°20'00"	54°19'00"	124
	3154001	Bagé	31°18'17"	54°07'11"	230
	2957001	Uruguaiana	29°45'00"	57°05'00"	62
	2856005	São Borja	28°39'44"	56°00'44"	83

4.3 Preenchimento das Falhas de Dados Diários de Precipitação

Diante das estações obtidas verificou-se que 15 delas apresentavam falhas em seus dados diários, cujas informações de períodos analisados nas etapas de modelagem e verificação, encontram-se na Tabela 2. As falhas de dados diários de precipitação foram preenchidas utilizando a modelagem estocástica da Cadeia de Markov homogênea de primeira ordem e dois estados (STERN e COE, 1984; PAIVA e CLARKE, 1997).

Tabela 2. Períodos utilizados para o preenchimento de falhas das chuvas diárias das quinze estações utilizadas

Nome da Estação	Código	Período de Calibração	Período de Validação
Bagé	83980	01/01/1992 a 31/12/2000	01/01/1963 a 31/12/1973
Bento Gonçalves	83941	01/01/1974 a 31/12/1977	01/01/1994 a 31/12/1997
Bom Jesus	83919	01/01/1969 a 31/12/1978	01/01/1996 a 31/12/2000
Cruz Alta	83912	01/01/1996 a 31/12/2000	01/01/1992 a 31/12/1993
Encruzilhada do Sul	83964	01/01/1970 a 31/12/1978	01/01/1996 a 31/12/2000
Iraí	83881	01/01/1992 a 31/12/1999	01/01/1975 a 31/12/1978
Lagoa Vermelha	83916	01/01/1962 a 31/12/1969	01/01/1975 a 31/12/1978

Continua

Nome da Estação	Código	Período de Calibração	Período de Validação
Passo Fundo	83914	01/01/1992 a 31/12/1999	01/01/1975 a 31/12/1978
Porto Alegre	83967	01/01/1991 a 31/12/2000	01/01/1962 a 31/12/1966
Rio Grande	83995	01/01/1972 a 31/12/1978	01/01/1992 a 31/12/1995
Santa Maria	83936	01/01/1992 a 31/12/2000	01/01/1972 a 31/12/1976
Santa Vitória do Palmar	83997	01/01/1993 a 31/12/1998	01/01/1975 a 31/12/1978
São Luiz Gonzaga	83907	01/01/1993 a 31/12/2000	01/01/1975 a 31/12/1978
Torres	83948	01/01/1974 a 31/12/1978	01/01/1992 a 31/12/1993
Uruguaiana	83927	01/01/1993 a 31/12/1999	01/01/1975 a 31/12/1976

Para modelar a ocorrência de chuvas na bacia, mediante a cadeia de Markov de dois estados – a probabilidade da ocorrência de um dia seco ou chuvoso, depende apenas da condição do dia anterior -, sendo o dia considerado seco (0) ou chuvoso (1) (STERN e COE, 1984), considerou-se dia seco aquele cuja chuva diária foi igual ou inferior a 1 mm (DERECZYNSKI et al., 2009; MINUZZI e LOPEZ, 2014). As probabilidades de transição entre os estados seco e chuvoso, $P(00)$, $P(01)$, $P(10)$ e $P(11)$ (BAÚ et al., 2013), foram determinadas para a série anual, ou seja, foi considerada a estacionariedade anual ao invés da mensal, visto que a finalidade consistiu no preenchimento de falhas diárias e posterior constituição de séries de

chuvas máximas diárias anuais. As equações (1), (2), (3) e (4) foram utilizadas para determinar as matrizes de probabilidades de transição.

$$P00_i = \frac{N00_i}{N00_i + N01_i} \quad (1)$$

$$P10_i = \frac{N10_i}{N10_i + N11_i} \quad (2)$$

$$P01_i = 1 - P00_i \quad (3)$$

$$P11_i = 1 - P10_i \quad (4)$$

em que,

P00 - Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco;

P10 - Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso;

P01 - Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco;

P11 - Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso;

N10 - Frequência observada da sequência de um dia chuvoso seguido por dia seco;

N11 – Frequência observada da sequência de dois dias chuvosos;

N00 - Frequência observada da sequência de dois dias secos;

N01 - Frequência observada de um dia seco seguido por um dia chuvoso;

i - ano.

Após serem estimadas as probabilidades de transição, foram geradas 100 sequências de dias secos/chuvosos para todo o período em que as falhas ocorreram. A partir das sequências geradas, para cada período, foram determinadas as quantidades precipitadas nos dias considerados chuvosos.

A quantidade de chuva foi estimada mediante a distribuição Gama de dois parâmetros (DETZEL e MINE, 2011), sendo a função cumulativa de probabilidade:

$$F(X) = P(X \leq x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)\beta^\gamma} \int_0^x X^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (5)$$

em que,

β e γ - parâmetros da distribuição, estimados com base no método dos Momentos (equações 6 e 7);

$\Gamma(\gamma)$ - função Gama.

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (7)$$

em que,

\bar{x} - média observada de precipitação dos dias com chuva (mm);

s^2 – variância observada.

Uma vez aplicada a metodologia supracitada, foi necessário avaliar se há ou não diferença significativa, em nível α de probabilidade, entre as médias das séries utilizadas para validação e a observada de cada uma das estações (Tabela 2). Para tanto, foi utilizado o teste “t” de *Student*, com n-k graus de liberdade. A partir do teste “t”, foi testada a hipótese de nulidade (H_0), ou seja, se a estatística calculada do teste for inferior aos valores de “t” tabelado para um nível de probabilidade $(1-\alpha)$, sendo $\alpha = 5\%$, aceita-se H_0 e entende-se que não há diferença significativa entre as médias utilizadas no processo de validação pela modelagem Markoviana.

4.4 Análise do Número de Dias Sem Chuva (NDSC)

Para a contagem do NDSC foram utilizadas 16 estações que continham dados diários de precipitação, no período de 1961 a 2002, totalizando 42 anos, cujo período de análise foi estabelecido em função da ocorrência comum de observações

para todas as estações. Não foi possível utilizar todas as 40 estações pluviométricas, pois estas contêm dados totais mensais, utilizados para cálculo dos índices de seca, enquanto que para análise do NDSC e sequência de dias secos são necessários dados diários de precipitação. Assim foram utilizadas 16 estações, das quais 1 sem falhas e as demais (15 estações) modeladas pela cadeia de Markov e posterior preenchimento de falhas.

Foram contabilizados para cada estação, após o preenchimento das falhas diárias, os dias em que não ocorreram precipitação ($P = 0$) e aqueles em que os valores de precipitação foram iguais ou menores do que 1 mm ($P \leq 1$ mm) (DERECZYNSKI et al., 2009; CARVALHO et al., 2013). Dessa forma valores de precipitação acima do valor de referência foram considerados chuvosos.

Após o estabelecimento dos períodos secos ou chuvosos foi realizada a soma dos dias secos para cada mês e ano, obtendo-se os valores de NDSC para cada estação. A análise do NDSC serviu como base para o cálculo das sequências de dias secos, permitindo o estudo do comportamento pluviométrico das estações analisadas.

4.5 Sequência de Dias Secos

Após a contagem do NDSC foi realizada a análise das sequências de dias secos para as mesmas estações, ou seja, foi contabilizado o número de sequências em três diferentes intervalos de tempo, ≥ 5 dias, ≥ 7 dias e ≥ 10 dias, definidos através de análises das ocorrências de dias secos e chuvosos, de acordo com Carvalho et al. (2013).

4.6 Índice de Moreno (IM)

Para avaliar a ocorrência de seca nas estações do Rio Grande do Sul utilizando o IM foram utilizadas as escalas trimestral e semestral. A primeira combinação de três meses consecutivos a analisar foi composta pelos meses de junho, julho e agosto e a segunda, pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Na escala semestral foram considerados os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro; e os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e

março(MORENO, 1994). A equação (8) permite o cálculo do IM, tanto na escala trimestral, quanto semestral e a Tabela 3, a classificação da severidade da seca de acordo com os valores obtidos do índice.

$$IM = \left(\frac{p - P}{p} \right) \quad (8)$$

em que,

IM - índice de seca de Moreno (1994) (adimensional);

p - chuva total semestral ou trimestral (mm);

P - chuva média semestral ou trimestral no período (mm).

Tabela 3. Classificação do Índice de Moreno (1994) (IM) quanto à severidade de seca

IM (adimensional)	Classe de severidade
IM > -0,2	Normal
-0,4 ≤ IM < -0,2	Seca Moderada
-0,6 ≤ IM < -0,4	Seca Intensa
IM < -0,60	Seca Extrema

4.7 Índice Padronizado da Precipitação (SPI)

Os valores do SPI foram calculados para as escalas temporais de 1, 3, 6, 9, 12 e 24 meses, seguindo a metodologia descrita em Mckee et al. (1993), sendo cada conjunto de dados (mês e escala temporal) ajustado à distribuição Gama de dois parâmetros (BLAIN e BRUNINI, 2007), para definir a relação entre a probabilidade e a precipitação.

A distribuição Gama é definida para uma variável aleatória contínua positiva x pela função de densidade de probabilidade:

$$g(x) = \frac{1}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \frac{\exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)}, \quad x > 0 \quad (9)$$

onde $\alpha > 0$ e $\beta > 0$ são respectivamente, os parâmetros de forma e de escala. A função Gama $\Gamma(\alpha)$ na fórmula (9) é definida por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (10)$$

Para estimar os parâmetros α e β foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança (THOM, 1966), segundo as equações (11), (12) e (13).

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (11)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (12)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(X) \quad (13)$$

em que,

\bar{X} - média aritmética da precipitação pluvial (mm);

N - número de observações da série de precipitação.

Os resultados dos parâmetros de forma e escala foram usados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para a escala de tempo considerada. A probabilidade cumulativa é dada pela equação (14).

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (14)$$

Substituindo $t = x/\beta$, a equação 14 transforma-se na função Gama incompleta, equação (15).

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (15)$$

Como a função Gama é indeterminada para $x = 0$ e caso uma distribuição de precipitação contenha zeros, a probabilidade cumulativa toma a seguinte forma (equação 16).

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (16)$$

em que,

$H(x)$ - distribuição de probabilidade cumulativa;

q - probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(x)$ - distribuição cumulativa teórica. Se m é o número de zeros em uma série temporal de precipitação, Thom (1966) indica que q pode ser estimado por $m/n + 1$.

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é transformada em uma variável aleatória normalizada (Z), com média zero e desvio padrão 1, onde a variável (Z) corresponde ao valor de SPI. O valor de (Z) ou SPI pode ser obtido pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal, a variável (Z), em que Z é definido pelas equações (17) e (18).

$$Z = \text{SPI} = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (17)$$

$$Z = \text{SPI} = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (18)$$

Sendo t definido pelas equações 19 e 20.

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (19)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < H(x) < 1,0 \quad (20)$$

Os coeficientes utilizados nas equações 17 e 18 são: $C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_3 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,001308$.

Após a determinação dos valores de SPI para cada estação e cada escala temporal foi utilizada a Tabela 4 para a classificação dos valores quanto à severidade da seca (FERNANDES et al., 2010).

Tabela 4. Classificação da intensidade da seca de acordo com o Índice Padronizado da Precipitação (SPI) (FERNANDES et al., 2010)

SPI (adimensional)	Classe de severidade
0,49 a -0,49	Normal
-0,50 a -0,99	Seca ligeira
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
$\leq -2,00$	Seca extrema

4.8 Espacialização das Informações

A distribuição espacial das classes de severidade de seca, classificadas como severa e extrema, foi realizada a partir da aplicação dos dados dos diferentes índices calculados para as estações pluviométricas do Estado do Rio Grande do Sul. Cada

estação com dados válidos compõem o valor de Z do ponto amostral no espaço e no tempo, gerando mapas de distribuição dos índices de seca nas diversas escalas temporais na área de interesse do estudo.

A partir dos dados dos índices calculados e da localização das estações foi gerado um Modelo Numérico de Terreno (MNT) nos limites do estado do RS. Para tanto foi utilizado o método de estimação espacial Inverso do Quadrado da Distância (IQP, Inverse Distances Weight– IWD), utilizando um software SIG, e a equação (21) (MELLO et al., 2003).

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \cdot X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (21)$$

em que,

X_p - variável interpolada;

X_i - valor da variável da i-ésima estação vizinha;

d_i - distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

5. Resultados e Discussão

5.1 Preenchimento de Falhas de Dados Diários de Precipitação

Na Tabela 5 são apresentados os valores das probabilidades de transição $P(00)$, $P(11)$, $P(01)$ e $P(10)$ obtidos a partir da modelagem Markoviana, utilizados na simulação das sequências de dias secos/chuvosos, bem como os parâmetros de forma (β) e de escala (γ) da distribuição Gama, para quinze estações do Estado do Rio Grande do Sul, com falhas em seus dados diários. Observa-se que a menor variação entre os valores das probabilidades de transição $P(00)$ foram encontrados para os municípios de Iraí e Uruguaiana, com uma amplitude de 0,6345 a 0,8250, perfazendo 30%, respectivamente. Para a probabilidade de transição de estados $P(11)$, a amplitude foi de 0,4031 a 0,6497(61%), para as localidades de Uruguaiana e Iraí, respectivamente.

Breinl et al. (2013) aplicaram um modelo de precipitação diária fundamentado na cadeia de Markov, utilizando para a validação do mesmo, entre outros parâmetros estatísticos, as probabilidades de transição de estados. Os autores verificaram que os resultados de $P(00)$, de maneira geral, foram satisfatórios, podendo ser utilizados na simulação dos eventos, corroborando com os resultados de presente trabalho.

Os parâmetros de forma (β) e de escala (γ) da distribuição Gama utilizados na obtenção da lâmina diária precipitada, variaram de 0,55 (Cruz Alta) a 2,33 (Iraí); e 3,31 a 9,92, para as localidades de Torres e Cruz Alta, respectivamente. Com o objetivo de simular a precipitação pluvial diária para as regiões de Parnaíba e Teresina/PI, mediante o processo de simulação baseado no método de Monte Carlo, Andrade Júnior et al. (2001) utilizaram as funções de distribuição de probabilidades Gama e empírica. Os autores observaram que o melhor ajuste dos dados de Parnaíba foi obtido ao utilizar a distribuição Gama, para quantificar a chuva nos dias em que esta ocorreu. Em Teresina, contrariamente ao esperado, não ocorreu um bom ajuste dos dados à função de distribuição Gama, no período compreendido pela estação chuvosa.

Tabela 5. Probabilidades de transição P(00), P(01), P(11) e P(10) e os valores dos parâmetros β e γ da distribuição Gama, das séries de precipitação pluvial de 15 estações para o estado do Rio Grande do Sul, no período de 1961 a 2002

Estação	Probabilidade de Transição				Parâmetro	
	P(00)*	P(11)	P(01)	P(10)	β	γ
Bagé	0,7835	0,5308	0,2165	0,4692	1,83	4,91
Bento Gonçalves	0,7330	0,5302	0,2670	0,4698	1,69	6,51
Bom Jesus	0,7496	0,5261	0,2504	0,4739	1,42	5,34
Cruz Alta	0,7435	0,5197	0,2565	0,4803	0,55	9,92
Encruzilhada do Sul	0,7438	0,5464	0,2562	0,4536	1,62	4,12
Iraí	0,6345	0,6497	0,3655	0,3503	2,33	8,00
Lagoa Vermelha	0,7798	0,4745	0,2202	0,5255	1,59	4,45
Passo Fundo	0,7231	0,5619	0,2769	0,4381	2,17	6,00
Porto Alegre	0,7272	0,5487	0,2728	0,4513	1,45	3,98
Rio Grande	0,6961	0,5336	0,3039	0,4664	1,56	4,36
Santa Maria	0,7313	0,5253	0,2687	0,4747	1,65	5,61
Santa Vitória do Palmar	0,7362	0,5384	0,2638	0,4616	1,46	3,40
São Luiz Gonzaga	0,7508	0,5244	0,2492	0,4756	1,97	5,49
Torres	0,7133	0,5421	0,2867	0,4579	1,26	3,31
Uruguaiana	0,8250	0,4031	0,1750	0,5969	2,11	7,99

*P00: probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco; P01: probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco; P11: probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso e; P10: probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso; β : parâmetro de forma; γ : parâmetro de escala da distribuição Gama.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das estatísticas descritivas, média (mm), desvio padrão (mm, DP), coeficiente de variação (% , CV) e valor máximo (mm) para as séries de precipitação diária simulada e preenchida pela

cadeia de Markov e a estatística (t_{calc}) do teste t, aplicado às séries utilizadas para validação da modelagem. Comparando-se as estatísticas, observa-se que de maneira geral não houve alteração nas estatísticas descritivas das séries simulada e preenchida. Um dos pressupostos da modelagem estocástica é a preservação das características estatísticas da série histórica ou observada, em relação à gerada ou simulada (BACK et al., 2011), cujos resultados obtidos atendem ao referido pressuposto. No entanto quando são comparados os valores máximos da chuva diária verifica-se que os mesmos variaram de 91 mm (série simulada) a 166 mm (série preenchida), totalizando uma variação de 82%, para o município de Lagoa Vermelha. A importância destes resultados reside no fato de que os valores máximos de chuva diária são utilizados, por exemplo, para avaliar o comportamento das chuvas intensas, na estimativa das relações Intensidade-Duração-Frequência de uma determinada localidade (TEIXEIRA et al., 2011), que não é o foco do presente estudo, cuja importância está na análise de dias sem chuva.

Observa-se que quando é aplicado o teste “t” de *Student* entre os valores de chuva diária observados e simulados, considerando o período destinado à etapa de validação, a hipótese de nulidade foi aceita, visto que não houve diferença significativa, a 5% de probabilidade, entre as médias das séries. Os resultados obtidos podem ser expressos pela sentença: “a variação entre os valores médios das séries de precipitação diária observada e preenchida, mediante a modelagem estocástica utilizando a cadeia de Markov, não foi significativa, ou seja, a técnica citada pode ser utilizada para o preenchimento de dados diários de precipitação”.

Tabela 6. Resultados de média e desvio padrão para as séries de precipitação diária simulada e preenchida pela cadeia de Markov e estatística do teste “t”, para 15 localidades do Estado do Rio Grande do Sul

Série Simulada				Série Preenchida				t_{calc}
Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	
Bagé								
1,00	6,29	62,9	143	1,21	5,99	49,5	181	6.10^{-41}
Bento Gonçalves								
2,07	8,35	40,3	90	2,23	7,24	32,4	132	2.10^{-25}
Bom Jesus								
1,66	6,85	41,2	77	1,74	5,92	33,9	133	4.10^{-6}
Cruz Alta								
5,18	12,73	24,6	104	4,00	11,04	27,6	142	6.10^{-28}
Encruzilhada do Sul								
4,33	11,75	27,1	134	3,92	10,68	27,3	184	1.10^{-49}
Iraí								
6,20	14,95	24,1	165	4,76	12,28	25,8	200	2.10^{-39}
Lagoa Vermelha								
0,98	5,71	58,1	91	1,41	5,17	36,7	166	5.10^{-5}
Passo Fundo								
1,29	7,69	59,4	174	1,79	6,80	38,0	174	2.10^{-31}

Continua

Série Simulada				Série Preenchida				t_{calc}
Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	
Porto Alegre								
0,85	5,10	60,0	93	0,92	4,68	50,9	95	1.10^{-18}
Rio Grande								
3,64	10,96	30,1	157	3,27	9,42	28,8	194	8.10^{-37}
Santa Maria								
5,12	13,19	25,8	137	4,07	11,47	28,2	184	1.10^{-53}
Santa Vitória do Palmar								
3,52	11,36	32,3	168	3,52	9,98	28,3	168	3.10^{-34}
São Luiz Gonzaga								
1,20	7,05	58,6	103	1,40	6,20	44,4	113	3.10^{-22}
Torres								
3,73	9,61	25,8	118	3,40	9,45	28,0	182	3.10^{-24}
Uruguaiana								
2,50	10,25	41,0	164	3,86	12,13	31,4	183	2.10^{-3}

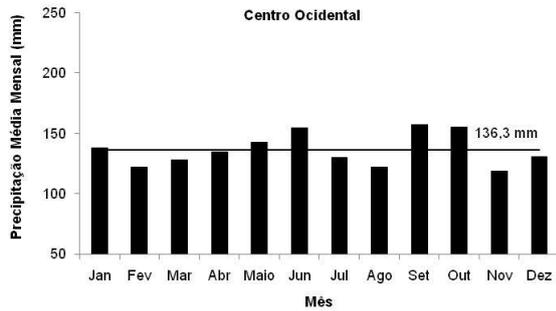
$t_{\text{tab}} (5\%) = 1,96$; Probabilidade: 5%.

5.2 Caracterização do Regime Pluvial das Mesorregiões do Estado do RS

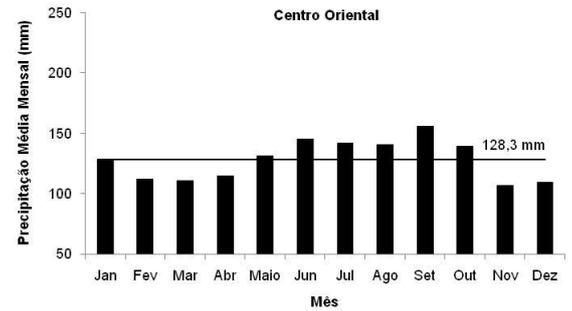
Na Figura 4 é apresentado o comportamento da precipitação média mensal das estações que compõem as diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1913-2002, bem como o valor médio. Observa-se que as médias dos valores de precipitação das estações, nas diferentes mesorregiões não apresentam uma característica de regime pluviométrico bem definido, ou seja, não há como definir com clareza as estações chuvosas e secas, oscilando entre 95,0 mm, para a mesorregião Metropolitana a 180,0 mm, na mesorregião Noroeste, para os meses de maio e outubro, respectivamente. Os valores médios para as mesorregiões Centro Ocidental, Centro Oriental, Metropolitana, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste foram 136,3; 128,3; 117,8; 146,0; 149,6; 138,9 e 124,3 mm, respectivamente. Blainet al. (2009) avaliaram a variabilidade amostral dos parâmetros da distribuição Gama, relativos a séries mensais de precipitação pluvial de apenas duas regiões (Campinas/SP e Pelotas/RS), para possível aplicação na elaboração do zoneamento agrícola, bem como para um maior entendimento do tema variações/mudanças climáticas. Os autores verificaram que ao contrário do observado na região de Campinas/SP, que possui uma estação seca definida, de maio a agosto, na região de Pelotas/RS, as chuvas são distribuídas de forma semelhante ao longo do ano.

Com base na variação climatológica mensal da precipitação nas mesorregiões de estudo, verifica-se que os meses de verão, novembro e dezembro, foram os mais secos, sendo a altura precipitada média de 97,0 e 107,0 mm, respectivamente, para a mesorregião Metropolitana. Nesta região, os municípios que mais contribuíram para os menores valores de lâmina foram Porto Alegre e Tapes.

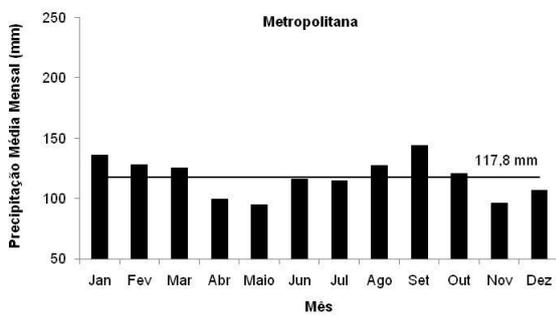
a)



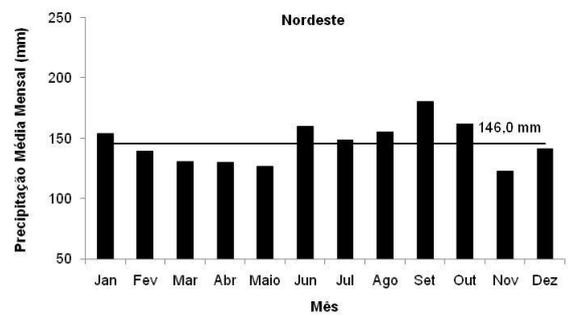
b)



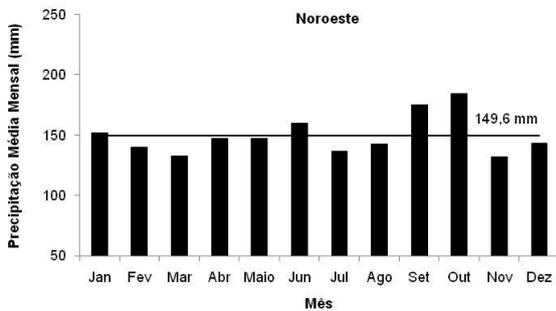
c)



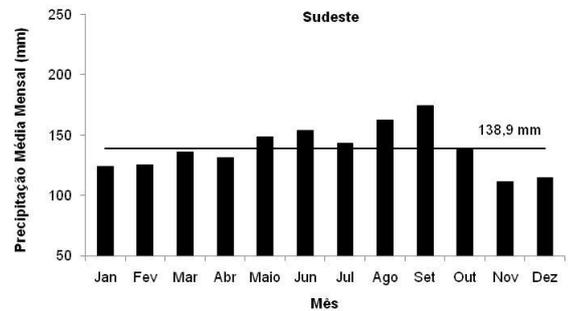
d)



e)



f)



g)

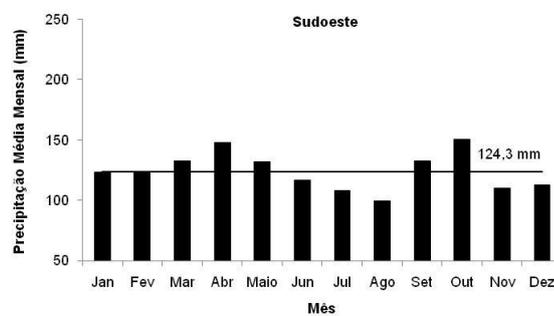


Figura 4. Precipitação média mensal das estações que compõem as diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1913-2002

5.3 Número de Dias sem Chuva (NDSC)

Na análise de NDSC foram utilizadas as informações de precipitação total mensal e a contagem para cada um dos 16 municípios, no período de 1961 a 2002 (Figuras 5 e 6). Os valores de precipitação diária menores ou iguais a 1,0 mm variaram de 15 (fevereiro) a 26 (agosto), para os municípios de Bom Jesus e Uruguiana, respectivamente. Os referidos municípios pertencem, respectivamente, às mesorregiões Sudoeste e Nordeste. De maneira geral observa-se que no mês de fevereiro, independente do município analisado, o NDSC foi menor, variando de 15 a 22, com valor médio de 19, abaixo da média geral (22).

Observa-se que das 16 localidades estudadas, em seis delas (37,5%), os valores de NDSC foram superiores ao valor da média geral, Cruz Alta (23), Pelotas (23), Rio Grande (23), Santa Maria (23), Santa Vitória do Palmar (23) e Uruguiana (24). Teixeira et al. (2013) analisaram a intensidade da seca utilizando o número de dias sem chuva (NDSC), o índice de porcentagem normal (IPN) e o índice padronizado de precipitação (SPI) para a localidade de Bagé/RS, considerada representativa da região da Campanha. Os autores encontraram que quatro períodos excederam o valor médio, 1962, 1964, 1969 e 1982, o que representam 11,7; 17,2; 9,5 e 75,1% superiores à média. Para o período analisado (1961 a 2009), ocorreram em média 24, 24, 21 e 23 dias sem chuva nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente. Santos e Bassegio (2011) encontraram para o município de Cascavel-PR, num período de 10 anos de dados, uma média de 24,7 dias sem chuva por mês.

Analisando-se o comportamento do total mensal precipitado e o NDSC para cada uma das estações, observa-se que um aumento no total de chuva não resulta necessariamente em diminuição no número de dias secos (ou aumento nos dias chuvosos) e vice-versa. Minuzzi e Lopes (2014) analisaram a variabilidade de índices de chuva nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utilizando informações diárias de 32 estações hidrológicas. Os autores encontraram que em um contexto geral, há uma predominante relação inversa entre a tendência do número de dias secos e o total de chuva, ou seja, não é proporcional.

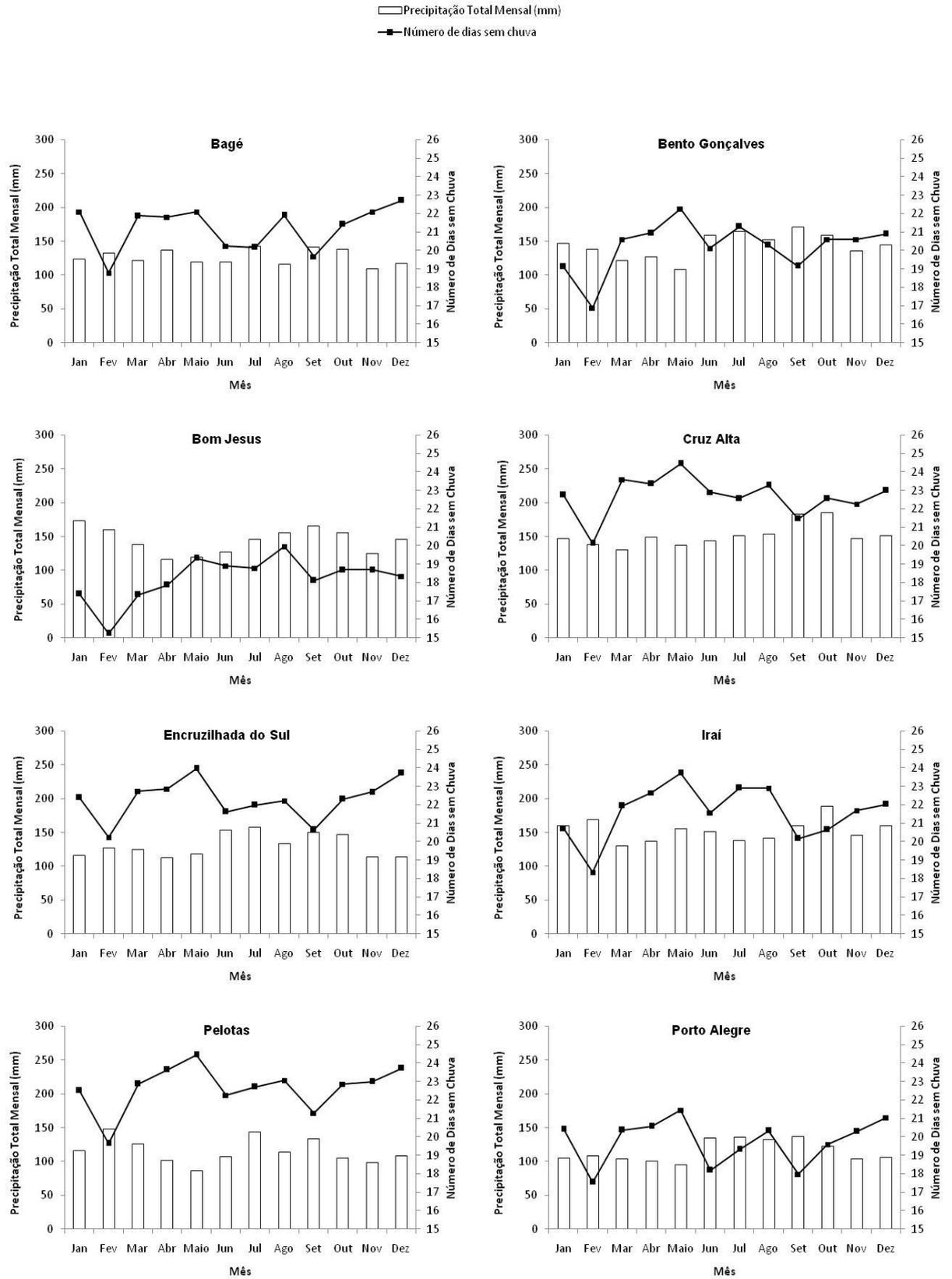


Figura 5. Comportamento da precipitação total mensal e do número de dias sem chuva para Bagé, Bento Gonçalves, Bom Jesus, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Iraí, Pelotas e Porto Alegre, no período de 1961 a 2002

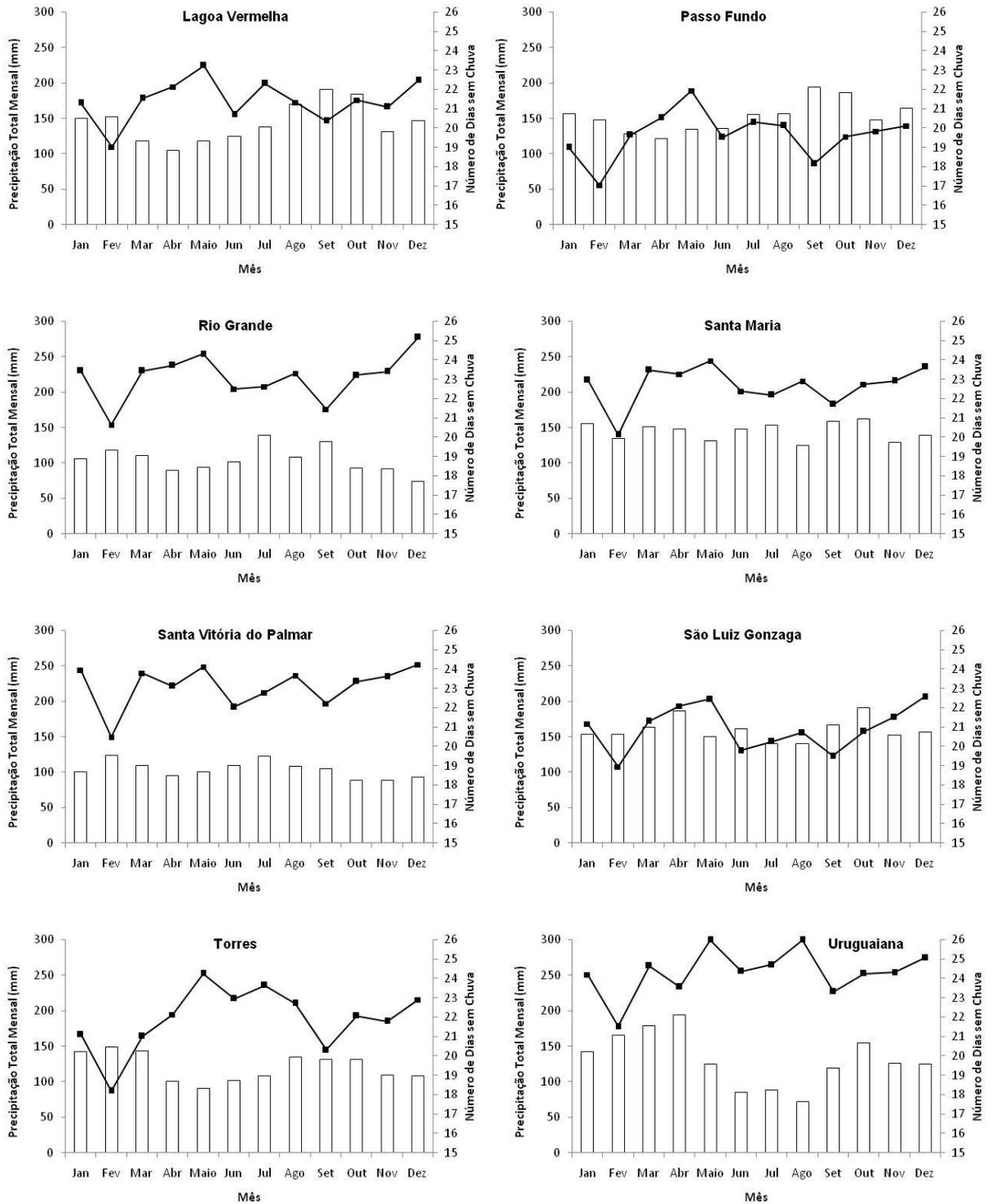


Figura 6. Comportamento da precipitação total mensal e do número de dias sem chuva para Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Rio Grande, Santa Maria, Santa Vitória do Palmar, São Luiz Gonzaga, Torres e Uruguaiiana, no período de 1961 a 2002

5.4 Sequência do Número de Dias Secos

Na análise da sequência do número de dias secos foram utilizados os intervalos com valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias. Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentadas as frequências em que cada intervalo ocorreu no período de 1961 e 2002. O destaque foi a sequência de 5 dias, sendo este o mais recorrente da série entre as estações observadas, uma vez que nos demais intervalos (≥ 7 e ≥ 10 dias) são também computadas as sequências de dias ≥ 5 . De maneira geral, observa-se que não houve oscilação considerável, sendo uniforme a distribuição entre os municípios observados, principalmente para o intervalo de 5 dias.

Carvalho et al. (2013) com o objetivo de determinar a probabilidade das ocorrências de períodos secos em Rio Largo/AL, e relacioná-la com El Niño Oscilação Sul (El Niño e La Niña), analisaram os intervalos de tempo com sequência de dias secos de ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias. Os autores apontaram o intervalo de 5 dias como o que mostrou maior ocorrência, tanto na estação seca quanto na chuvosa, com uma frequência de 5 a 85% da série, e na estação chuvosa, os períodos secos maiores do que 7 dias apresentaram de 0 a 45%; e 10 dias de 0 a 5%. Observaram ainda forte influência de eventos de ENOS (El Niño Oscilação Sul) na frequência dos períodos secos da região.

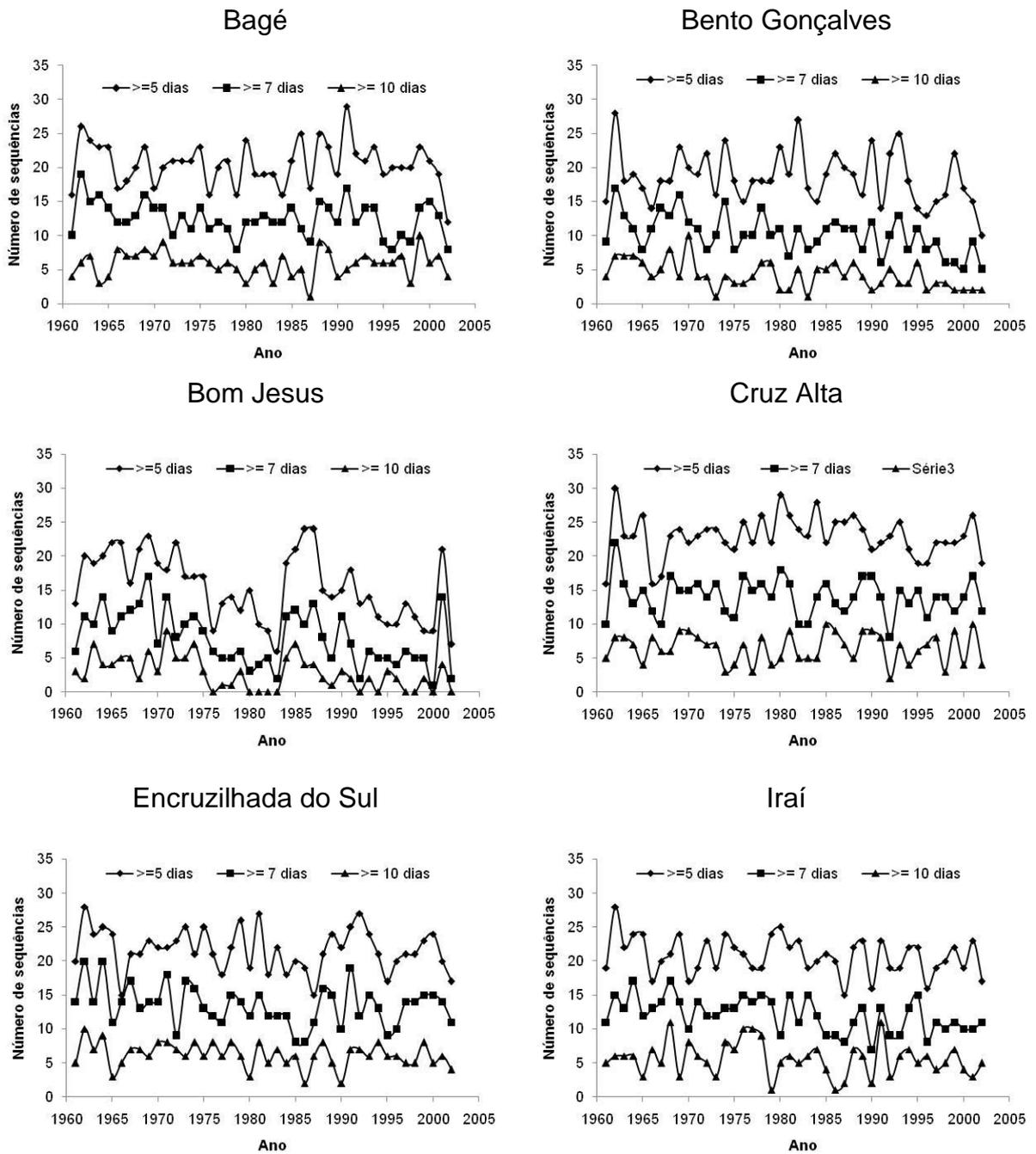


Figura 7. Contagem do número de seqüências de dias secos, considerando valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias, no período de 1961 a 2002, para Bagé, Bento Gonçalves, Bom Jesus, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul e Iraí

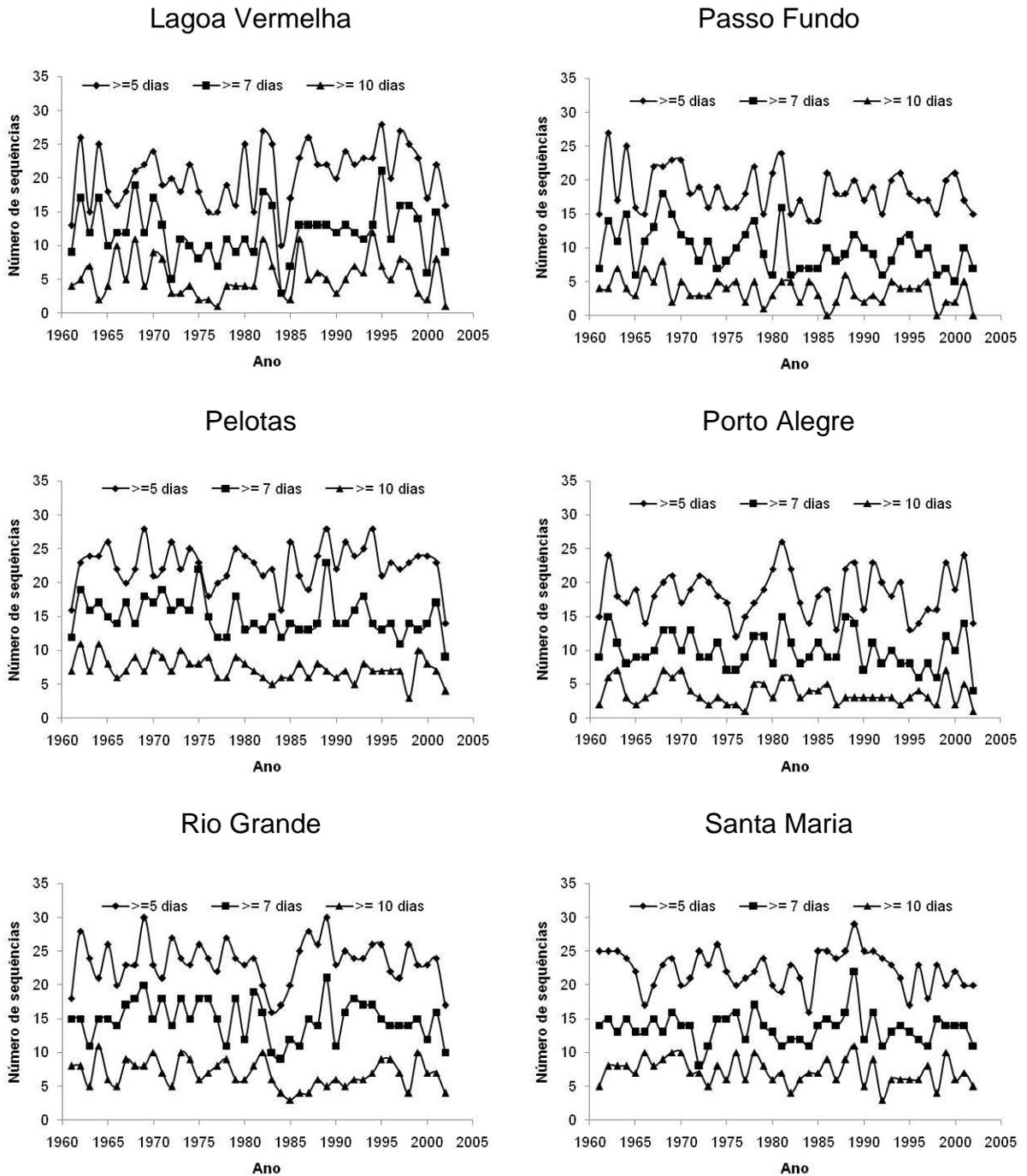


Figura 8. Contagem do número de seqüências de dias secos, considerando valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias, no período de 1961 a 2002, para Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande e Santa Maria

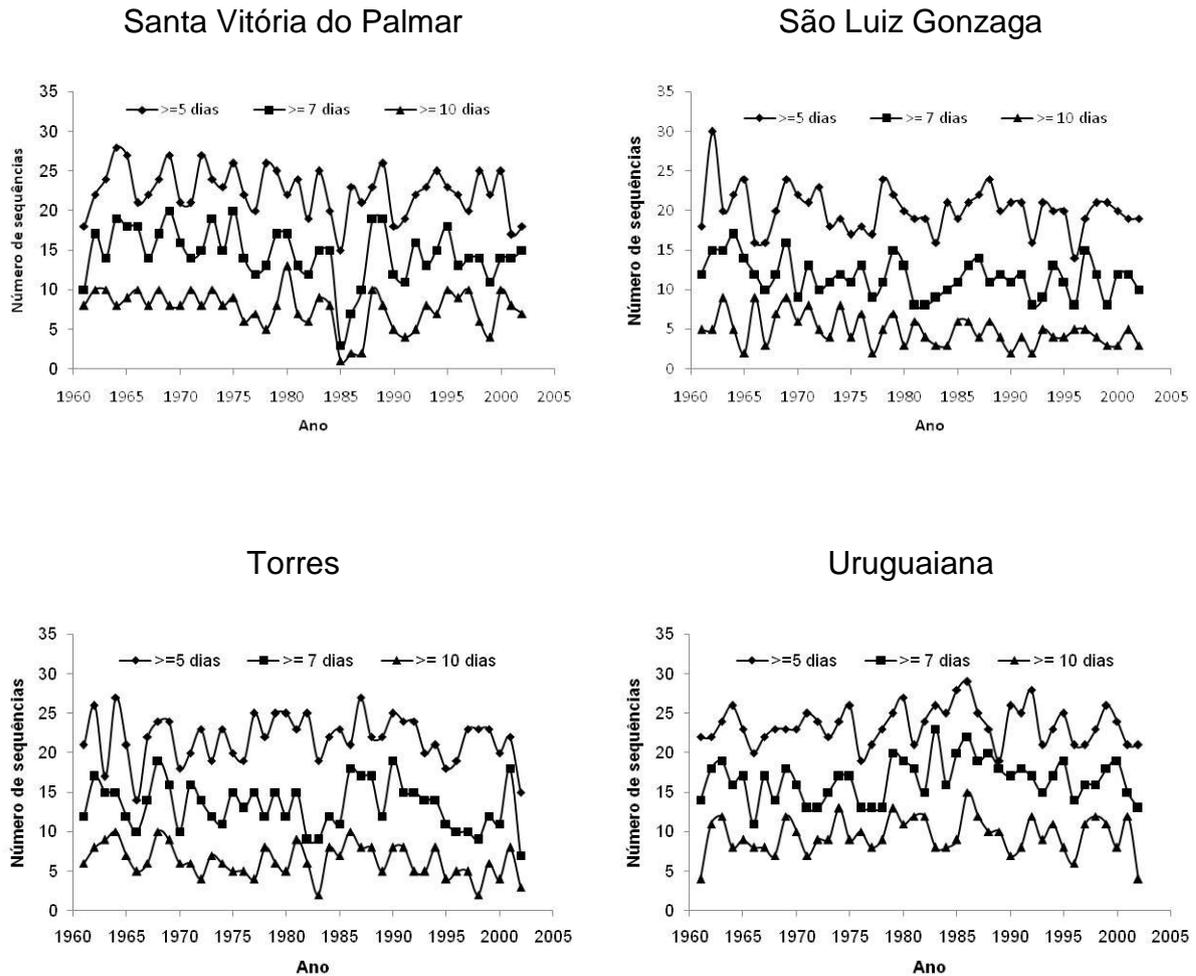


Figura 9. Contagem do número de seqüências de dias secos, considerando valores ≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias, no período de 1961 a 2002, para Santa Vitória do Palmar, São Luiz Gonzaga, Torres e Uruguaiiana

Conforme Tabela7, o município que apresenta as maiores ocorrências das seqüências de dias secos, nos três intervalos (≥ 5 , ≥ 7 e ≥ 10 dias), é Uruguaiiana (989, 698 e 403), que pertence a mesorregião Sudoeste, seguido de Rio Grande (Sudeste) para o intervalo de ≥ 5 dias (987). Para a seqüência de ≥ 7 dias foi a localidade de Pelotas (631) e para ≥ 10 dias, Santa Vitória do Palmar (319). Os valores de ocorrência de seqüências de dias secos de 5,7 e 10 dias foram considerados elevados para o estado do Rio Grande do Sul, em que 53% das ocorrências totais foram no intervalo de ≥ 5 dias, 32% de ocorrências para ≥ 7 dias e 15% para ≥ 10 dias.

Tabela7. Número de ocorrências sequenciais de dias secos para o limite de 1 mm de precipitação, no período de 1961 a 2002, para alguns municípios do Estado do Rio Grande do Sul

Localidade	Sequência		
	≥ 5 dias	≥ 7 dias	≥ 10 dias
Bagé	862	524	245
Bento Gonçalves	780	427	175
Bom Jesus	652	330	116
Cruz Alta	965	592	271
Encruzilhada do Sul	911	568	260
Iraí	873	507	236
Lagoa Vermelha	862	506	224
Passo Fundo	778	410	152
Pelotas	951	631	308
Porto Alegre	773	417	154
Rio Grande	987	628	288
Santa Maria	937	573	303
Santa Vitória do Palmar	945	612	319
São Luiz Gonzaga	844	487	204
Torres	916	560	266
Uruguaiana	989	698	403
Total	14025	8470	3924

Silveira e Assis (2000) avaliaram a probabilidade de ocorrência de períodos secos de duração variada, para a cidade de Pelotas/RS, com uma série de 1967 até 1998. Os autores obtiveram o total de dias secos para cada mês e, em seguida, selecionaram o mês de abril, para estudar a ocorrência de sequência mais

longa, por apresentar a maior soma de dias secos durante os anos estudados. Os resultados mostraram que em Pelotas, para o mês de abril, foram registrados de 5 a 17 dias consecutivos sem precipitação e o número de ocorrências do mais longo foi de 8 ocorrências, no intervalo de 7 a 11 dias secos seguidos. Roldão e Santos (2014) com o objetivo de tipificar e quantificar a ocorrência de veranicos na microrregião de Uberlândia/MG analisaram uma série histórica de 33 anos (1980-2012), de sete postos pluviométricos da região. A metodologia utilizada foi baseada na classificação de veranicos em cinco classes, segundo a duração do período de estiagem. O total de ocorrências encontradas pelos autores foi de 523, e em média, são mais de quinze veranicos anuais de diferentes intensidades, em toda microrregião, sendo que a maioria está entre a tipologia de sete e oito dias (veranicos fracos). Foram 180 ocorrências, as quais corresponderam a 35% do total quantificado, sendo na sequência o intervalo de 9 a 12 dias (veranicos fracos), os quais totalizaram 143, ou seja, 27%. Os resultados indicaram que os veranicos são recorrentes na região, concluindo que o conhecimento do clima pode influenciar diretamente nas práticas agrícolas.

5.5 Índice de Moreno (IM)

A variabilidade interanual da precipitação, nas escalas trimestral e semestral, representada pelo Índice de Moreno (IM), para as diferentes localidades do Estado do Rio Grande do Sul, divididas em mesorregiões, está apresentada nas Figuras 10 a 16. Para a análise foi considerada apenas a severidade de seca nas classes intensa ($-0,6 \leq IM < -0,4$) e extrema ($IM < -0,60$), de acordo com Moreno (1994) (Tabela 3). Observa-se que nenhum ano analisado apresentou na íntegra, valores somente positivos ou negativos das anomalias de precipitação pluvial, demonstrando a variabilidade anual da mesma. Independentemente da escala analisada verifica-se que as diferentes localidades, dentro das mesorregiões, apresentam o mesmo comportamento, ou seja, oscilam quase que de forma similar, quanto às amplitudes das anomalias, sejam elas positivas ou negativas.

Considerando a escala trimestral, para a mesorregião Centro Ocidental, composta pelos municípios de Santa Maria, Júlio de Castilhos e Santiago ocorreram 48 e 10 eventos de seca intensa e extrema, respectivamente (Tabela 8). Para cada escala trimestral ocorreram em média 6 eventos de seca intensa e 2 de seca

extrema para o período de Junho-Julho-Agosto e 9 de seca intensa e 1 de seca extrema para o período de Dezembro-Janeiro-Fevereiro. Na escala semestral constataram-se 34 eventos intensos e 5 extremos e, em média, foram encontrados 7 e 1 eventos, respectivamente, para o período de Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro e 5 e 1 eventos para Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de intensidades de seca do IM para a mesorregião Centro Oriental, cujos municípios integrantes são Santa Cruz do Sul, Cachoeira do Sul e Taquari. O número total de eventos classificados como intensos foram 47 e de 7 para extremo, na escala trimestral, cujos valores médios foram 8 e 1, respectivamente, para os trimestres. Para os períodos de Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro e Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março ocorreram 20 eventos de seca intensa e 3 de seca extrema, e 14 e 2 eventos intensos e extrema, respectivamente. Os valores médios encontrados para a escala semestral, em ambos os períodos, foram iguais aos obtidos para a mesorregião Centro Ocidental.

Na mesorregião Metropolitana, composta pelos municípios de Osório, Porto Alegre, Tapes e Torres, ocorreram 30 eventos intensos e 7 extremos e, 31 intensos e 9 extremos para a escala trimestral, nos períodos Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro, respectivamente (Tabela 8). Os valores médios obtidos foram 8 eventos intensos e 2 extremos para ambos os trimestres. Quanto a escala semestral foram observados na totalidade 14 eventos intensos (Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro e Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março) e 1 evento extremo para o período Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março (Tabela 8), com valores médios de 4 para a seca intensa, respectivamente.

Os municípios de Bento Gonçalves, Guaporé, Caxias do Sul, Vacaria, Farroupilha, Veranópolis, Bom Jesus, Lagoa Vermelha e São Francisco de Paula compõem a mesorregião Nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Tabela 8). Nos períodos de Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro foram encontrados 60 e 42, 12 e 9 eventos de seca intensos e extremo, com valores médios de 7 e 5, e 1, respectivamente. Foram encontrados 36 e 13 eventos intensos e, 1 extremo nos períodos de Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro e Outubro-Novembro-

Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março, com média de 4 e 1 eventos intensos e nenhum extremo, respectivamente.

Também na Tabela 8 são apresentados os valores de intensidades de seca do IM para a mesorregião Noroeste, cujos municípios integrantes são Palmeira das Missões, Cruz Alta, Ijuí, Santa Rosa, Passo Fundo, Soledade, Santo Ângelo, Marcelino Ramos, São Luiz Gonzaga e Iraí. A totalidade de eventos intensos (57 e 59) e extremos (30 e 11) ocorreram nas escalas trimestrais Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro, com valores médios de 6 e 7 e, 3 e 1, respectivamente. Foram encontrados 45 e 31 eventos intensos e, 6 e 2 extremos nos períodos de Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro e Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março, com média de 5 e 3 eventos intensos, 1 e 0 extremo, respectivamente.

A mesorregião Sudeste é composta pelas localidades de Caçapava do Sul, Pelotas, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar e Encruzilhada do Sul. O número total de eventos do IM, para a escala trimestral (Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro), foram 48 e 42, 10 e 8 nas intensidades intensa e extrema, com valores médios de 10 e 8, 2 e 2, respectivamente (Tabela 8). Para os semestres de Abril até Setembro e de Outubro até Março ocorreram 27 e 12, 1 e 0 eventos intensos e extrema, respectivamente, com média de 5 e 2, apenas para a seca intensa.

Os municípios de Alegrete, Santana do Livramento, São Gabriel, Bagé, Uruguiana e São Borja fazem parte da mesorregião Sudoeste do estado. Nas Figuras 16a e 16b observa-se que 42 e 53 eventos de seca intensa e 16 e 9 de seca extrema ocorreram nos trimestres Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro, com valores médios de 8 e 10, 3 e 3 de intensidades intensa e extrema, respectivamente. Quanto aos semestres, 39 e 22 eventos intensos e, 4 e 4 extremos ocorreram nos períodos de Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro e Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março, com média de 7 e 4 eventos intensos, 1 e 1 extremo, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8. Número de ocorrência do Índice de Moreno, nas escalas trimestrais e semestrais, para as intensidades intensa e extrema, nas sete mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul

Escala	Mesorregião						
	C.Ocidental	C.Oriental	Metropolitana	Nordeste	Noroeste	Sudeste	Sudoeste
Seca Intensa - escala trimestral							
J-J-A*	20	24	30	60	57	48	42
D-J-F*	28	23	31	42	59	42	53
Soma	48	47	61	102	116	90	95
Seca Extrema- escala trimestral							
J-J-A	6	4	7	12	30	10	16
D-J-F	4	3	9	9	11	8	9
Soma	10	7	16	21	41	18	25
Seca Intensa - escala semestral							
A-M-J-J-A-S*	20	20	14	36	45	27	39
O-N-D-J-F-M	14	14	14	13	31	12	22
Soma	34	34	28	49	76	39	61
Seca Extrema- escala semestral							
A-M-J-J-A-S	3	3	0	1	6	1	4
O-N-D-J-F-M	2	2	1	0	2	0	4
Soma	5	5	1	1	8	1	8

*J-J-A: Junho-Julho-Agosto; D-J-F: Dezembro-Janeiro-Fevereiro; A-M-J-J-A-S: Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro; O-N-D-J-F-M: Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março.

Considerando a totalidade do número de eventos intensos e extremos de seca (1047) em todas as mesorregiões analisadas (Tabela 9), 53,4 e 30,7% foram classificados como intensos para ambos os períodos, nas escalas trimestral e semestral, respectivamente. Já os eventos classificados como extremos ocorreram em 13,2 e 2,8%, respectivamente, para as escalas referidas anteriormente. Analisando as intensidades dentro da escala trimestral, não houve diferença percentual entre os períodos Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro, para a intensidade de seca intensa, com 50% de ocorrência. Para a intensidade de seca extrema, segundo o IM, 62,0% ocorreram no período de Junho-Julho-Agosto.

Tabela 9. Número total de eventos de seca intensa (SI) e extrema (SE) do Índice de Moreno, nas escalas trimestral e semestral

	Escala				
	Trimestral			Semestral	
	SI	SE		SI	SE
J-J-A	20	6	A-M-J-J-A-S	20	3
D-J-F	28	4	O-N-D-J-F-M	14	2
J-J-A	24	4	A-M-J-J-A-S	20	3
D-J-F	23	3	O-N-D-J-F-M	14	2
J-J-A	30	7	A-M-J-J-A-S	14	0
D-J-F	31	9	O-N-D-J-F-M	14	1
J-J-A	60	12	A-M-J-J-A-S	36	1
D-J-F	42	9	O-N-D-J-F-M	13	0
J-J-A	57	30	A-M-J-J-A-S	45	6
D-J-F	59	11	O-N-D-J-F-M	31	2
J-J-A	48	10	A-M-J-J-A-S	27	1
D-J-F	42	8	O-N-D-J-F-M	12	0
J-J-A	42	16	A-M-J-J-A-S	39	4
D-J-F	53	9	O-N-D-J-F-M	22	4
SOMA	559	138	SOMA	321	29
%	53,4	13,2	%	30,7	2,8

Boshi et al. (2011) consideram que o verão é o período mais crítico do calendário agrícola do Rio Grande do Sul por coincidir com a época em que as principais culturas de primavera-verão estão na fase de floração e enchimento de

grãos, com a maior necessidade de água e máxima sensibilidade ao déficit hídrico. Durante a primavera e verão, o estado apresenta grande demanda evaporativa da atmosfera e, conseqüentemente, sofre regularmente de deficiências hídricas, mesmo em períodos climatológicos normais. No presente estudo, segundo o IM classificado como intenso, o trimestre seco apresentou igual porcentagem de ocorrência, comparativamente ao período úmido.

Anjos et al. (2001), com o objetivo de caracterizar o clima da região de Maringá/PR, utilizaram o IM para estabelecer a intensidade da seca. Os autores caracterizaram a região em duas estações, uma chuvosa com início em setembro e término em maio do ano seguinte, e outra ligeiramente seca entre os meses de inverno. Para tanto foram analisados os semestres outubro a março e abril a setembro, e os trimestres dezembro a fevereiro e junho a agosto. Os autores encontraram destaque para o IM no trimestre seco (Junho-Julho-Agosto), com ocorrência de seca intensa em 1984 e 1985 e seca extrema em 1988 e 1996 e nos demais períodos analisados a seca ocorreu com intensidade moderada.

Analisando a escala semestral, 62,0% das ocorrências de seca intensa e extrema foram no período Outubro-Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março, e 38,0% em Abril-Maio-Junho-Julho-Agosto-Setembro.

As mesorregiões Sudeste e Sudoeste destacaram-se em número médio de eventos de seca intensa, quanto ao IM na escala trimestral, ambas com 18 eventos. Com relação aos eventos extremos, a mesorregião Sudoeste também apresentou maior número médio de eventos (6). Para a escala semestral, as mesorregiões Centro Ocidental e Centro Oriental foram as mais críticas, ambas com 11 e 2 eventos, respectivamente.

Albuquerque e Mendes (2009) aplicaram o índice de seca padrão de precipitação em nove municípios gaúchos, e posteriormente realizaram uma comparação com os dados de estabelecimento de situação de emergência fornecidos pela Defesa Civil/RS. Os autores destacaram que a maior frequência de estados de emergência, nos anos de 1991 a 2006 (45 a 63%) ocorreram na região Noroeste do estado, o que não corresponde a área de cultivo de arroz, que mais necessita de água para sua produção. A maior demanda de água no estado é destinada a irrigação e quando são comparados os resultados de frequência de emergência aos valores da razão disponibilidade e demanda hídrica, os dois são

bastante diferentes, uma vez que as áreas críticas de disponibilidade de água situam-se na região Sul.

Rodrigues (2011) analisou os padrões das ocorrências de estiagens e inundações ocorridas nos municípios do Rio Grande do Sul, no período entre 2003 e 2009, com foco nos danos socioeconômicos e humanos causados por estes eventos. O autor encontrou que o município com maior número de registros de estiagens foi São Borja, localizado na mesorregião Sudoeste do Estado, com seis eventos entre 2003 e 2009. Com cinco registros de estiagens há 13 municípios, todos na mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul, assim como 43 dos 47 municípios com quatro ocorrências de estiagens.

As maiores incidências de seca intensa e extrema, na escala trimestral, ocorreram nos anos de 1917 (4,06%) e 1962 (4,94%); 1944 (8,84%) e 1951 (16,33%), respectivamente. Na escala semestral, os anos de 1951 (6,46%) e 1962 (6,12%); 1917 (17,24%) e 1944 (17,24%), para as intensidades classificadas, segundo o IM, como intensa e extrema, respectivamente.

5.6 Análise Global do Índice Padronizado da Precipitação (SPI)

Considerando-se a análise geral para o SPI, a intensidade de eventos de seca encontra-se entre as classes de severidade severa (-1,50 a -1,99) e extrema (\leq -2,00) (GUEDES, 2012). Para as localidades estudadas, a classe de seca severa foi mais frequente entre os anos analisados, apresentando-se em todas as décadas e em todas as estações; enquanto a intensidade de seca extrema apresentou-se com menor frequência e não foi encontrada em todas as décadas e estações.

Quanto ao período analisado, na grande maioria das estações e para as duas intensidades, a ocorrência de seca surge a partir dos anos de 1916 e 1917. Na análise das décadas, a maior ocorrência de seca severa e extrema foi na década de 1943/52, havendo escassa ocorrência das mesmas na última década analisada (1993/2002), para todas as estações.

Com relação ao período e município, observou-se que a incidência de seca severa ocorreu em no mínimo 45 anos de registros, na localidade de São Francisco de Paula, e no máximo de 61 anos em Rio Grande; enquanto a seca extrema com um mínimo de 27 anos em Tapes e máximo de 41 anos em Pelotas.

Considerando-se a duração mínima consecutiva de 12 meses de seca, as Tabelas 10 e 11 apresentam os valores de início e fim de ocorrência de eventos de seca severa e extrema, duração, bem como a respectiva escala de SPI, para algumas localidades. Apesar da classe de seca severa apresentar-se na maioria dos anos das séries, as maiores sequências de períodos encontrados foram para a seca extrema, com máximo período seco consecutivo de 26 meses, para o município de Farroupilha.

Tabela 10. Período de ocorrência de eventos de seca severa, duração, bem como a escala de SPI para algumas localidades do estado do Rio Grande do Sul

Município	Início	Fim	Duração (Mês)	Escala SPI
Alegrete	ago/17	dez/18	13	24
Caxias do Sul	out/51	abr/53	19	24
Farroupilha	abr/50	abr/51	13	24
Santa Vitória do Palmar	jul/45	jul/46	13	24
São Borja	abr/34	jun/35	15	24
Taquari	jun/44	set/45	16	24

Tabela 11. Período de ocorrência de eventos de seca extrema, duração, bem como a escala de SPI para algumas localidades do estado do Rio Grande do Sul

Município	Início	Fim	Duração (Mês)	Escala SPI
Bagé	set/17	ago/18	12	24
Bento Gonçalves	set/62	ago/63	12	9
Bento Gonçalves	out/62	set/63	12	12
Bento Gonçalves	jul/63	set/64	15	24
Caçapava do Sul	abr/24	mar/25	12	9
Caçapava do Sul	out/24	abr/26	19	24
Caxias do Sul	abr/44	dez/45	21	24
Farroupilha	nov/43	dez/45	26	24
Guaporé	set/62	set/63	13	24

Continua

Município	Início	Fim	Duração (Mês)	Escala SPI
Iraí	jan/45	dez/45	12	12
Iraí	jun/45	dez/46	19	24
Júlio de Castilhos	ago/44	dez/45	17	24
Júlio de Castilhos	jul/44	ago/45	14	12
Lagoa Vermelha	set/44	mar/46	19	24
Lagoa Vermelha	jul/69	jul/70	13	24
Marcelino Ramos	jun/45	jun/46	13	24
Osório	out/79	nov/80	14	24
Palmeira das Missões	dez/44	dez/45	13	24
Passo Fundo	jul/18	ago/19	14	24
Passo Fundo	mar/45	jun/46	16	24
Porto Alegre	dez/24	maio/26	18	24
Rio Grande	jun/44	jul/45	14	24
Santa Cruz do Sul	ago/62	jul/63	12	9
Santa Cruz do Sul	out/62	set/63	12	12
Santa Rosa	mar/43	set/44	19	12
Santo Ângelo	fev/45	jun/46	17	24
São Francisco de Paula	abr/00	ago/01	17	24
São Francisco de Paula	ago/99	ago/00	13	12
São Gabriel	fev/57	jan/58	12	24
São Gabriel	out/68	jan/70	16	24

Continua

Município	Início	Fim	Duração (Mês)	Escala SPI
Soledade	ago/44	abr/46	21	24
Soledade	out/44	nov/45	14	24
Torres	out/46	fev/48	17	24
Vacaria	maio/45	abr/47	24	24

Analisando-se a Tabela 12, verifica-se que o número total de eventos de seca severa, independente das escalas de SPI analisadas, variou de 120 a 172 (70%), nos meses de dezembro e março, para as escalas SPI 9 e 3 meses, respectivamente. Considerando-se o total de eventos mensais para as diversas escalas, o que mais acusou seca foi o mês de agosto (908). Quanto ao número de eventos de seca extrema (Tabela 11), verifica-se que os valores mínimo e máximo variaram de 60 (SPI 24) a 125 (SPI 1), para o mês de agosto, com uma variação de 148%, sendo o mês de janeiro aquele com maior valor total (576).

Tabela 12. Total mensal de eventos de seca severa para cada uma das escalas temporais

Mês	Escala – Seca severa						Total
	SPI 1	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	SPI 24	
Jan	168	131	145	140	148	140	872
Fev	143	152	148	148	149	139	879
Mar	146	172	138	150	142	142	890
Abr	146	166	125	135	154	142	868
Mai	141	150	155	140	145	148	879
Jun	148	156	158	148	142	153	905
Jul	142	151	168	164	129	148	902
Ago	158	137	157	160	138	158	908
Set	127	134	144	152	133	156	846
Out	138	141	125	140	134	141	819
Nov	157	153	142	123	137	148	860
Dez	127	141	163	120	138	141	830

Tabela 13. Total mensal de eventos de seca extrema para cada uma das escalas temporais

Mês	Escala – Seca extrema						Total
	SPI 1	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	SPI 24	
Jan	119	116	91	100	81	69	576
Fev	107	91	87	102	88	74	549
Mar	109	104	95	79	94	81	562
Abr	99	73	95	84	98	71	520
Mai	108	70	79	85	83	67	492
Jun	107	78	86	77	77	63	488
Jul	106	113	66	74	85	63	507
Ago	125	102	76	77	77	60	517
Set	101	96	85	77	65	68	492
Out	99	83	98	82	84	77	523
Nov	111	81	90	81	95	70	528
Dez	123	107	88	86	86	76	566

Analisando-seo comportamento do total de eventos de seca em relação ao valor médio (Figuras 10a e 10b), verifica-se que os meses de Junho-Julho-Agosto, foram os que apresentaram maior número de eventos de seca severa, sendo superiores ao valor médio (872). Já para a seca extrema, os meses de verão foram os responsáveis pelas maiores incidências, com número de ocorrências de seca extrema acima da média (527). Este resultado torna-se inquietante em função das culturas de verão no Estado do Rio Grande do Sul, que são afetadas diretamente pela diminuição da precipitação, associada a condições climáticas restritivas, ocasionando o stress hídrico das culturas. Fochezatto e Grandó (2011), com o objetivo de analisar os impactos diretos e indiretos da queda da produção agropecuária provocada pela estiagem de 2007/2008, consideram que as principais lavouras de verão, e que, portanto, sensíveis a estiagem, são as de soja, fumo,

milho e feijão, que representam 60% do total da produção das lavouras temporárias. Os autores concluíram que a incidência de estiagem é um fator fundamental na definição do desempenho da economia do estado, com foco na difusão da prática da irrigação.

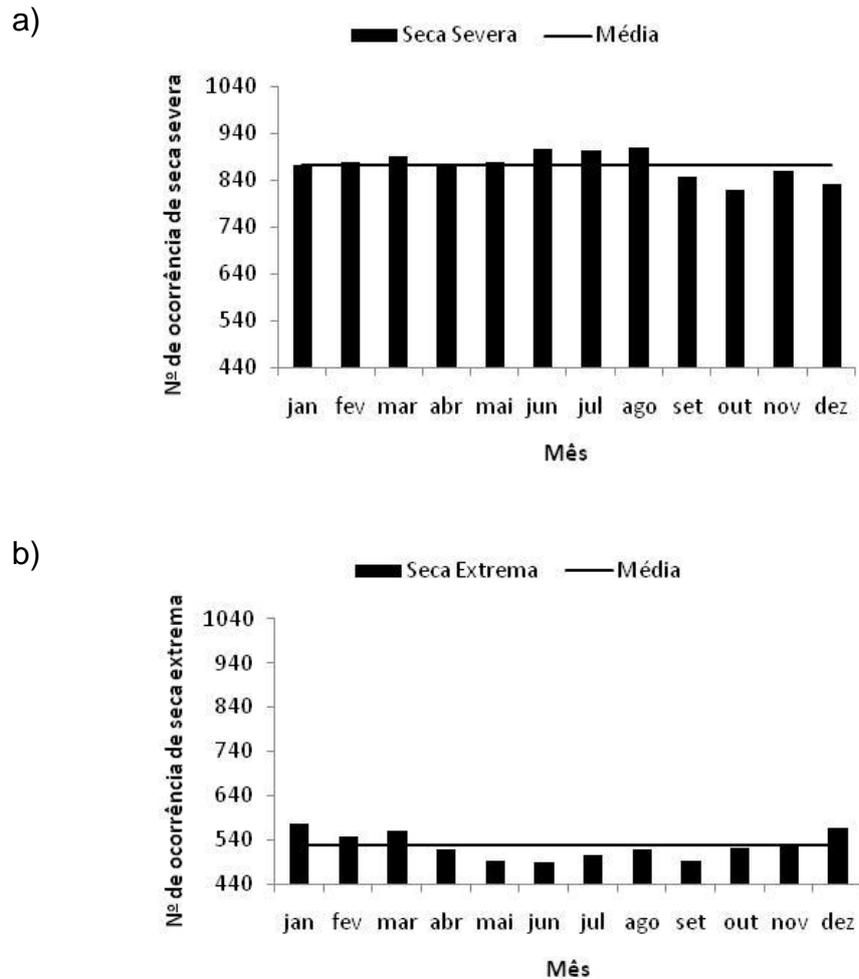


Figura 10. Comportamento do total mensal do número de ocorrência de eventos de seca a) Severa, b) Extrema, bem como a média do total de ocorrência

5.6.1 Índice Padronizado da Precipitação na Escala Mensal (SPI 1)

Para a escala de cálculo do SPI mensal, não observam-se longos períodos sequenciais de seca severa e extrema (Tabelas 14 e 15). As maiores ocorrências de seca severa foram para um período de 4 meses consecutivos (março, abril, maio e junho) na cidade de Santiago, para o ano de 1981, sendo que as maiores

ocorrências intercaladas foram de 4 a 7, nas cidades de Cachoeira do Sul, Farroupilha, Passo Fundo, Santa Vitória do Palmar, São Borja e Santiago (Tabela 14). Já para a seca extrema, as maiores ocorrências não sequenciais encontradas foram para as localidades de São Borja (março, abril, junho, setembro e outubro) e Soledade (janeiro, fevereiro, junho e setembro), nos anos de 1947 e 1962, respectivamente (Tabela 15).

Tabela 14. Ano e mês de ocorrência do SPI mensal de seca severa, para seis municípios do Rio Grande do Sul

Localidade	Ano	Meses
Cachoeira do Sul	1917	jan maio jun jul
Farroupilha	1988	mar jun jul dez
Passo Fundo	1944	maio jul ago dez
Santa Vitória do Palmar	1945	jan abr maio jun
São Borja	1947	jan fev mai jul ago nov dez
Santiago	1981	mar abr maio jun ago

Tabela 15. Ano e mês de ocorrência do SPI mensal de seca extrema, para os municípios de São Borja e Soledade, localizados no Estado do Rio Grande do Sul

Localidade	Ano	Meses
São Borja	1947	mar abr jun set out
Soledade	1962	jan fev jun set

A não ocorrência de longas sequências de seca para o SPI 1 pode ser explicado em função de que, segundo Domingos (2006), este é a representação mais fiel da precipitação mensal, uma vez que no cálculo do SPI, apesar da distribuição ser normalizada e permitir a comparação direta entre diferentes regiões, em última análise é a climatologia local de cada região que permite a interpretação

do significado do valor do índice. Em última análise, o SPI 1 representa as condições hídricas locais de curto prazo.

Na Tabela 16 são apresentadas as características do município de São Borja, quanto aos valores de precipitação total mensal do ano de 1947, em relação às médias mensais de precipitação da série (1913-2002). Verifica-se que em função dos valores de precipitação total mensal estarem muito abaixo da média, constitui-se um indicativo de que 1947 foi um ano atípico em termos de chuvas, com subestimativa de 115% em média, refletindo-se, portanto, nos valores de intensidade de seca severa e extrema.

Tabela 16. Características do município de São Borja, quanto aos valores de precipitação total mensal do ano de 1947, em relação às médias mensais de precipitação da série (1913-2002)

Mês	Total Mensal (mm)	Média Total Mensal (mm)
Jan	26	127
Fev	27	114
Mar	24	156
Abr	20	163
Maio	18	148
Jun	16	117
Jul	13	95
Ago	15	95
Set	18	139
Out	20	166
Nov	24	134
Dez	25	126

Considerando-se a distribuição das estações em mesorregiões e a análise dos valores de SPI 1 para as décadas das séries, verifica-se que a maior incidência de períodos secos, tanto para seca severa quanto para extrema, 43 e 71%, respectivamente, foi na década de 1943/1952 (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17. Número de ocorrências de seca severa para o SPI 1, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca severa							
	1933/42	Mês	1943/52	Mês	1963/72	Mês	1973/82	Mês
Centro Ocidental							30	Abr
Centro Oriental			23	out				
Metropolitana					32	Abr		
Nordeste	70	abr						
Noroeste			77	abr/ago				
Sudeste	38	set						
Sudoeste			49	10				

Tabela 18. Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 1, considerando-se na análise as décadas dasérie e a distribuição das localidades em mesorregiões

Número de ocorrências – Seca extrema				
Mesorregião	1923/32	Mês	1943/52	Mês
Centro Ocidental	21	mar		
Centro Oriental			22	ago/dez
Metropolitana			24	jul/ago
Nordeste			64	Dez
Noroeste			81	Dez
Sudeste	39	fev/out		
Sudoeste			36	abr/dez

Blain et al. (2010) aplicaram o SPI mensal, com o objetivo de averiguar o ajuste das séries temporais dessa variável à distribuição Gama, em cinco localidades do Estado do Espírito Santo. Os autores concluíram que a característica fundamental das séries de SPI é sua grande variabilidade espaço-temporal, onde um mês seco pode ser precedido e/ou seguido de um mês úmido ou normal, refletindo-se, também nas menores sequências de eventos de seca observadas nas séries.

5.6.2 Índice Padronizado da Precipitação na Escala Trimestral (SPI 3)

O número de ocorrências anuais intercaladas de seca severa para o SPI 3 variou de um a seis, formando sequências de 4 meses nos municípios de Marcelino Ramos nos anos de 1930 (abril, maio, junho e julho); 1944 (maio, junho, julho e agosto), Osório em 1979 (julho, agosto, setembro e outubro), Palmeira das Missões em 1967 (março, abril, maio e junho), Santiago em 1957 (janeiro, fevereiro, março e abril) e São Gabriel no ano de 1955 (agosto, setembro, outubro e novembro).

O comportamento anual dos períodos secos na classe de seca extrema variou de um a seis meses de ocorrências não sequenciais em anos intercalados, destacando-se uma única sequência de dez meses (março a dezembro) de seca extrema na cidade de São Borja, no ano de 1947, fato também constatado quando da análise do SPI 1. As outras sequências que se destacaram na classe extrema foram: Bagé com seis meses em 1917 (junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro); cinco meses em Caçapava do Sul no ano de 1935 (janeiro, fevereiro, março, abril e maio), Caxias do Sul em 1945 (janeiro, fevereiro, março, abril e maio), Júlio de Castilhos em 1945 (janeiro, fevereiro, março, abril e maio), Rio Grande em 1917 (julho, agosto, setembro, outubro e novembro), Santana do Livramento também em 1917 (julho, agosto, setembro, outubro e novembro) e Soledade em 1945 e 1962 nos meses de fevereiro, março, abril, maio e junho; agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro.

Na cidade de Cruz Alta houve em 1962, seca severa nos meses de fevereiro, junho, julho e dezembro e seca extrema nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro; em Santa Maria no ano de 1926 houve seca severa em maio, junho, julho e dezembro e seca extrema em março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro. Conforme Tabela 19, à exceção de março de 1962 em Cruz Alta, todos os meses apresentaram precipitação abaixo da média da série histórica analisada (1913-2002), corroborando com os resultados de severidade de seca encontrados.

Tabela 19. Características dos municípios de Santa Maria e Cruz Alta, quanto aos valores de precipitação total mensal dos anos de 1926 e 1962, em relação às médias mensais de precipitação das séries (1913-2002)

Mês	Santa Maria - 1926		Cruz Alta – 1962	
	Total Mensal (mm)	Média Total Mensal (mm)	Total Mensal (mm)	Média Total Mensal (mm)
Jan	62	148	56	149
Fev	14	135	55	137
Mar	60	138	183	131
Abr	56	144	68	149
Maio	53	149	120	150
Jun	70	157	21	158
Jul	56	145	74	140
Ago	10	124	60	142
Set	47	158	53	182
Out	30	159	56	180
Nov	39	127	44	134
Dez	73	132	85	144

Na década de 1943/52 observa-se a maior frequência de ocorrência de eventos de seca quando há a distribuição das localidades em mesorregiões, perfazendo 43 e 71%, respectivamente, para as secas severa e extrema, fato também constatado na análise da escala mensal do SPI (Tabelas 20 e 21).

Tabela 20. Número de ocorrências de seca severa para o SPI 3, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca severa					
	1943/52	Mês	1953/62	Mês	1963/72	Mês
Centro Ocidental			26	nov		
Centro Oriental					40	Jun
Metropolitana					31	jun/jul
Nordeste	85	set/out/dez				
Noroeste	92	mai				
Sudeste	47	set				
Sudoeste			51	jan/fev/ago		

Tabela 21. Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 3, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca extrema					
	1923/32	Mês	1943/52	Mês	1953/62	Mês
Centro Ocidental			22	Fev		
Centro Oriental			24	Jan		
Metropolitana			24	fev/out		
Nordeste			74	Jan		
Noroeste			97	Set		
Sudeste	25	out				
Sudoeste					44	abr

Júnior (2012) em seu estudo realizado na bacia do Rio Guandu/ES selecionou dados de 14 estações pluviométricas, com um período de 31 anos entre as décadas de 70, 80 e 90 e calculou o SPI nas escalas 3, 6 e 12 meses. Na escala trimestral, o

autor concluiu que as regiões central e norte da bacia apresentaram as maiores ocorrências de eventos secos. Em todas as décadas pesquisadas na bacia, segundo a escala trimestral do SPI, houve maior ocorrência de períodos secos do que chuvosos.

5.6.3 Índice Padronizado da Precipitação na Escala Semestral (SPI 6)

Para a intensidade classificada como severa, para a escala semestral, o máximo de meses consecutivos foi de 8 meses em Torres, no ano de 1968 (fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) e seis cidades apresentaram seis meses secos sucessivos: Bento Gonçalves em 1963 (janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho); Encruzilhada do Sul em 1962 (junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro); Santa Cruz em 1963 (março, abril, maio, junho, julho e agosto); São Francisco de Paula em 1945 (janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho); São Gabriel em 1964 (junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro) e; Santiago em 1917 (fevereiro, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro).

O diagnóstico realizado com a escala de 6 meses do SPI apontou que para seca extrema ocorreram maiores sequências de meses secos em relação a intensidade de seca severa. Para a seca extrema obteve-se cinco cidades com sete meses contínuos de seca: Bagé em 1917 (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro); Porto Alegre em 1917 (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro); Santo Ângelo em 1957 (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho e julho); São Luiz Gonzaga em 1917 (janeiro, fevereiro, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) e em 1945 (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho e julho) e; Veranópolis em 1962 (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro). Ainda para seca extrema há uma sequência com oito meses na localidade de São Francisco de Paula em 1968 (abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro); uma com nove meses em São Borja, no ano de 1947 (abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro); uma com 10 meses no ano de 1945, em Vacaria (março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) e Guaporé, com o maior período sequencial de 11 meses, no ano de 1945 (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro).

Verificando-se as décadas de maior incidência de seca para a escala 6 do SPI, não houve mudança em relação aos índices anteriores, pois este também acusa a década de 1943/52 como a de maior ocorrência de seca, principalmente para seca extrema (Tabelas 22 e 23).

Tabela 22. Número de ocorrências de seca severa para o SPI 6, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca severa							
	1943/52	Mês	1953/62	Mês	1963/72	Mês	1973/82	Mês
Centro								jun/ju
Ocidental							28	I
Centro Oriental					46	mai/jun		
Metropolitana	45	maio						
Nordeste	99	jan						
Noroeste	97	jan/jul						
Sudeste	39	dez						
Sudoeste			57	jan/jul				

Tabela 23. Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 6, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca extrema					
	1913/22	Mês	1943/52	Mês	1953/62	Mês
Centro Ocidental			16	abr/maio		
Centro Oriental			21	abr		
Metropolitana			21	jan/mar/abr		
Nordeste			97	jan/abr		
Noroeste			107	fev		
Sudeste	27	out/nov				
Sudoeste					52	abr

Na Tabela 24 estão descritas as características do município de Cruz Alta, quanto aos valores de precipitação total mensal do ano de 1917, em relação às médias mensais de precipitação da série (1913-2002), já que o mesmo apresentou no ano de 1917, todos os meses do ano com eventos de seca severa e extrema. Verificando-se a média de precipitação da série histórica, observa-se que apenas o mês de março apresenta precipitação acima da média. O SPI é um índice que reflete as condições impostas pelos tipos de seca e está associado às anomalias, variando desde a alteração nas reservas de água até as vazões dos rios. Para Portela et al. (2012), as escalas de SPI até 6 meses referem-se às secas meteorológica e agrícola e, portanto, nem sempre as secas ocorridas nas escalas mensal e trimestral surgem na escala semestral. Nesse sentido, Macedo et al. (2011) analisando o SPI em Campina Grande/PR, destacaram que algumas secas observadas no SPI 3 não permaneceram no SPI 6, o que significa que houve precipitação no período maior, 6 meses, ocasionando secas que persistiram nas escalas maiores, impactando a disponibilidade hídrica local.

Tabela 24. Características do município de Cruz Alta, quanto aos valores de precipitação total mensal do ano de 1917, em relação às médias mensais de precipitação da série (1913-2002)

Mês	Total Mensal (mm)	Média Total Mensal (mm)
Jan	81	149
Fev	81	137
Mar	144	131
Abr	65	149
Mai	55	150
Jun	26	158
Jul	32	140
Ago	106	142
Set	162	182
Out	38	180
Nov	29	134
Dez	122	144

As escalas temporais trimestral, semestral e anual do SPI foram calculadas por Santos et al. (2014) para a cidade de Belém, com uma série de 31 anos, no período de 1980 até 2011. A escala semestral apresentou 12 eventos de seca, sendo o mais longo, com duração de 35 meses de março de 1997 até dezembro de 1999, e a maior intensidade foi de novembro de 1982 até janeiro de 1984, não ocorrendo nenhum evento de seca severa, concluindo que as escalas 3, 6 e 12 contiveram mais períodos de seca do que períodos chuvosos. Os autores descreveram as características climáticas da região, que está localizada na Região Amazônica, mais precisamente no nordeste do estado do Pará, com altos valores de temperatura e umidade do ar, em função da sua proximidade com o equador e com o oceano Atlântico. Marengo et al. (2010) relatam que as mudanças climáticas que

vêm ocorrendo no país, levam a menor precipitação no sul, no centro e oeste da Amazônia, e em boa parte da região Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

O clima do Rio Grande do Sul é subtropical ou virgiano, “Cfa”, cuja temperatura do mês mais quente é superior a 22°C, e a do mês mais frio oscila entre 3° e 18°C (ALVARES et al., 2013), o que justificaria as diferenças climáticas entre as regiões de Belém e do RS, ocasionando maiores períodos sequenciais secos no Pará, quando comparados com os encontrados para o sul do país na escala semestral do SPI.

5.6.4 Índice Padronizado da Precipitação na Escala Nove Meses (SPI 9)

Na escala 9 do SPI foram identificadas as maiores sequências de períodos secos, podendo refletir-se em maiores danos ocasionados pelos eventos secos, nos mais diversos ramos. Ao constatar-se seca em escalas menores (1, 3 e 6), os danos são menores e ainda imperceptíveis, sendo em escalas e sequências maiores, torna-se fato o estrago causado pela seca, sentido na vida cotidiana, em função da falta de água, e na economia quando gera prejuízos à agricultura.

Para Guedes (2012), a escala 9 do SPI fornece um indicativo de padrões de precipitação, uma vez que as secas podem demorar uma estação do ano ou mais para ocorrerem. Para esta escala, as maiores sequências encontradas foram interanuais, sendo a seca extrema, as mais longas, de 12 meses, registradas em Bento Gonçalves, com início em 1962 nos meses de setembro a agosto de 1963; Caçapava do Sul, de abril de 1924 até março de 1925; Santa Cruz do Sul, de agosto de 1962 até julho de 1963 e São Luiz Gonzaga de abril de 1917 até março de 1918. As demais têm duração de 11 meses em Cruz Alta no ano de 1917, a partir de março até janeiro de 1918 e seis municípios apresentaram 10 meses consecutivos secos, são eles: Cruz Alta de setembro de 1962 até junho de 1963; Iraí, a partir de novembro de 1944 até agosto de 1945; São Francisco de Paula, agosto de 1999 até maio de 2000; Soledade de julho de 1962 até abril de 1963; Vacaria no ano de 1945 de março até dezembro e Santo Ângelo de novembro de 1944 até agosto de 1945.

Para o SPI 9, os períodos sequenciais que apontaram seca severa são inferiores em quantidade e número de ocorrências consecutivas, em relação às observadas na classe extrema. O período mais extenso foi de 11 meses, em

Encruzilhada do Sul, de maio de 1921 até março de 1922, com sequência de 10 meses em Porto Alegre no ano de 1943 de março a dezembro, São Francisco de Paula, com 8 meses, no ano 1950 de janeiro até agosto e, por último, em Taquari de fevereiro até agosto de 1943.

Ao verificar qual a década que mais apresentou seca dentro da escala 9 do SPI, não houve alteração em relação as escalas até aqui apresentadas, ou seja, a década de 1943/52 aparece mais vezes em relação às demais, principalmente para seca extrema (Tabelas 25 e 26).

Tabela 25. Número de ocorrências de seca severa para o SPI 9, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca severa							
	1943/52	Mês	1953/62	Mês	1963/72	Mês	1973/82	Mês
Centro								
Ocidental							27	maio/out
Centro Oriental	41	fev						
Metropolitana	61	maio						
Nordeste	144	fev/abr						
Noroeste					95	Jul		
Sudeste	44	fev/jul/ago						
Sudoeste			38	jul				

Tabela 26. Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 9, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca extrema							
	1913/22	Mês	1943/52	Mês	1953/62	Mês	1973/82	Mês
Centro								
Ocidental			20	maio/jul				
Centro								
Oriental							27	jun/jul
Metropolitana			16	mar			16	jun/jul
Nordeste			93	abr				
Noroeste			107	mar/abr				
Sudeste	22	jan/nov	22	abr/jul/set				
Sudoeste					44	abr/mai		

Farias et al. (2014) aplicaram o SPI para verificar a ocorrência de seca no município de Taperoá/PB, no período de 1963 até 2013, trabalhando com as escalas 3, 6, 9, 12 e 24 meses. Para a escala do SPI de 9 meses, não foram encontradas secas extremas e para as severas, identificaram nos períodos entre outubro e dezembro de 1963; janeiro e abril de 1982; maio de 1990 e março de 1991; novembro de 1992 e dezembro de 1993; março de 1998 e março de 1999; e maio de 2012. Durante o período de novembro de 1992 a dezembro de 1993, a maior duração foi de 14 meses, para a escala 9 meses. Os autores ressaltaram que a precipitação esteve abaixo da média durante esses anos e concluíram que os principais impactos vão deste a diminuição da produtividade das culturas, desemprego e migrações populacionais entre outros.

5.6.5 Índice Padronizado da Precipitação na Escala Anual (SPI 12)

No SPI 12 verificaram-se sequências de períodos secos maiores do que os até aqui encontrados, ou seja, se as escalas menores do SPI estão associadas à perda de umidade do solo e déficits de precipitação, a escala de 12 meses identifica

redução das águas superficiais dos rios e subterrânea (FERNANDES, 2011), demonstrando que ao aumentar a escala há evolução da seca. O maior período encontrado foi de 19 meses para classe extrema em Santa Rosa, de março de 1943 até setembro de 1944, ainda para esta classe aparecem os resultados de 13 meses em São Francisco de Paula, de agosto de 1999 até agosto de 2000, três municípios apresentaram 12 meses consecutivos: Bento Gonçalves, de outubro de 1962 até setembro 1963, Iraí, todo o ano de 1945 e em Santa Cruz do Sul, de outubro de 1962 até setembro de 1963.

Para seca severa, na escala anual, as sequências foram menores do que para a escala extrema, em que a cidade de Farroupilha apresentou 10 meses, de maio de 1950 até fevereiro de 1951; com 8 meses: Ijuí no ano de 1945 de janeiro até agosto e Soledade de setembro de 1964 até abril de 1965.

Conforme as Tabelas 27 e 28, a década em que houve maior número de ocorrência de seca, para a escala 12 do SPI, foi a de 1943/52, sendo a mesma encontrada para as demais escalas.

Tabela 27. Número de ocorrências de seca severa para o SPI 12, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca severa							
	1943/52	Mês	1953/62	Mês	1963/72	Mês	1973/82	Mês
Centro								
Ocidental							27	maio
Centro								
Oriental					38	mar		
Metropolitana	71	jun						
Nordeste	156	maio						
Noroeste	113	dez						
Sudeste	41	jun/jul/dez						
Sudoeste			44	jun				

Tabela 28. Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 12, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca extrema					
	1913/22	Mês	1943/52	Mês	1963/72	Mês
Centro						
Ocidental			21	jun/out		
Centro Oriental					31	fev/abr
Metropolitana			26	abr		
Nordeste			100	maio		
Noroeste			111	abr		
Sudeste	30	jan/mar/nov/dez				
Sudoeste					38	mar/abr

Santos et al. (2013) desenvolveram estudos na região Amazônica através de dados de 6 estações meteorológicas, calculando o SPI nas escalas 3, 6, e 12 para uma série de 1925 até 2000, cujas classes de seca selecionadas foram a severa e a extrema. A investigação mostrou que o SPI 12 apresentou uma sequência de seca de 14 meses, de maio de 1990 até junho de 1991, de 9 meses de julho de 1999 até março de 2000 e de agosto de 1966 até abril de 1967; e outra sequência de 6 meses entre outubro de 1940 e abril de 1941. Os autores ainda destacaram que as décadas que surgiram como as mais secas, tanto para a escala semestral quanto para a escala anual foram: Belém em 60, Cuiabá em 60, Manaus em 30, Porto Velho em 80, Taguatinga em 90 e lauretê em 90, ocorrendo divergência quanto à década mais chuvosa dentre as escalas. A década de 60 foi citada em um terço das ocorrências, como a mais secana região Amazônica, destacando-se também na escala anual do SPI do presente trabalho.

5.6.6 Índice Padronizado da Precipitação na Escala de Dois Anos (SPI 24)

Para Santos e Portela (2010), a escala de dois anos do SPI permite compreender o impacto das secas nos aquíferos, os quais possuem uma capacidade de resposta mais lenta. Com relação à seca extrema, as maiores sequências ocorreram em Farroupilha, com 26 meses (novembro de 1943 até dezembro de 1945); 24 meses em Vacaria (maio de 1945 até abril de 1947); 21 meses de duração em Caxias do Sul (abril de 1944 até dezembro de 1945); 19 meses, Caçapava do Sul (outubro de 1924 até abril de 1926), Iraí (junho de 1945 até dezembro de 1946), Lagoa Vermelha (setembro de 1944 até março de 1946) e Santa Rosa (março de 1943 até setembro de 1944).

No que se refere à seca severa a maior duração de período seco foi de 19 meses em Caxias do Sul (outubro de 1951 até abril de 1953); 16 meses em Taquari (junho de 1943 até setembro de 1944); 15 meses em São Borja (abril de 1934 até junho de 1935). Na análise realizada com a escala de dois anos do SPI, das sequências encontradas, apenas duas delas não estão incluídas na década apontada como sendo a mais seca (1943/52), que são os municípios de Caçapava do Sul (1924 a 1926 – seca extrema) e São Borja (1934-1935 – seca severa) (Tabelas 29 e 30).

Tabela 29. Número de ocorrências de seca severa para o SPI 24, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca severa					
	1943/52	Mês	1963/72	Mês	1973/82	Mês
Centro						
Ocidental					45	fev/mai/out
Centro Oriental			49	abr		
Metropolitana			49	nov/dez		
Nordeste	229	nov				
Noroeste	135	set				
Sudeste	66	fev/jun				
Sudoeste	70	jul/ago/set/out				

Tabela 30. Número de ocorrências de seca extrema para o SPI 24, considerando-se na análise as décadas das séries e a distribuição das localidades em mesorregiões

Mesorregião	Número de ocorrências – Seca extrema							
	1913/22	Mês	1943/52	Mês	1953/62	Mês	1963/72	Mês
Centro				ago/set/out/				
Ocidental			17	nov/dez				
Centro Oriental							9	mar
Metropolitana			33	fev/abr				
Nordeste			156	dez				
Noroeste			154	out				
Sudeste	32	jan/nov						
Sudoeste					29	abr		

Macedo et al. (2010) desenvolveram um estudo com o objetivo de subdividir o Estado da Paraíba em três sub-regiões pluviometricamente homogêneas, utilizando o SPI, nas escalas temporais de 12 e 24 meses, nas classes de severidade de seca severa e extrema. Segundo os autores, a Paraíba está inserida no semiárido nordestino e a falta de água é constante em função da seca, sendo um grave problema para o estado, pois afeta a economia, que é baseada na agricultura e pecuária. Os resultados obtidos com aplicação do SPI 24 mostraram que para o 1º grupo, as respostas encontradas com maiores sequências de meses secos foram na cidade de Alagoa Grande, de 1997 até 2000, com 39 meses de seca severa; em Araruma, de 1997 até 2000, totalizando 37 meses de seca severa e também em Campina Grande, de 1998 até 2000, com 30 meses de seca extrema. Para o grupo 2, na cidade de Salgado, de 1979 até 1981, com 24 meses de seca severa e, para o grupo 3 na cidade de Corema, de 1991 até 1995 houve 50 meses de seca severa. A conclusão deste estudo foi de que as secas verificadas pelo SPI de 1991 até 1995 e de 1997 até 2000 foram intensificadas, possivelmente, em função da atuação do El Niño, o qual reduz a precipitação na região.

No presente estudo não foram detectados períodos com mais de 26 meses consecutivos de seca para a escala 24 do SPI, diferindo dos obtidos para a Paraíba, que detectaram secas de até 50 meses, provavelmente em função da diferença climática entre as duas regiões, onde o clima semiárido da Paraíba impõe períodos de seca constantes. Enquanto no estado nordestino há a influenciado fenômeno El Niño, com redução da precipitação, no Sul do Brasil atuante é a La Niña. Ainda há de ser levado em consideração o fato das séries estudadas conterem período e duração diferentes, o que não interferiu para que os resultados apontassem também a seca severa como aquela de maior ocorrência nas séries pesquisadas.

5.6.7 Ocorrência de ENOS e os resultados do SPI e a Década e Mesorregião com maior número de Eventos Secos

Silva et al. (2014) determinaram e analisaram sazonalmente as anomalias do Balanço Hídrico para os anos de 1987 e 1999 em relação ao Balanço Hídrico Climatológico para o RS, no período de 1977 a 2006, visando analisar o impacto dos eventos El Niño (EN) de 1987 e La Niña (LN) de 1999, no regime hídrico do Estado.

Os autores utilizaram 16 estações meteorológicas selecionadas por estarem bem distribuídas e por pertencerem a diferentes regiões ecoclimáticas (regiões com características climáticas semelhantes). A distribuição anual da precipitação pluvial nos anos de 1987 e 1999 mostra que os maiores volumes pluviométricos foram registrados na metade norte, quando comparados com a metade sul, nos dois anos analisados. Para o ano de 1987, na região noroeste da metade norte, o volume pluviométrico ultrapassou 2.100 mm anuais e na sul, na região da campanha (sudoeste do Estado) e extremo Sul do RS, os volumes de chuva foram inferiores a 1.350 mm. Pode-se observar também que em 1987, em praticamente todo o Estado ocorreram anomalias positivas de precipitação (P), ou seja, neste ano a precipitação pluvial na região ficou acima da normal climatológica do período de 1977 a 2006. Além disso, as regiões norte e sudoeste foram as que apresentaram as maiores anomalias positivas de P neste ano. Exceção ocorreu no extremo sul onde foram registradas anomalias negativas de P neste ano. Observa-se ainda que em 1999, em todo o RS ocorreram anomalias negativas de P, o que mostra que neste ano a precipitação pluvial ficou abaixo da normal climatológica do período de 1977 a 2006. As regiões nordeste e sudoeste do Estado foram as que apresentaram as maiores anomalias negativas de precipitação pluvial neste ano.

Na Tabela 31 são apresentadas as mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul que se destacaram como aquelas com maior incidência de seca severa e extrema. Os referidos resultados foram obtidos a partir da relação entre o número de municípios por mesorregião e o número de ocorrências nas escalas 1, 3, 6, 9, 12 e 24 meses do SPI, uma vez que as mesorregiões não têm um número igual de municípios analisados. Para as séries de 1913 a 2002, a mesorregião com maior ocorrência de períodos secos foi a Nordeste, presente em 8 escalas do SPI. Em um levantamento feito por Rodrigues (2011), junto aos registros da Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Estado, apurou quantas foram as ocorrências de secas e inundações para o período de 2003 a 2009, concluindo que a mesorregião que mais houve seca foi a Noroeste. No presente estudo, a referida mesorregião apresentou-se como a segunda colocada, aparecendo em 4 das escalas temporais de SPI.

Tabela 31. Mesorregiões com maior número de ocorrência de seca severa e extrema considerando cada uma das classes de SPI e a década correspondente

Escala SPI– Seca	Mesorregião	Década
SPI1 – SS	Centro Ocidental	1973/82
SPI1 – SE	Nordeste/Sudeste	1943/52-1923/32
SPI3 – SS	Centro Oriental	1963/72
SPI3 – SE	Noroeste	1943/52
SPI6 –SS	Centro Oriental	1963/72
SPI6 – SE	Nordeste/Noroeste	1943/52
SPI9 – SS	Nordeste	1943/52
SPI9 – SE	Nordeste/Noroeste	1943/52
SPI12 – SS	Metropolitana/Nordeste	1943/52
SPI12 – SE	Nordeste/Noroeste	1943/52
SPI24 – SS	Nordeste	1943/52
SPI24 – SE	Nordeste	1943/52

A Tabela 32 apresenta os valores médios de precipitação da década, bem como a mesorregião que se destacaram como as mais secas, considerando todas as escalas temporais do SPI. Considerando-se a média mensal de precipitação, observa-se que 6 (março, abril, maio, julho, agosto e novembro) dos 12 meses estiveram abaixo da média (120 mm), cujos valores foram 119, 83, 107, 112, 95 e 93 mm. De acordo com Porto (2005) houve dois episódios de La Niña para a década em questão, um em 1942/43 e o outro em 1949/50, o que pode ter contribuído para que os eventos de seca tenham sido mais frequentes nestes períodos.

Tabela 32. Valores de precipitação total mensal na mesorregião Nordeste, bem como a média mensal para o período de 1943 a 1952

Mês	Precipitação Total Mensal (mm)										Média Mensal (mm)
	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	
Jan	89	168	92	342	174	170	185	87	165	125	160
Fev	98	142	80	124	146	130	92	134	225	90	126
Mar	124	155	83	71	73	130	191	137	115	114	119
Abr	52	52	78	50	89	105	153	79	120	52	83
Mai	186	31	39	110	159	190	70	143	74	64	107
Jun	127	264	124	178	150	79	135	99	64	235	146
Jul	136	84	190	84	42	188	141	107	27	125	112
Ago	117	91	110	90	102	128	89	133	31	54	95
Set	135	83	156	34	207	97	194	125	155	133	132
Out	72	181	78	172	90	172	81	178	230	178	143
Nov	72	90	86	138	73	82	52	89	160	86	93
Dez	112	35	146	200	205	21	87	175	102	145	123
Média											120

De acordo com Berlato (2005) e Alberto (2006), o fenômeno La Niña, que representa uma redução anormal das águas do oceano Pacífico Equatorial, gera influência nas condições atmosféricas, reduzindo as precipitações para o Rio Grande do Sul. De acordo com Porto (2005), os anos de ocorrência de La Niña são: 1916/17, 1920/21, 1924/25, 1928/29, 1931/32, 1938/39, 1942/43, 1949/50, 1954/55, 1964/65, 1970/71, 1973/74, 1975/76, 1988/89, 1995/96, 1998/01 e 2003/04.

Em uma verificação dos anos de ocorrência de La Niña, conforme Porto (2005), confirmou-se que na classe de seca severa do SPI, os maiores episódios deste evento foram concomitantes com anos de La Niña e para seca extrema obteve-se os menores episódios, dentre os anos do referido fenômeno. A Tabela

33apresentaem porcentagem,quanto dos municípios estudados apresentaram ocorrência de seca severa ou extrema, de acordo com SPI, nos anos de manifestação de La Niña. Observa-se que as décadas em que houve maior ocorrência de seca severa, nos municípios estudados, coincidem em mais de 90% com os períodos de La Niña, nas décadas de 1940 e 1960, o que confirma uma redução de chuvas em função do fenômeno,causando secas no estado.

Tabela 33. Comparação entre a ocorrência de La Niña e de seca severa e extrema de acordo com as classes de SPI analisadas

La Niña	Seca Severa (%)	Seca Extrema (%)
1916/17	95,0	87,5
1920/21	35,0	20,0
1924/25	87,5	85,0
1928/29	67,5	62,5
1931/32	82,5	67,5
1938/39	87,5	60,0
1942/43	100,0	85,0
1949/50	90,0	60,0
1954/55	72,5	62,5
1964/65	100,0	85,0
1970/71	95,0	67,5
1973/74	87,5	57,5
1975/76	47,5	15,0
1988/89	92,5	75,0
1995/96	65,0	40,0

Há que se mencionar ainda o fato de que em anos de El Niño fraco há grande possibilidade de redução de precipitação no Estado do Rio Grande do Sul. Segundo

Nedel et al. (2010) houve um período entre os anos de 2004 e 2005 em que ocorreu um período de seca em função da reduzida precipitação, podendo estar associado às características dos fenômenos El Niño e La Niña. O El Niño quando manifesta-se com toda a sua intensidade causa muitas chuvas ao estado, mas quando de forma fraca, a intensidade dos eventos é menor.

5.7 Espacialização do Índice Padronizado de Precipitação nas Escalas 6, 12 e 24 Meses

A espacialização das informações foi composta por resultados obtidos com as escalas 6, 12 e 24 meses do SPI, uma vez que estas representam as maiores sequências de períodos secos (Figuras 11 a 16). No apêndice é apresentado um exemplo dos dados gerados a partir da confecção dos mapas, cujos dados foram originados na elaboração dos mapas da escala SPI de 6 meses.

As Figuras 11 e 12 representam a proporção de ocorrências de seca severa e extrema para a escala de 6 meses do SPI, representada por graduação de cores. Observa-se que houve maior ocorrência em parte da região Noroeste e Sudoeste para a intensidade extrema, e para intensidade severa, a mesorregião Metropolitana é a de maior ocorrência, seguida por Noroeste, Centro Oriental, Sudeste e Sudoeste.

Convém destacar que os resultados do SPI 6, para a intensidade de seca extrema (item 5.6.3) as localidades pertencentes são Bagé e São Borja (Sudoeste) e Santo Ângelo, São Luiz Gonzaga, Veranópolis, São Francisco de Paula, Vacaria e Guaporé (Noroeste). Para a intensidade de seca severa, os municípios com maiores sequências estão na mesorregião Metropolitana (Torres), e na Sudoeste, a localidade de São Gabriel, para Sudeste, Encruzilhada do Sul, e para mesorregião Centro Oriental, o município de Santa Cruz do Cruz.

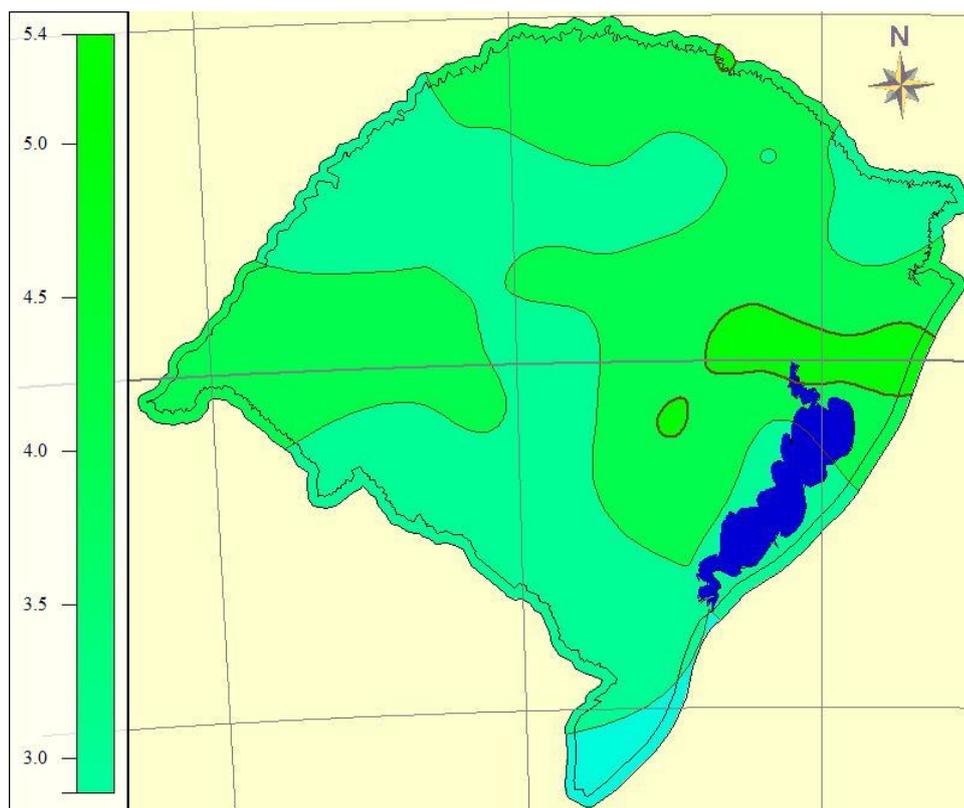


Figura 11. Espacialização dos valores de seca severa do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 6 meses)

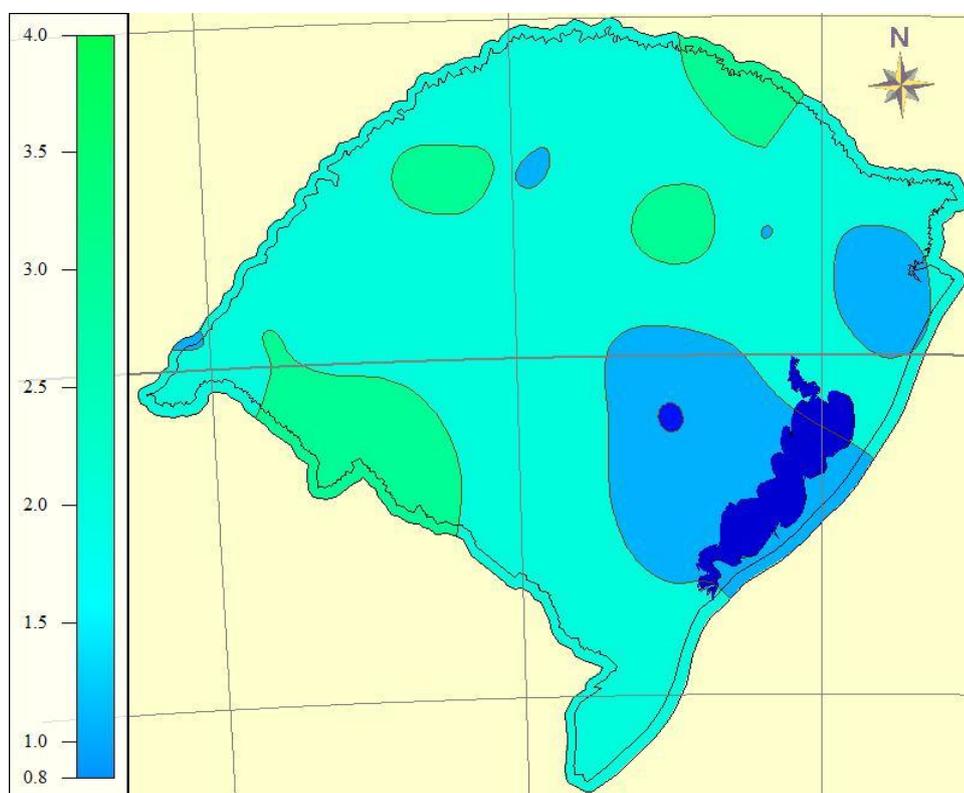


Figura 12. Espacialização dos valores de seca extrema do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 6 meses)

As Figuras 13 e 14 mostram a espacialização dos resultados obtidos pelo SPI na escala de 12 meses, a qual em conjunto com a de 24 meses, foram as que apresentaram as maiores sequências mensais de seca, nas duas intensidades estudadas.

A espacialização sugere que a mesorregião que apresentou maior proporção de ocorrência para a intensidade severa, da escala 12 do SPI (Figura 13) foi a Metropolitana, apresentando entre 5,5 e 5,9%, em proporção, relativamente às demais regiões. Após houve uma distribuição da proporção entre 4,5 e 5,5% entre as mesorregiões Nordeste; Noroeste; parte leste da região Sudoeste; uma porção da Centro Oriental e o extremo sul do estado, que se enquadra na mesorregião Sudeste. A análise apontou maiores sequências de períodos secos (item 5.6.5) para as localidades de Farroupilha, Ijuí e Soledade, pertencentes às mesorregiões Nordeste e Noroeste.

A representação espacial da intensidade de seca extrema, para o SPI anual (Figura 14) demonstra que as mesorregiões que apresentaram maiores proporções, entre 3,5 e 3,7% foram a mesorregião Nordeste, Sudoeste e parte do Noroeste. As maiores sequências de períodos secos foram nas estações pluviométricas de São Francisco de Paula e Bento Gonçalves, ambas pertencentes a mesorregião Nordeste; e para a mesorregião Noroeste, as cidades de Santa Rosa e Iraí.

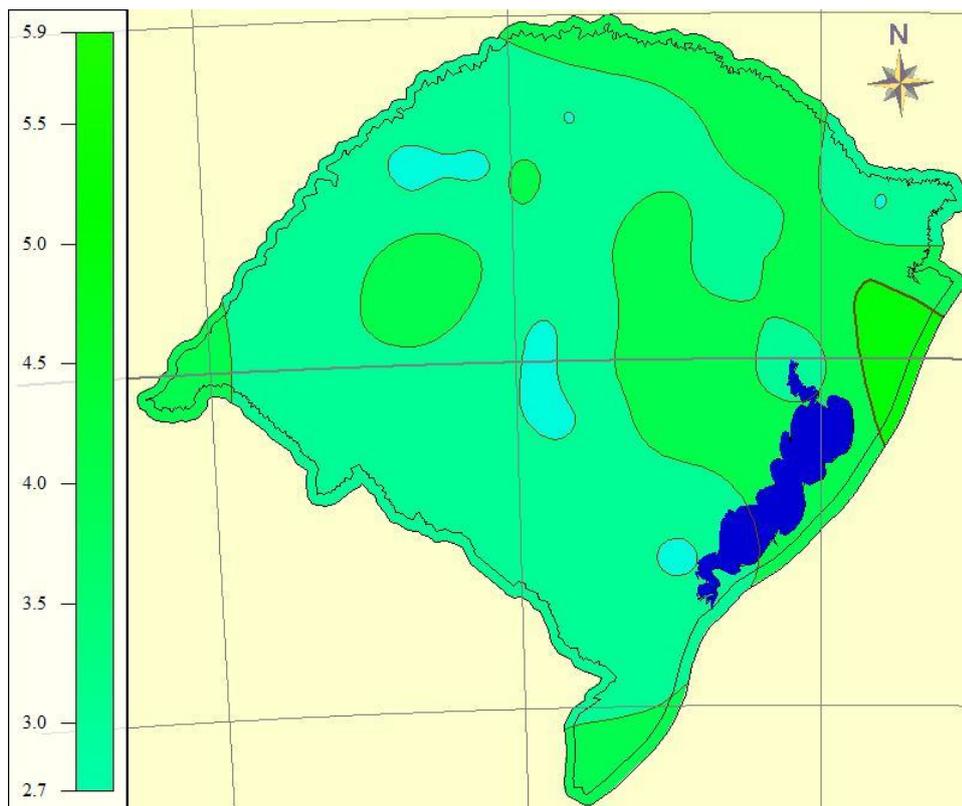


Figura 13. Espacialização dos valores de seca severa do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 12 meses)

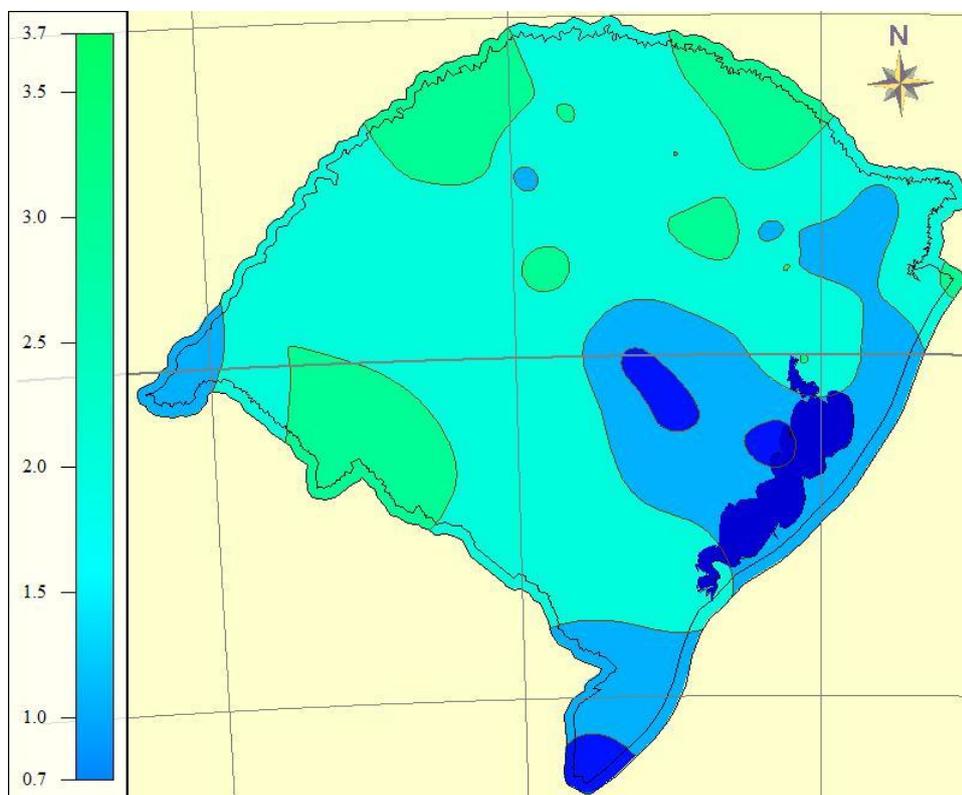


Figura 14. Espacialização dos valores de seca extrema do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 12 meses)

A escala de 24 meses do SPI é a que apresentou as maiores sequências de períodos de seca, tanto na intensidade severa quanto na extrema (item 5.6.6). Na representação desses eventos (Figuras 15 e 16), as mesorregiões Metropolitana, Sudoeste, uma parte da Centro Oriental e da Nordeste, apresentaram as maiores proporções de ocorrências, para a intensidade severa, com valores entre 5,5 e 5,9%. Destacam-se os municípios de Caxias do Sul, Taquari e São Borja, os quais fazem parte das mesorregiões Nordeste, Centro Oriental e Sudoeste.

A Figura 16 apresenta as proporções de ocorrências de seca, para a intensidade extrema, evidenciando que as mesorregiões Nordeste e Noroeste os valores foram de 3,5 e 4,0%, respectivamente, em relação às demais. A avaliação das maiores sequências de meses de seca (item 5.6.6) destacaram as cidades de Farroupilha, Vacaria, Caxias do Sul e Lagoa Vermelha (pertencentes à mesorregião Nordeste) e, ainda, Iraí e Santa Rosa (mesorregião Noroeste).

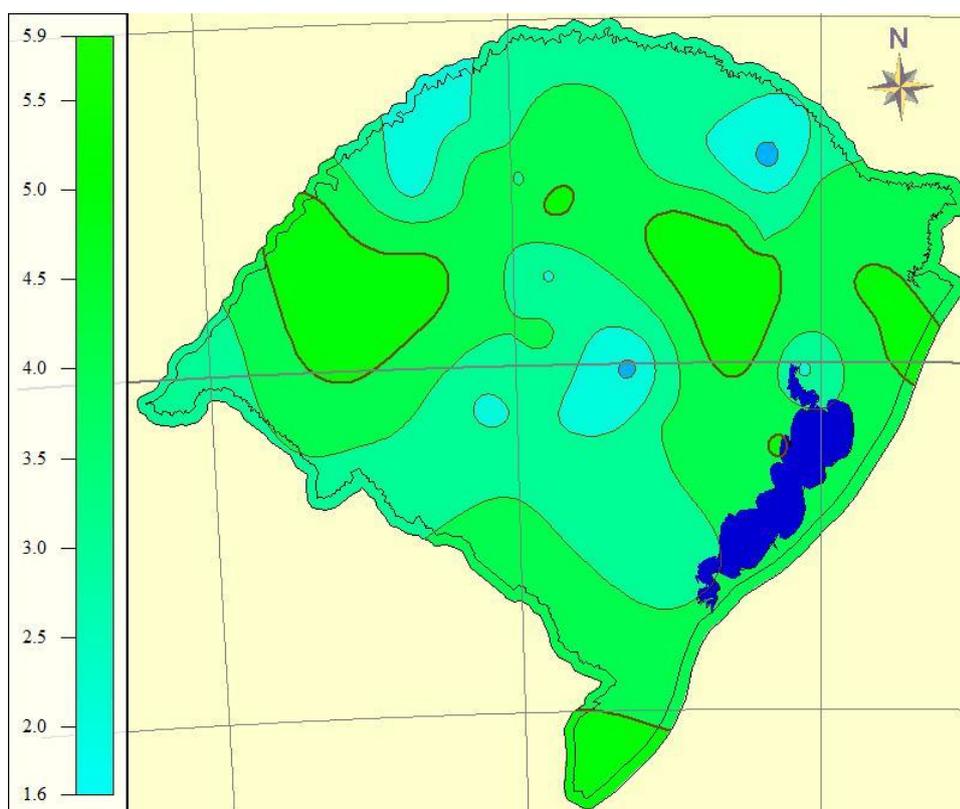


Figura 15. Espacialização dos valores de seca severa do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 24 meses)

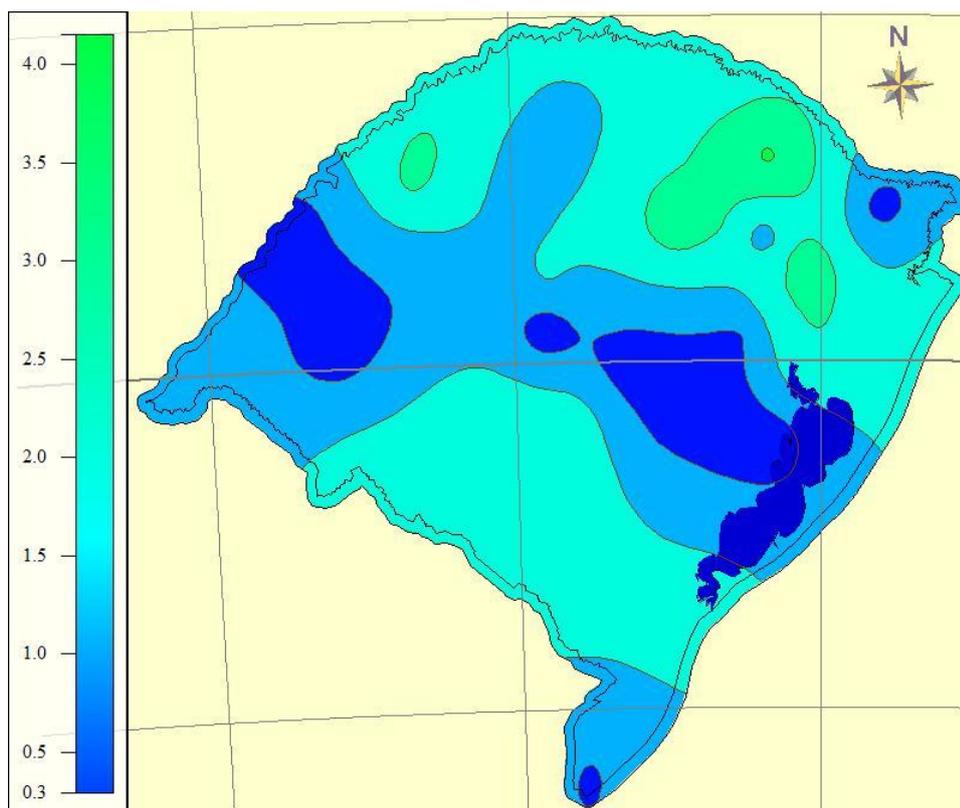


Figura 16. Espacialização dos valores de seca extrema do Índice Padronizado de Precipitação (SPI 24 meses)

Pellegrino et al. (2007) estimaram e apresentaram um mapeamento automático do SPI de alcance nacional, com base em dados meteorológicos do portal Agritempo, e desenvolveram uma interface gráfica para consulta pública e uso em questões referentes ao tema, ou seja, para orientar agricultores e outros usuários, por meio de boletins analíticos. Os autores trabalharam com dois conjuntos de dados de precipitação, das estações do Agritempo e da Agência Nacional de Águas (ANA), desenvolvendo um Índice de Proximidade que permitiu automatizar o processo de associação e geração de mapas do SPI. Os resultados dessa automação mostraram agilidade e qualidade, permitindo a consulta de informações no portal Agritempo, uma vez que os valores de SPI são intercomparáveis e permitem um mapeamento com consistência espacial.

Oliveira Júnior et al. (2012) analisaram uma série de dados pluviométricos, sob o aspecto da homogeneidade, no cálculo do SPI e relacionaram com os eventos de El Niño - Oscilação Sul (ENOS), para regiões do Estado de Alagoas. Os autores objetivaram avaliar séries pluviométricas mensais das estações da Rede

Hidrometeorológica da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, e da ANA, selecionando 36 estações de diversas regiões do Estado. No desenvolvimento de seu trabalho, realizaram o preenchimento de falhas por regressão linear e aplicaram o método do resíduo acumulado para análise de homogeneidade. O índice de seca foi calculado, tanto para as séries não homogeneizadas e homogeneizadas e após foi caracterizado a severidade da seca para as regiões, espacializando as informações para comparação das séries. Concluíram que os eventos fortes de ENOS, com os resultados do SPI homogeneizados, definem padrões mais realísticos dos períodos úmidos e secos, se comparados aos eventos moderados de ENOS, associados com SPI não homogeneizados.

6. Conclusões

A modelagem estocástica, fundamentada na cadeia de Markov de dois estados – a probabilidade da ocorrência de um dia seco ou chuvoso, depende apenas da condição do dia anterior, é uma ferramenta que pode ser aplicada no preenchimento de dados faltantes, em séries de precipitação diária no Estado do Rio Grande do Sul.

A contagem de número de dias secos pouco representou em termos de tipificação dos eventos de seca nos períodos e nas localidades estudadas. Em contrapartida, a contagem de sequências de dias secos possibilitou identificar que a classe de 5 dias secos ou mais foi a mais recorrente em todas as séries analisadas.

Há uma maior concentração dos eventos de seca intensa e severa, segundo o Índice de Moreno, nas escalas trimestrais, períodos Junho-Julho-Agosto e Dezembro-Janeiro-Fevereiro, comparativamente a semestral.

Na análise do Índice Padronizado de Precipitação, a maior incidência de eventos de seca severa e extrema ocorreu na década de 1943 a 1952, para a mesorregião Nordeste, seguida da Noroeste. As maiores sequências de meses secos ocorreram na classe de severidade de seca extrema. A maior ocorrência de eventos de seca severa coincidiu em 85%, com os períodos de La Niña, para todas as escalas temporais do Índice Padronizado de Precipitação.

A espacialização do Índice Padronizado de Precipitação, nas escalas 6, 12 e 24 meses representou de forma adequada os resultados obtidos com a análise das sequências dos períodos secos.

Referências Bibliográficas

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I.A. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. New York: Dover, 1046p. 1965.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema de informações hidrológicas (HidroWeb). Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 26 abr. 2013.

AGUIAR, R. Estiagem: como conviver com esse fenômeno? Extensão Rural e Desenvolvimento Sustentável. Porto Alegre, v.1, n.4, nov./dez. 2005.

ALBERTO, C.M.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; MEDEIROS, S.P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1067-1075, jul. 2006.

ALBUQUERQUE, T.M.A.; MENDES, C.A.B. Avaliação do processo de gestão de seca: estudo de caso no Rio Grande do Sul. **REGA**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.17-29, 2009.

ALTAMIRANO, R.J.A.; SANSIGOLO, C.A. Variabilidade decenal da precipitação no Sul da Amazônia usando o SPI-6. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém, 2010.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologisch e Zeitschrift, Fast Track. p.1-13, 2013.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FRIZZONE, J.A.; SENTELHAS, P.C. Simulação da precipitação diária para Parnaíba e Teresina, PI, em planilha eletrônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.271-278, 2001.

ANJOS, I.B.; MARTINS, M.L.O.F.; NERY J.T. Estudo da precipitação pluviométrica e balanço hídrico em Maringá. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.19, p.115-128, 2001.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUMOTO, R.; CASTRO, L.H.R.; SILVA, F.A.M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 993-1003, 1993.

ASSUNÇÃO, H.F.; FARIA, S.M. Desempenho de três índices de seca em função da variação anual da produtividade de milho e soja no município de Jataí-GO. In: **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 2009, Belo Horizonte, 2009.

BACK, A.J.; UGGIONI, E.; VIEIRA, H.J. Modelagem da precipitação de curta duração por meio do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis Modificado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.26, n.3, p.461-472, 2011.

BAÚ, A.L.; AZEVEDO, C.A.V.; BRESOLIN, A.A. Modelagem da precipitação pluvial diária intra-anual da Bacia Hidrográfica Paraná III associada aos eventos ENOS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.8, p.883–891, 2013.

BERGAMASCHI, H; DALMAGO, A.G.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006.

BERLATO, M.A.; FARENZEN, H; FONTANA, D. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.423-432, maio 2005.

BERLATO, M.A.; MELO, I.B.; CORDEIRO, A.P.A.; PORTO, R.O.; FERREIRA, T.N.; ALMEIDA, A.C.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; EVERLING, P. As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência? Esteio: **FEDERACITE**, p.17-42 2005.

BLAIN, G.C. Standardized precipitation index based on Pearson type III distribution **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.167–180, 2011.

BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.22, n.1, p.105-111, 2007.

BLAIN, G.C.; KAYANO, M.T. 118 anos de dados mensais do Índice padronizado de precipitação: série meteorológica de Campinas, estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.26, n.1, p.137-148, 2011.

BLAIN, G.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEZZOPANE, J.E.M.; BONOMO, R. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.10, p.1067–1073, 2010.

BREINL, K.; TURKINGTON, T.; STOWASSER, M. Stochastic generation of multi-site daily precipitation for applications in risk management. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.498, p.23-35, 2013.

BOSCHI, R.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; ASSAD, E.D. Técnicas de mineração de dados para análise da precipitação pluvial decenal no Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1189-1201, 2011.

BRUNINI, O.; BLAIN, G.C.; BRUNINI, A.P.C.; DOS SANTOS, R.L.; BRIGANTE, R.S.; DE ALMEIDA, E.L. Avaliação do Índice de Severidade de Seca de Palmer para Quantificação da Seca Agrícola no Estado de São Paulo.In: **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

CARVALHO, A.L.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; PORFIRIO, A.C.S. Ocorrência de períodos secos na região de rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.28, n.2, p.173-180, 2013.

CUNHA, R.L.A. **Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas**. 2008.147f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Porto. 2008.

DERECZYNSKI, C.P.; DE OLIVEIRA, J.S.; MACHADO, C.O. Climatologia da precipitação no Município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.24, n.1, p.24-38, 2009.

DETZEL, D.H.M.; MINE, M.R.M. Modelagem de Quantidades Precipitadas em Escala Diária: Uma Análise Comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.16, n.2, p.101-110, 2011.

DOMINGOS, S.I.S. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. 2006. 53f. Tese (Licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia). Lisboa, 2006.

FARIAS, A.A.; SOUZA, J.T.A.; SOUSA F.A.S. Identificação e análise de secas severas e extremas no município de Taperoá-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.7, n.5 (Número Especial- VIWMCRHPE), p.818-826, 2014.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.; DA PAZ, R.L.; AMORIM, A.O.; CARDOSO, A.S. Índices para a quantificação da seca. Embrapa, Goiás, 2009.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN A.B. Estimativa da variação da produtividade do arroz em diferentes escalas temporais do índice SPI. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.335-343, 2011.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F.E.; AMORIM, A.O. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.8, p.771-779, ago. 2010.

FIETZ, C.R.; URCHER, M.A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.262-265, 2002.

FOCHEZATTO, A.; GRANDO, M.Z. Produção agropecuária e crescimento econômico no Rio Grande do Sul: uma análise de insumo-produto. In: **47º Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Soc. Rural**. 14., 2009. Porto Alegre 26 a 30 Jul. 2009.

GROSS, J.A.; REIS, J.T.; SAUSEN, T.M. Avaliação Socioeconômica dos Municípios Afetados pela estiagem no Rio Grande do Sul de 2000 a 2010. In: **Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais**. 9,2012. Rio Claro, Maio/2012.

GUEDES, R.V.S.; MACEDO, M.J.H.; SOUSA, F.A.S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.23, p.55-65, 2012.

HEIM JÚNIOR, R.R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *American Meteorological Society*, p.1149-1165, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2015. Disponível em: <http://mapas.fee.tche.br/wp-content/uploads/2011/11/Mesorregioes.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 26 de abr. 2013.

JÚNIOR, W.B. **Identificação e avaliação dos fatores de ocorrência de seca na bacia do rio Guandú** – Espírito Santo. 2012. 146 f. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

LANDIM, P. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Departamento de Geologia Aplicada. Unesp/Rio Claro. Lab. Geomatemática. 2000. 20p.

MACEDO, M.J.H.; GUEDES, R.V.S.; SOUSA, F.A.S. Monitoramento e intensidade das secas e chuvas na cidade de Campina Grande/PB. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.8, p.105-117, 2011.

MACEDO, M.J.H.; GUEDES, R.V.S.; SOUSA, F.A.S.; DANTAS F.R.C. Análise do Índice Padronizado de Precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.5, n.1, p.204-214, 2010.

MALUF, J.R.T.; DA CUNHA, G.R.; MATZENUER, R.; PASINATO, A. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão safrinha no estado do Rio Grande do Sul: períodos favoráveis de semeadura por município, safra 2004-2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1677-8901, Dezembro, 2004.

MARENGO, J.A.; SCHAEFFER, R.; ZEE, D.; PINTO, H.S. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acesso em Outubro de 2013.

MATZENUER, R.; BARNI, N.A.; MALUF, J.R.T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1013-1019, nov-dez, 2003.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Boston. Anais... Boston: American Meteorological Society, 1993. p.179-184. (Preprints)

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.925-933, 2003.

MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.537-545, abr. 2007.

MENDES, J.M.M. **Linhas para a elaboração de um plano de minimização dos riscos de seca em zonas com escassez de recursos hídricos**. 2008.162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

MINUZZI, R.B.; LOPEZ, F.Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.30, n.3, p.697-706, 2014.

MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.391, p.202–216, 2010.

MORENO, H.G. Estadísticas de la sequia en Colombia. **Atmosfera**, Santafe de Bogota, Colombia, n.22, p.67-70, 1994.

NEDEL, A.S.; SAUSEN, T.M.; SAITO, S.M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 2003–2009-Parte I. Seca. In:**Congresso Brasileiro de Meteorologia: Saúde e meio ambiente**. 2010, Belém, 2010.

NERY, J.T.; BALDO, M.C.; MARTINS, M.L.O.F. O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.22, n.5, p.1429-1435, 2000.

NERY, J.T.; VARGAS, W.M.; MARTINS, M.L.O.F. Variabilidade Interanual da precipitação do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, p.49-62, 1997.

OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GÓIS, G.; BRITO, T.T.; MOURA, N.S.H. Análise de Homogeneidade de Séries Pluviométricas para Determinação do Índice de Seca IPP no Estado de Alagoas. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.19, n.1, p.101-112, jan/mar 2012.

PAIVA, E.M.C.D.; CLARKE, R.T. Modelagem Estocástica da Precipitação na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.2, p.157-171, 1997.

PAULO, A.A.; PEREIRA, L.S. Stochastic prediction of drought class transitions. **Water Resource Manage**, v.22, p.1277-1296. 2008.

PEDROSA, A.P.; CARVALHO, C.V.A. Uma ferramenta computacional para geração de Modelos Digitais de Terrenos com visualização em VRML. **Revista Eletrônica TECCEN**, Vassouras, v.3, n.2, Edição Especial, p.85-96, abr./jun., 2010.

PELLEGRINO, G.Q.; OTAVIAN, A.F.; EVANGELISTA, S.R.M.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Mapeamento automático do índice da precipitação normalizada (SPI) no AgriTempo. In: **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 2007, Aracaju, 2007.

PORTELA, M.M.; SANTOS, J.F.F.; NAGHETTINI, M.; MATOS, J.P.; SILVA, A.T. Superfícies de limiares de precipitação para identificação de secas em Portugal continental: uma aplicação complementar do Índice de precipitação padronizada, SPI. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**, v.33, n.02, p.5-23, 2012.

PORTO, R.O. As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência? In: NASCIMENTO, C.A.M.; SILVEIRA FILHO, I.L.; BERTON, A.L.; BERLATO, M.A.; MELO, I.B.; CORDEIRO, A.P.A.; PORTO, R.O.; FERREIRA, T.N.; ALMEIDA, A.C.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. EVERLING, P. As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência? Esteio: **FEDERACITE**, p.17-42, 2005.

QUIRING, S.M. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. **Geography Compass**, v.3, p.64-88, 2009.

RODRIGUES, A. **Estatística espacial e análise de cluster em dados de desastres naturais: mapeamento das estiagens e inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009**. 2011. 77 f. Monografia (Bacharel em estatística) – Faculdade de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROLDÃO, A.F.; SANTOS, J.G. Tipificação e ocorrência de veranicos na microrregião de Uberlândia – MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.15, n.49, p.152–159, 2014.

SANTOS, F.; PORTELA, M.M. Caracterização de secas em bacias hidrográficas de Portugal Continental: aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento. In: **10º Congresso da Água**, 2010, Associação Portuguesa dos recursos Hídricos - APRH, Alvor, Portugal, p.1-18, 2010.

SANTOS, T.S.; GOMES, A.C.S.; COUTINHO, M.D.L.; SILVA, A.R.; CASTRO, A.A. Análise de Eventos Extremos na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.6, n.4, p.1356-1370, 2013.

SANTOS, R.F.; BASSEGIO, D. Comportamento histórico da precipitação e ocorrências de dias secos e chuvosos em Cascavel, Paraná. **Revista Thêma et Scientia**, Cascavel, v.1, n.1, p.30-40, 2011.

SANTOS, S.R.Q; BRAGA, C.C.; SANTOS, A.P.P.; BRITO, J.I.B; CAMPOS, T.L.O.B. Classificação de Eventos Extremos de Precipitação em Múltiplas Escalas de Tempo em Belém-PA: Utilizando o Índice de Precipitação Normalizada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.7, n.4, p.628-635, 2014.

SECRETARIA DA AGRICULTURA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.
Disponível em:
http://www.agricultura.rs.gov.br/conteudo/1032/?Mais_%C3%81gua%2C_Mais_Renda
da Acesso em set./2013.

SENTELHAS, P.C. Agricultural Drought Indices Proceedings of an Expert Meeting. In: SIVAKUMAR, M.V.K.; MOTHAN, R.P.; WILHITE, D.A.; WOOD, D.A. Agricultural Drought Indices in Current Use in Brazil. Murcia, Spain. 2-4 June, 2010.

SILVA, A.; SANTO, F.; PIRES, V.A. Seca em Portugal: prevenção, monitorização e mitigação. 2005. Disponível em: <<http://panda.igeo.pt/pancd/pdfs/seca2005/FatimaEspiritoSanto.pdf>>. Acesso em: Ago. 2013.

SILVA, M.V.; CAMPOS, C.R.J.; PINTO, L.B. Regime Hídrico do RS durante os eventos ENOS dos anos de 1987 e 1999. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.36, n.1, p.039-051, jan-abr. 2014.

SILVEIRA, V.P.; ASSIS, S.V. Ocorrências de períodos secos em Pelotas, RS. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2000, Rio de Janeiro, 2000. p. 900-904.

SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; PORFIRIO, A.C.S. Ocorrência de períodos secos na região de rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.28, n.2, p.173-180, 2013.

SPERLING, S.; BONETTI, L.P.; SOARES, R.M.; ANTONIAZZI, R.L. Recorrência do fenômeno de estiagens na estação de cultivo da soja no município de Cruz Alta, Rio Grande do Sul. In: **XVII Seminário interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2012, Cruz Alta. UNICRUZ, 2012. p.3-6.

STERN, R.D.; COE, R. A model fitting analysis of daily rainfall data. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.147, n.1, p.1-34, 1984.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; ROSSKOFF, J.L.C. Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas - RS, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.687-694, 2011.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; BACELAR, L.C.S.; SILVA, G.M.; COUTO, R.S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.8, n.3, p.203-213, 2013.

VICENTE-SERRANO, S.M. Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910–2000). **Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques**, v.51, n.1, 2006.

Apêndice

Apêndice A. Índice Padronizado de Precipitação Semestral - Seca Extrema

NOME	MÉD_ELEV	MÁX_ELEV	MÍN_ELEV
Barra do Quaraí Sul	2,248	2,401	2,102
Uruguaiana	2,588	3,068	1,954
Itaqui	2,454	2,658	2,240
Alegrete	2,772	3,145	2,491
Quaraí Sul	3,142	3,377	2,840
São Borja	2,358	2,624	2,140
Maçambará	2,426	2,568	2,244
Santana do Livramento	3,567	3,993	3,113
Manoel Viana	2,526	2,603	2,482
Garruchos	2,604	2,802	2,412
Santo Antonio das Missões	2,690	3,002	2,364
Rosário do Sul	3,067	3,406	2,734
Itacurubi	2,670	2,838	2,533
São Francisco de Assis	2,529	2,623	2,459
São Nicolau	2,870	3,113	2,672
Pirapó Sul	2,809	2,952	2,678
Roque Gonzales	2,899	3,075	2,692
Unistalda	2,557	2,655	2,500
Bossoroca	2,953	3,177	2,733
Cacequi	2,731	2,941	2,651
Porto Xavier	2,778	2,867	2,708
São Luiz Gonzaga	3,164	3,254	2,954
Dezesseis de Novembro	3,015	3,128	2,890
São Vicente do Sul	2,631	2,684	2,581
Santiago	2,581	2,826	2,421
Dom Pedrito	3,075	3,538	2,636
Porto Lucena	2,751	2,825	2,686
São Paulo das Missões	2,875	2,959	2,800
Porto Vera Cruz	2,669	2,728	2,611
Rolador	3,156	3,229	3,066
São Pedro do Butiá Sul	3,027	3,110	2,948
Campina das Missões	2,857	2,974	2,756
Nova Esperança do Sul	2,504	2,540	2,461
Alecrim	2,568	2,646	2,503
Salvador das Missões	3,010	3,108	2,909
Santo Cristo	2,641	2,736	2,539
São Gabriel	2,735	2,994	2,607
Jaguari	2,576	2,645	2,520
Cândido Godói	2,795	2,892	2,711
Capão do Cipó Sul	2,762	2,987	2,609
Cerro Largo	3,046	3,154	2,937
Caibaté Sul	3,217	3,255	3,163
Mato Queimado	3,169	3,221	3,123

Porto Mauá Sul	2,485	2,522	2,446
Ubiretama	2,911	3,004	2,744
São Miguel das Missões	3,021	3,247	2,743
Lavras do Sul	2,783	3,045	2,638
Guarani das Missões	3,097	3,231	2,950
Santa Rosa	2,560	2,786	2,383
Tuparendi	2,475	2,570	2,394
Bagé Sul	2,639	3,058	2,364
Novoachado	2,417	2,468	2,372
Senador Salgado Filho	2,864	3,012	2,720
Vitória das Missões	3,267	3,343	3,201
Tucunduva	2,385	2,448	2,344
Mata	2,635	2,675	2,602
Sete de Setembro	3,072	3,218	2,917
Santo Ângelo	3,158	3,438	2,684
Giruá Sul	2,735	3,110	2,418
Jari	2,682	2,720	2,613
São Pedro do Sul	2,701	2,761	2,644
Doutor Maurício Cardoso	2,351	2,386	2,315
Entre-Ijuí	3,103	3,403	2,594
Tupanciretã Sul	2,670	2,768	2,463
Aceguá Sul	2,631	2,837	2,502
Três de Maio	2,357	2,426	2,297
Toropi	2,680	2,711	2,648
Jóia	2,684	2,949	2,388
Horizontina	2,336	2,365	2,308
Eugênio de Castro	2,901	3,200	2,663
Independência	2,442	2,566	2,344
Dilermando de Aguiar	2,713	2,758	2,679
Crissiumal	2,296	2,328	2,261
Santa Margarida do Sul	2,700	2,774	2,630
Tiradentes do Sul	2,306	2,329	2,281
Nova Candelária	2,291	2,311	2,271
Quevedos	2,726	2,750	2,700
São José do Inhacorá Sul	2,315	2,346	2,287
Boa Vista do Buricá Sul	2,291	2,319	2,266
Catuípe	2,417	2,872	2,091
Alegria	2,308	2,388	2,240
Coronel Barros	2,430	2,792	2,115
Augusto Pestana	2,339	2,681	2,040
Santa Maria	2,752	2,791	2,645
Esperança do Sul	2,302	2,317	2,286
Inhacorá Sul	2,323	2,443	2,236
São Martinho da Serra	2,771	2,784	2,734
Humaitá Sul	2,255	2,282	2,232
Ijuí Sul	2,003	2,515	1,773

São Martinho	2,235	2,292	2,174
Derrubadas	2,321	2,353	2,295
Sede Nova	2,240	2,266	2,211
Três Passos	2,270	2,296	2,243
Chiapetta	2,201	2,356	2,063
Júlio de Castilhos	2,745	2,790	2,632
Vila Nova do Sul	2,766	2,806	2,719
Hulha Negra	2,512	2,572	2,457
Boa Vista do Cadeado	2,291	2,539	1,944
São Valério do Sul	2,209	2,254	2,152
São Sepé Sul	2,660	2,832	2,034
Pedras Altas	2,389	2,516	2,271
Candiota	2,432	2,506	2,343
Campo Novo	2,194	2,229	2,150
Bom Progresso	2,232	2,248	2,215
Tenente Portela	2,284	2,318	2,254
Santo Augusto	2,108	2,192	2,027
Ajuricaba	1,978	2,053	1,898
Itaara	2,782	2,789	2,772
Miraguaí Sul	2,239	2,260	2,213
Bozano	1,925	1,998	1,842
Caçapava do Sul	2,606	2,882	2,119
Braga	2,205	2,240	2,171
Barra do Guarita	2,340	2,359	2,315
Nova Ramada	2,029	2,080	1,993
Cruz Alta	2,418	2,618	2,075
Coronel Bicaco	2,104	2,177	2,047
Pejuçara	2,132	2,327	1,952
Vista Gaúcha	2,328	2,350	2,308
Herval	2,256	2,401	2,049
Redentora	2,203	2,272	2,137
Panambi	2,122	2,273	1,944
Pinheirinho do Vale	2,356	2,377	2,334
Jaguarão	2,247	2,371	2,147
Formigueiro	2,575	2,710	2,261
Erval Seco	2,247	2,303	2,186
Palmitinho	2,323	2,365	2,289
Pinheiro Machado	2,266	2,408	2,062
Ivorá Sul	2,734	2,761	2,696
Silveira Martins	2,707	2,754	2,634
Condor	2,077	2,210	1,995
Palmeira da Missões	2,123	2,313	2,029
Caiçara	2,394	2,443	2,361
Dois Irmãos das Missões	2,162	2,221	2,118
Boa Vista do Incra	2,584	2,678	2,453
Faxinal do Soturno	2,656	2,725	2,582

Restinga Seca	2,423	2,669	1,980
Taquarutã do Sul	2,311	2,351	2,280
Santa Vitória do Palmar	2,137	2,217	2,090
Vista Alegre	2,343	2,370	2,307
São João do Polesene	2,633	2,683	2,575
Chuí Sul	2,166	2,197	2,143
Nova Palma	2,672	2,732	2,582
Fortaleza dos Valos	2,677	2,763	2,573
Vicente Dutra	2,455	2,510	2,408
Frederico Westphalen	2,391	2,470	2,322
Seberi	2,305	2,391	2,231
Pinhal Grande	2,684	2,726	2,604
Santa Bárbara do Sul	2,336	2,525	2,159
Salto do Jacuí Sul	2,718	2,786	2,667
Santana da Boa Vista	2,087	2,468	1,698
Ibirubá Sul	2,578	2,760	2,388
Dona Francisca	2,577	2,638	2,499
Piratini	2,034	2,239	1,629
Boa Vista das Missões	2,203	2,269	2,132
Agudo	2,460	2,605	2,248
Cachoeira do Sul	1,760	2,449	1,214
Arroio Grande	2,112	2,226	1,981
Iraí Sul	2,487	2,538	2,431
Jaboticaba	2,284	2,337	2,226
Cristal do Sul	2,393	2,439	2,353
Chapada	2,338	2,487	2,178
Ibarama	2,576	2,639	2,497
São Pedro das Missões	2,233	2,287	2,178
Pinhal	2,351	2,395	2,311
Estrela Velha	2,694	2,745	2,623
Quinze de Novembro	2,718	2,798	2,580
Ametista do Sul	2,455	2,489	2,414
Lajeado do Bugre	2,286	2,338	2,237
Rodeio Bonito	2,418	2,465	2,363
Paraíso do Sul	2,285	2,434	2,102
Novo Tiradentes	2,374	2,423	2,323
Cerro Grande	2,347	2,399	2,296
Novo Barreiro	2,308	2,375	2,230
Planalto	2,526	2,604	2,456
Arroio do Tigre	2,690	2,788	2,595
São José das Missões	2,311	2,368	2,250
Sagrada Família	2,337	2,393	2,280
Campos Borges	2,808	2,925	2,712
Alpestre	2,579	2,639	2,509
Saldanha Marinho	2,500	2,593	2,417
Pedro Osório	2,052	2,141	1,976

Liberato Salzano	2,444	2,502	2,378
Jacuizinho	2,826	2,934	2,756
Lagoa Bonita do Sul	2,453	2,515	2,354
Carazinho	2,590	2,727	2,392
Nonoai	2,639	2,768	2,447
Novo Xingu	2,379	2,424	2,336
Constantina	2,443	2,519	2,369
Sobradinho	2,557	2,621	2,493
Barra Funda	2,384	2,425	2,328
Novo Cabrais	2,084	2,259	1,868
Colorado	2,648	2,793	2,538
Cerro Branco	2,272	2,416	2,094
Sarandi	2,469	2,554	2,347
Alto Alegre	2,847	2,906	2,782
Nova Boa Vista	2,415	2,466	2,352
Encruzilhada do Sul	1,244	1,828	0,843
Trindade do Sul	2,558	2,657	2,456
Selbach	2,795	2,883	2,707
Segredo	2,656	2,787	2,567
Rondinha	2,477	2,556	2,382
Passa Sete	2,506	2,675	2,396
Canguçu	1,624	1,982	1,240
Espumoso	3,011	3,174	2,843
Almirante Tamandaré do Sul	2,497	2,589	2,393
Tunas	2,860	2,984	2,775
Gramado dos Loureiros	2,577	2,643	2,509
Candelária	2,073	2,410	1,666
Rio dos Índios	2,663	2,723	2,603
Engenho Velho	2,500	2,536	2,460
Três Palmeiras	2,571	2,644	2,495
Não-Me-Toque	2,772	2,941	2,620
Tapera	2,910	3,027	2,806
Cerrito	1,952	2,012	1,868
Lagoa dos Três Cantos	2,867	2,993	2,761
Lagoão	2,789	2,931	2,629
Ronda Alta	2,574	2,648	2,495
Coqueiros do Sul	2,575	2,626	2,504
Pontão	2,597	2,643	2,515
Soledade	3,330	3,619	2,928
Vale do Sol	2,266	2,513	2,003
Entre Rios do Sul	2,676	2,718	2,623
Capão do Leão	1,932	1,999	1,853
Herveiras	2,516	2,607	2,415
Morro Redondo	1,855	1,934	1,773
Sinimbu	2,525	2,737	2,278

Santo Antônio do Planalto	2,762	2,878	2,675
Rio Pardo	1,583	1,958	1,084
Victor Graeff	2,971	3,102	2,837
Barros Cassal	3,062	3,291	2,851
Campinas do Sul	2,655	2,734	2,597
Rio Grande	2,043	2,103	1,873
Cruzaltense	2,698	2,763	2,627
Gramado Xavier	2,787	2,926	2,654
Mormaço	3,161	3,310	3,046
Faxinalzinho	2,755	2,802	2,702
Benjamin Constant do Sul	2,746	2,799	2,693
Erval Grande	2,827	2,884	2,768
Passo Fundo	2,706	2,875	2,607
São Valentim	2,783	2,844	2,685
Tio Hugo	3,089	3,228	2,973
Pelotas	1,763	1,885	1,606
Ernestina	2,873	3,039	2,739
Vera Cruz	2,047	2,267	1,757
Jacutinga	2,707	2,783	2,616
Quatro Irmãos	2,735	2,873	2,621
Ibirapuitã Sul	3,226	3,375	3,044
Pantano Grande	1,274	1,484	1,064
Santa Cruz do Sul	2,192	2,665	1,703
Sertão	2,761	2,943	2,634
Ponte Preta	2,785	2,836	2,727
Nicolau Vergueiro	3,053	3,143	2,970
Boqueirão do Leão	2,791	2,942	2,649
Arroio do Padre	1,675	1,718	1,618
Itatiba do Sul	2,899	2,957	2,835
Ipiranga do Sul	2,725	2,788	2,666
São Lourenço do Sul	1,540	1,707	1,336
Barão de Cotegipe	2,885	2,962	2,820
Marau	2,962	3,237	2,816
Fontoura Xavier	3,278	3,532	3,015
Coxilha	2,704	2,835	2,619
Amaral Ferrador	1,183	1,352	0,996
Dom Feliciano	1,192	1,388	0,917
Venâncio Aires	2,354	2,717	2,135
Paulo Bento	2,843	2,916	2,773
Progresso	2,921	3,066	2,770
Barra do Rio Azul	2,943	2,981	2,890
Erebango	2,842	2,919	2,762
Aratiba	3,027	3,107	2,950
Estação	2,810	2,869	2,754
Turuçu	1,681	1,754	1,617
Passo do Sobrado	2,044	2,205	1,841

São José do Herval	3,144	3,252	3,052
Erechim	2,978	3,069	2,873
Arvorezinha	3,205	3,425	2,949
Itapuca	3,212	3,420	3,021
Sério	2,637	2,715	2,533
Canudos do Vale	2,742	2,813	2,683
Cristal	1,430	1,570	1,264
Camargo	3,123	3,228	3,038
Pouso Novo	2,985	3,079	2,861
Mato Castelhano	2,820	2,883	2,743
Marques de Souza	2,778	2,938	2,613
Getúlio Vargas	2,928	3,024	2,839
Nova Alvorada	3,146	3,279	3,023
Vila Maria	3,014	3,098	2,946
Vale Verde	1,987	2,184	1,806
Santa Clara do Sul	2,545	2,597	2,492
Putinga	3,062	3,211	2,937
Ilopólis	3,105	3,220	3,005
Três Arroios	3,105	3,206	3,028
Forquetinha	2,636	2,723	2,577
Butiá Sul	1,642	2,022	1,265
Coqueiro Baixo	2,910	3,027	2,827
Marianoora	3,141	3,188	3,085
Vila Lângaro	2,844	2,899	2,789
Minas do Leão	1,692	1,894	1,492
Mato Leitão	2,439	2,505	2,382
São Jerônimo	1,635	2,147	1,268
Travesseiro	2,764	2,876	2,673
Severiano de Almeida	3,182	3,253	3,111
São José do Norte	1,872	2,036	1,789
Gaurama	3,115	3,190	3,034
Camaquã Sul	1,535	1,679	1,314
Água Santa	2,880	2,927	2,824
Relvado	2,912	3,010	2,821
Cruzeiro do Sul	2,428	2,524	2,311
Lajeado	2,558	2,613	2,488
Chувиска	1,368	1,428	1,305
Áurea	3,081	3,178	3,012
Florianópolis	3,011	3,088	2,929
Nova Brécia	2,801	2,848	2,753
Tapejara	2,935	2,998	2,869
Gentil	2,893	2,931	2,878
Montauri	2,977	3,052	2,903
Anta Gorda	2,911	3,050	2,786
Casca	2,865	3,005	2,701
Santo Antônio do Palma	2,898	2,960	2,836

União da Serra	2,959	3,043	2,866
Charrua	2,991	3,053	2,924
General Câmara	2,043	2,196	1,894
Arroio do Meio	2,649	2,714	2,587
Centenário	3,083	3,134	3,013
Viadutos	3,213	3,282	3,126
Serafina Corrêa	2,819	2,981	2,659
Doutor Ricardo	2,847	2,960	2,764
Marcelino Ramos	3,281	3,342	3,218
Capitão	2,728	2,770	2,678
Guapor - Sul	2,776	2,979	2,528
Estrela	2,483	2,587	2,343
Ciríaco	2,878	2,910	2,833
Encantado	2,752	2,834	2,702
Bom Retiro do Sul	2,317	2,430	2,208
Santa Cecília do Sul	2,933	2,964	2,892
Taquari	2,213	2,387	2,086
Colinas	2,617	2,656	2,587
Carlos Gomes	3,162	3,211	3,121
Barão do Triunfo	1,644	1,857	1,460
Sananduva	3,058	3,118	2,998
Dois Lajeados	2,677	2,821	2,498
Cerro Grande do Sul	1,585	1,697	1,473
Vespasiano Correa	2,726	2,805	2,639
Roca Sales	2,700	2,751	2,655
Ibiaçá	2,992	3,041	2,944
Muçum	2,707	2,777	2,641
São João da Urtiga	3,132	3,172	3,098
São Domingos do Sul	2,782	2,840	2,716
Vanini	2,779	2,839	2,718
David Canabarro	2,813	2,858	2,744
Fazenda Vilanova	2,405	2,481	2,324
Caseiros	2,919	2,990	2,857
Teutônia	2,553	2,630	2,457
Arroio dos Ratos	1,857	2,090	1,689
Maximiliano de Almeida	3,246	3,298	3,192
Imigrante	2,664	2,704	2,625
Paim Filho	3,180	3,211	3,139
Vista Alegre do Prata	2,528	2,712	2,326
Paraí Sul	2,666	2,764	2,563
Nova Araçá	2,571	2,725	2,456
Nova Bassano	2,521	2,715	2,324
Muliterno	2,863	2,921	2,817
Paverama	2,461	2,548	2,359
Fagundes Varela	2,366	2,594	2,100
São Valentim do Sul	2,601	2,673	2,499

Tabaí Sul	2,351	2,438	2,252
Coronel Pilar	2,711	2,739	2,688
Westfalia	2,622	2,662	2,565
Sertão Santana	1,756	1,881	1,619
São Jorge	2,686	2,761	2,605
Arambaré Sul	1,642	1,710	1,549
Cotiporã Sul	2,400	2,592	2,125
Triunfo	2,291	2,434	2,087
Machadinho	3,230	3,301	3,180
Santa Tereza	2,680	2,727	2,584
Ibiraiaras	2,778	2,919	2,645
Cacique Doble	3,135	3,191	3,099
Sentinela do Sul	1,684	1,829	1,586
Boa Vista do Sul	2,677	2,725	2,620
Guabiju	2,548	2,674	2,362
Eldorado do Sul	2,185	2,435	1,926
Santo Expedito do Sul	3,088	3,118	3,061
Mariana Pimentel	1,912	2,015	1,775
Nova Prata	2,247	2,494	2,047
Charqueadas	2,198	2,308	2,061
Poço das Antas	2,604	2,647	2,572
Brochier	2,521	2,580	2,461
Monte Belo do Sul	2,667	2,756	2,568
Veranópolis	2,117	2,549	1,875
Garibaldi	2,764	2,827	2,717
Bento Gonçalves	2,625	2,875	2,263
Lagoa Vermelha	2,852	3,071	2,431
Montenegro	2,413	2,494	2,327
Tapes	1,773	1,991	1,630
São José do Ouro	3,132	3,194	3,062
Vila Flores	2,048	2,232	1,950
Carlos Barbosa	2,668	2,748	2,535
Salvador do Sul	2,589	2,638	2,540
Barão	2,623	2,680	2,550
Guaíba	2,171	2,380	1,964
André da Rocha	2,410	2,571	2,266
Maratá Sul	2,518	2,576	2,463
São Pedro da Serra	2,610	2,646	2,574
Tupanci do Sul	3,068	3,095	3,037
Barra do Ribeiro	2,041	2,226	1,808
Protásio Alves	2,191	2,312	2,036
Barracão	3,107	3,206	3,028
São José do Sul	2,516	2,563	2,469
Farroupilha	2,525	2,790	2,391
Capão Bonito do Sul	2,896	3,019	2,727
Pareci Novo	2,471	2,504	2,447

Tupandi	2,543	2,590	2,505
Capela de Santana	2,430	2,454	2,406
Nova Roma do Sul	2,237	2,422	2,043
Harmonia	2,504	2,538	2,479
Antônio Prado	2,162	2,246	2,023
Ipê Sul	2,222	2,344	2,101
São Sebastião do Caí Sul	2,460	2,498	2,427
Bom Princípio	2,512	2,554	2,478
São Vendelino	2,546	2,579	2,508
Muitos Capões	2,531	2,814	2,295
Nova Santa Rita	2,418	2,443	2,388
Nova Pádua	2,284	2,376	2,214
Flores da Cunha	2,315	2,442	2,227
Alto Feliz	2,495	2,531	2,454
Pinhal da Serra	2,952	3,053	2,849
Feliz	2,466	2,503	2,413
Esmeralda	2,816	3,026	2,578
Porto Alegre	2,408	2,508	2,261
Portão	2,414	2,443	2,385
São José do Hortêncio	2,432	2,462	2,381
Caxias do Sul	2,220	2,506	1,941
Tavares	1,852	1,909	1,816
Vale Real	2,456	2,477	2,430
Linha Nova	2,416	2,452	2,375
Lindolfo Collor	2,403	2,43	2,382
Canoas	2,437	2,466	2,400
Esteio	2,415	2,428	2,388
Presidente Lucena	2,372	2,417	2,314
Campestre da Serra	2,204	2,322	2,139
Estância Velha	2,381	2,407	2,339
Mostardas	1,972	2,069	1,820
Nova Petrópolis	2,295	2,435	2,119
São Leopoldo	2,373	2,403	2,328
Sapucaia do Sul	2,387	2,411	2,342
Ivoti	2,357	2,392	2,324
Novo Hamburgo	2,295	2,381	2,181
Picada Café Sul	2,314	2,382	2,194
São Marcos	2,193	2,274	2,084
Cachoeirinha	2,406	2,441	2,372
Viamão	2,214	2,448	2,087
Dois Irmãos	2,300	2,340	2,253
Vacaria	2,403	2,778	2,139
Morro Reuter	2,254	2,324	2,147
Gravataí Sul	2,265	2,406	2,084
Alvorada	2,380	2,434	2,293
Campo Bom	2,276	2,315	2,230

Santa Maria do Herval	2,136	2,259	2,046
Sapiranga	2,204	2,274	2,128
Gramado	2,020	2,158	1,864
Araricá Sul	2,139	2,187	2,094
Taquara	1,952	2,227	1,666
Nova Hartz	2,072	2,144	2,000
Monte Alegre dos Campos	2,144	2,225	2,065
Parobé Sul	2,057	2,149	1,964
São Francisco de Paula	1,703	2,091	1,312
Igrejinha	1,920	2,070	1,771
Três Coroas	1,831	2,064	1,616
Canela	1,803	2,006	1,571
Glorinha	2,103	2,198	1,986
Santo Antônio da Patrulha	1,960	2,110	1,765
Palmares do Sul	2,061	2,112	2,039
Bom Jesus	2,243	2,461	2,037
Rolante	1,740	1,880	1,605
Capivari do Sul	2,057	2,097	2,017
Jaquirana	1,914	2,086	1,642
Caraá Sul	1,863	1,936	1,786
Riozinho	1,706	1,813	1,592
Osório	1,964	2,027	1,863
Balneário Pinhal	2,038	2,048	2,03
Cidreira	2,024	2,040	2,007
Tramandaré Sul	2,005	2,023	1,987
Maquiné Sul	1,808	1,960	1,601
Cambaré do Sul	1,921	2,136	1,603
Itati	1,779	1,878	1,663
São José dos Ausentes	2,261	2,382	2,070
Três Forquilhas	1,858	1,942	1,748
Imbé Sul	1,991	2,003	1,978
Terra de Areia	1,903	2,009	1,834
Xangri-Lá Sul	1,967	1,985	1,944
Mampituba	1,963	2,082	1,842
Três Cachoeiras	1,983	2,106	1,875
Capão da Canoa	1,970	2,003	1,929
Morrinhos do Sul	2,003	2,080	1,915
Arroio do Sal	2,045	2,128	1,963
Dom Pedro de Alcântara	2,101	2,151	2,053
Torres	2,151	2,236	2,066
