

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Meteorologia**  
**Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**

**Dissertação**



**CLIMA PRESENTE E CENÁRIO FUTURO DOS EVENTOS COM POTENCIAL  
PARA CAUSAR ALAGAMENTOS NAS CIDADES DE PORTO ALEGRE,  
PELOTAS, CAXIAS DO SUL E SANTA MARIA**

**Rodrigo da Silva Pereira**

**Pelotas, 2015**

**Rodrigo da Silva Pereira**

**CLIMA PRESENTE E CENÁRIO FUTURO DOS EVENTOS COM POTENCIAL  
PARA CAUSAR ALAGAMENTOS NAS CIDADES DE PORTO ALEGRE,  
PELOTAS, CAXIAS DO SUL E SANTA MARIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. André Becker Nunes

Pelotas, 2015

Dados de catalogação na fonte:  
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901  
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

P436c

Pereira, Rodrigo da Silva

Clima presente e cenário futuro dos eventos com potencial para causar alagamentos nas cidades de Porto Alegre, Pelotas, Caxias do Sul e Santa Maria / Rodrigo da Silva Pereira. – 75f. : il. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Meteorologia. Pelotas, 2015. – Orientador André Becker Nunes.

1.Meteorologia. 2.Taxa de precipitação. 3.Casos de atenção. 4.Casos de alerta. 5.Modelagem climática regional. I.Nunes, André Becker. II.Título.

CDD: 551.6

**Rodrigo da Silva Pereira**

**CLIMA PRESENTE E CENÁRIO FUTURO DOS EVENTOS COM POTENCIAL  
PARA CAUSAR ALAGAMENTOS NAS CIDADES DE PORTO ALEGRE,  
PELOTAS, CAXIAS DO SUL E SANTA MARIA**

**Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de  
Mestre em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia,  
Faculdade Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.**

**Data da Defesa:**

**27-02-2015**

**Banca examinadora:**

**Prof. Dr. André Becker Nunes (Orientador)  
Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**

**Prof. Dr. Anderson Spohr Nedel  
Doutor em Meteorologia pela Universidade de São Paulo**

**Prof. Dr. Fabrício Pereira Härter  
Doutor em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas  
Espaciais**

## **Agradecimentos**

Aos meus pais José Paulo Carvalho Pereira e Vanda da Silva Pereira (in memoriam).

A minha esposa Patricia Soares Morales e minha filha Milena Morales Pereira, pelo incentivo, apoio incondicional e compreensão pela ausência.

Aos meus irmãos Marcelo e Raquel, ao meu cunhado Bino pela acolhida e apoio incondicional.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós – Graduação.

Ao amigo Prof. Dr. André Becker Nunes, pela confiança e orientação na pesquisa.

Aos professores do curso de Pós-Graduação, pelos ensinamentos e dedicação.

Aos colegas da Pós-Graduação, pelo apoio e amizade.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Dr. José Marengo Orsini e Msc. Lincoln Muniz Alves, do CCST/INPE pela cessão dos dados do modelo Eta-HadCM3.

E a todos que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## Resumo

PEREIRA, Rodrigo da Silva. **Clima presente e cenário futuro dos eventos com potencial para causar alagamentos nas cidades de Porto Alegre, Pelotas, Caxias do Sul e Santa Maria.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Esta dissertação tem como propósito geral a análise do clima presente e o comportamento futuro dos eventos extremos de precipitação local de curta duração com potencial para causar alagamento nas principais cidades do Rio Grande do Sul abrangendo diferentes regiões do Estado: Porto Alegre, Caxias do Sul, Santa Maria e Pelotas. Baseado no histórico de alagamentos de cada cidade e nos dados diários de precipitação obtidos das estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) obteve-se o limiar que identificou a taxa de precipitação que representa um evento com potencial para causar alagamento na cidade, sendo os eventos divididos em caso de *atenção* (percentil 25) ou de *alerta* (percentil 75) nas 48h precedentes à ocorrência do alagamento. Os resultados revelaram um crescimento sutil dos casos, tanto *atenção* quanto *alerta*, nos últimos 53 anos. A cidade de Porto Alegre foi a que apresentou os menores limiares para condição de alagamento, o que era esperado devido sua maior urbanização. Ao avaliar o comportamento sazonal dos casos constatou-se que no clima presente (1961-2013), o trimestre julho-agosto-setembro foi a época do ano mais propícia a casos de alagamentos. Posteriormente, os casos foram correlacionados com três índices climáticos que medem as anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) do Atlântico Sul e do Pacífico, no intuito de avaliar se suas ocorrências estão associadas a fenômenos climáticos de grande escala. As correlações encontradas variaram de fracas a moderadas, mas com alto nível de confiança estatística para o IME (Índice Multivariado do ENOS). O uso de modelagem climática regional (modelo ETA-HadCM3) denotou que num cenário futuro (A1B de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) para o período de 2021-2070 haverá no geral, um pequeno acréscimo no número de casos de *atenção* para todas as cidades, quando comparado aos valores observados no clima presente (1961-2013). Em Pelotas, haverá uma mudança na climatologia dos eventos com deslocamento da estação com maior número de casos do trimestre JAS (clima presente) para o OND (cenário futuro).

Palavras-chave: Taxa de precipitação. Casos de atenção, Casos de alerta. Modelagem climática regional.

## Abstract

PEREIRA, Rodrigo da Silva. **Present and future climates cenário of events with potential to cause flooding in the cities of Porto Alegre, Pelotas, Caxias do Sul and Santa Maria.** 2015. Thesis (MA) –Post-graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

This work has as general purpose the analysis of present climate and future behavior of short duration extreme local rainfall events with potential for causing flooding in major cities in Rio Grande do Sul State covering different regions: Porto Alegre, Caxias do Sul, Santa Maria and Pelotas. Based on history of floods of each city and on the rainfall data obtained from meteorological stations of INMET (National Institute of Meteorology), the thresholds that have identified which precipitation rate is an event with the potential to cause flooding in the city were obtained, being such events divided in case of attention (25th percentile) or case of alert (75th percentile) in 48 hours before the occurrence of flooding. The results showed a subtle increase of cases, both as alert and attention in the last 53 years. The city of Porto Alegre was presented the least thresholds for flooding condition, which was expected due to its increased urbanization. In assessing the seasonal behavior of the cases it was found that in this climate, the July-August-September was the time of year most facilitates cases of flooding. Later, cases were correlated with three climate indices that measure the SST (Sea Surface Temperature) anomalies in order to assess whether their occurrences are associate to large-scale climatic phenomena. It was found weak to moderate correlations, but with a high level of statistical confidence for the EMI (ENSO Multivariate Index). The use of regional climate model (ETA-HadCM3) denotes that in a future scenario (A1B following International Panel on Climate Change) for the period 2021-2070 will be in general an increase number of cases of attention for all cities, when compared to those observed in the present climate (1961-2013). In Pelotas there will be a climatological change due to a displacement of the season with more cases: from JAS quarter (present) to OND quarter (future scenario).

Keywords: Precipitation Rate. Attention cases, Alert cases, Regional climate model.

## Lista de figuras

Figura 1	Mapa topográfico do Rio Grande do Sul. Fonte: SEPLAG, 2013 .....	18
Figura 2	Precipitação média anual. Fonte: SEPLAG, 2013.....	19
Figura 3	Localização das cidades estudadas. Fonte: Wikipédia, 2013 (adaptado).....	20
Figura 4	Localização da área de determinação do índice IAS. Fonte: Adaptado de Santos (2011).....	24
Figura 5	Cenário das emissões dos gases de efeito estufa (esquerda) e projeções de temperatura da superfície (direta). Fonte: IPCC, 2007 .....	29
Figura 6	Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Porto Alegre, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1964 a 2013.....	36
Figura 7	Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Pelotas, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1964 a 2013.....	37
Figura 8	Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Caxias do Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1964 a 2013 .....	38
Figura 9	Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Santa Maria, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1969 a 2013.....	39

Figura 10	Casos com potencial de causar alagamentos em POA com índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 .....	41
Figura 11	Casos com potencial de causar alagamentos em POA com Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009 .....	42
Figura 12	Casos com potencial de causar alagamentos em POA e Índice do MODOKI, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 .....	43
Figura 13	Casos com potencial de causar alagamentos em PEL e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.....	44
Figura 14	Casos com potencial de causar alagamentos em PEL e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009...	45
Figura 15	Casos com potencial de causar alagamentos em PEL e Índice do MODOKI, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 .....	46
Figura 16	Casos com potencial de causar alagamentos em CXS e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.....	47
Figura 17	Casos com potencial de causar alagamentos em CXS e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009...	48
Figura 18	Casos com potencial de causar alagamentos em CXS e Índice do MODOKI, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 .....	49
Figura 19	Casos com potencial de causar alagamentos em SM e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.....	50
Figura 20	Casos com potencial de causar alagamentos em SM e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009....	51
Figura 21	Casos com potencial de causar alagamentos em SM e Índice do MODOKI, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 .....	52
Figura 22	Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em POA .....	53

Figura 23	Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em POA ....	53
Figura 24	Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em PEL.....	54
Figura 25	Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em PEL ....	55
Figura 26	Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em CXS.....	56
Figura 27	Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em CXS .....	56
Figura 28	Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em SM .....	57
Figura 29	Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em SM .....	57
Figura 30	Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em POA, (a) clima presente (1964-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção .....	58
Figura 31	Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em PEL, (a) clima presente (1964-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção .....	60
Figura 32	Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em CXS, (a) clima presente (1964-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção .....	61
Figura 33	Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em SM, (a) clima presente (1969-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção.....	62

## Lista de tabelas

Tabela 1	Cenários de mudança da temperatura e projeções de elevações no nível do mar. Fonte: IPCC, 2007 .....	30
Tabela 2	Limiares obtidos para as cidades estudadas.....	34
Tabela 3	Diferenças dos casos de alerta do cenário futuro - clima presente....	63
Tabela 4	Diferenças dos casos de atenção do cenário futuro - clima presente	63
Tabela 5	Trimestres com maior número de casos de alerta .....	65
Tabela 6	Trimestres com maior número de casos de atenção .....	65

### **Lista de abreviaturas e siglas**

AMJ	Abril, Maio e Junho
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CCST	Centro de Ciências do Sistema Terrestre
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CXS	Caxias do Sul
ENOS	El Niño Oscilação Sul
Eta-HadCM3	Modelo Climático Regional do CCST/INPE
FF	Frente Fria
GEE	Gases de Efeito Estufa
HadCM3	Modelo Global do Hadley Centre
IAS	Índice do Atlântico Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IME	Índice Multivariado do ENOS
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
JAS	Julho, Agosto e Setembro
JFM	Janeiro, Fevereiro e Março
MCG	Modelo Climático Global
MCR	Modelo Climático Regional
N <sub>2</sub> O	Dióxido Nitroso

NCEP	National Center for Environmental Prediction (Centro Nacional de Previsão Ambiental)
OND	Outubro, Novembro e Dezembro
ONU	Organização das Nações Unidas
PEL	Pelotas
PNM	Pressão ao Nível Médio do Mar
POA	Porto Alegre
RS	Rio Grande do Sul
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SM	Santa Maria
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFPeI	Universidade Federal de Pelotas
UK	Reino Unido

## Sumário

1 Introdução .....	15
2 Revisão de literatura .....	18
2.1 Área de estudo e climatologia .....	18
2.2 Alagamentos e eventos extremos de precipitação .....	20
2.3 Percentil ou quantil .....	23
2.4 Índices climáticos .....	23
2.4.1 Índice Multivariado do ENOS (IME) .....	23
2.4.2 Índice do Atlântico Sul (IAS) .....	24
2.4.3 Índice Modoki .....	25
2.5 Modelagem Climática .....	25
2.5.1 Modelo Eta .....	26
2.5.2 Modelo Eta-HadCM3 .....	26
2.5.3 Cenário empregado no Eta-HadCM3 .....	27
3 Materiais e métodos .....	31
3.1 Dados de alagamentos e de precipitação .....	31
3.2 Delimitação dos limiares .....	31
3.3 Quantificação dos casos, tendências e correlação com índices climáticos ....	32
3.4 Eventos com potencial para causa alagamentos no futuro .....	32

4 Resultados e discussão .....	34
4.1 Limiares dos casos com potencial para causa alagamentos .....	34
4.2 Variação temporal e tendência dos casos no clima presente .....	34
4.2.1 Porto Alegre .....	35
4.2.2 Pelotas .....	36
4.2.3 Caxias do Sul .....	37
4.2.4 Santa Maria .....	38
4.3 Correlações dos casos com os índices climáticos.....	39
4.3.1 Porto Alegre .....	40
4.3.2 Pelotas .....	43
4.3.3 Caxias do Sul .....	46
4.3.4 Santa Maria .....	49
4.4 Clima presente x cenário futuro .....	52
4.4.1 Porto Alegre .....	52
4.4.2 Pelotas .....	53
4.4.3 Caxias do Sul .....	55
4.4.4 Santa Maria .....	56
4.5 Comportamento sazonal no clima presente e cenário futuro .....	57
4.5.1 Porto Alegre .....	57
4.5.2 Pelotas .....	59
4.5.3 Caxias do Sul .....	60
4.5.4 Santa Maria .....	62
4.5.5 Síntese geral do comportamento sazonal dos casos com potencial para causar alagamentos .....	63
5 Conclusões .....	67

Referências .....	70
-------------------	----

## Introdução

A urbanização das cidades é consequência inevitável dos países em desenvolvimento. Contudo, uma urbanização sem planejamento – como por exemplo a ocupação populacional indevida de áreas naturais, ou o excesso de modificação da cobertura do solo, o que acarreta em aumento do escoamento superficial – provoca os transtornos tão comumente observados nas maiores cidades brasileiras. Basicamente, a precipitação incidente sobre uma superfície segue três caminhos: a infiltração no solo, a absorção por parte da cobertura vegetada e o escoamento superficial. A substituição da cobertura vegetal natural da superfície pela cobertura urbanizada (concreto, asfalto, ou solo nu devido ao desmatamento) diminui drasticamente a infiltração da chuva no solo, ou mesmo a absorção na superfície, aumentando o escoamento superficial (GRILO, 1992). Devido à aceleração da gravidade, a água presente na superfície escoava instantaneamente para regiões mais baixas (depressões), acumulando-se, caracterizando o tipo de transtorno mais comum em condições de precipitação intensa: os alagamentos.

Desta forma, pode-se definir os motivos da ocorrência de alagamentos em dois: o antropogênico (urbanização) e o natural (precipitação intensa). Os impactos de um alagamento afetam as estruturas e os processos urbanos, causando transtornos à circulação de transportes, problemas sanitários e de abastecimento, além de danos econômicos e sociais (como por exemplo, o desalojamento de vários civis), dentre muitos outros.

Cidades com relevo acentuado tendem a ter alagamentos com mais facilidade devido ao maior escoamento superficial e maior número de depressões, além da possibilidade grave de deslizamentos de terra. Por estes motivos, torna-se sempre evidente a importância de estudos sobre este tipo de transtorno – e em

especial aos meteorologistas, estudos sobre os eventos extremos de precipitação – voltados para locais específicos (cidades) haja vista que cada local tem suas próprias características geográficas (DA SILVA; NUNES, 2011; SILVA; NUNES, 2012a,b).

Conhecer e entender a variabilidade da precipitação é muito importante devido ao seu grande impacto na população em geral, pois eventos extremos de precipitação são comumente associados a alagamentos. Tais eventos podem ter uma abrangência espacial de grande escala (estados ou países) ou de escala local (cidades ou bairros), e podem ter abrangência temporal de grande escala (sazonal ou mensal, devido a fenômenos climáticos) ou de escala de dias ou horas devido a fenômenos tipicamente convectivos. Por causa das características de urbanização, os alagamentos nas cidades são mais frequentemente provocados por eventos extremos de curta duração. Contudo, mesmo grandes metrópoles podem contornar as consequências de um evento extremo de precipitação desde que tenham planejamento urbano. Um fator importante neste quesito, especialmente no que se refere ao planejamento urbano para as próximas gerações, é a estimativa da frequência deste tipo de evento no futuro, o que pode ser obtido por meio de modelagem climática regional (NUNES; DA SILVA, 2013; MARQUES, 2013).

Esta dissertação tem como objetivo geral a análise do clima presente e o comportamento futuro dos eventos extremos de precipitação local de curta duração com potencial para causar alagamento nas principais cidades do Rio Grande do Sul abrangendo diferentes regiões do Estado: Porto Alegre (POA), Pelotas (PEL), Caxias do Sul (CXS) e Santa Maria (SM). Haja vista que cada cidade possui suas próprias características urbanísticas, torna-se necessário que a análise dos eventos seja específica para cada cidade, pois uma taxa de precipitação que provoca alagamento em uma cidade pode não provocar transtorno em outra. Mais especificamente pretende-se:

- Baseado no histórico de alagamentos de cada cidade, obter o limiar que identificará qual taxa de precipitação representa um caso com potencial para causar alagamento na cidade.

- Quantificar o número de casos e verificar se os mesmos estão mais frequentes ou não.

- Analisar se existe associação entre o número de casos e as anomalias climáticas de temperatura da superfície do mar (TSM).
- Quantificar os casos para o clima futuro, de acordo com o modelo climático regional Eta-HadCM3, e comparar com o clima presente para que se verifique se os casos serão mais frequentes no futuro.
- Analisar sazonalmente o número de casos, tanto no clima presente quanto no futuro.

## Revisão de literatura

### 2.1 Área de estudo e climatologia

O estado do Rio Grande do Sul (RS) encontra-se localizado entre as latitudes 33°45'S e 27°03'S e longitudes 57°39'O e 49°43'O. Com uma extensão territorial de aproximadamente 281.748,5 km<sup>2</sup>, apresentando duas grandes lagoas e uma laguna: - Lagoa Mirim, Lagoa Mangueira e Laguna dos Patos, faz fronteira estadual com Santa Catarina e também possui fronteira com a Argentina (a oeste) e com Uruguai (ao sul). Observa-se que sua topografia é bastante heterogênea, planalto ao norte (altitude superior 990 m), planícies na costa e depressão no centro (altitude inferior a 100 m) (Figura 1).

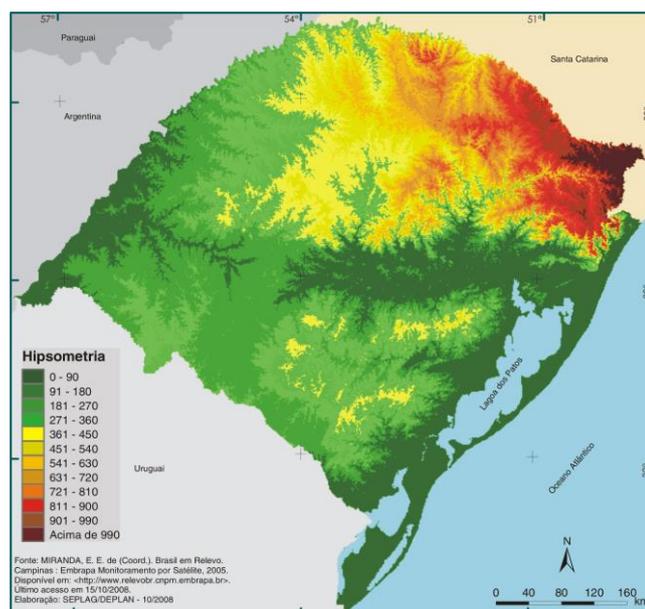


Figura 1 - Mapa topográfico do Rio Grande do Sul.

Fonte: SEPLAG (2013).

Segundo a classificação climática de Köppen, o Rio Grande do Sul é tipificado como subtropical úmido (Cfa) e temperado (Cfb), com precipitação durante todos os meses do ano, além de verões quentes (a) e verões amenos (b). Em grande parte do território gaúcho o clima é classificado como Cfa, sendo que nas áreas mais elevadas do estado foi verificado clima Cfb (KUINTCHER; BURIOL, 2001).

De acordo com Matzenauer et al. (2007), a distribuição espacial de chuva no Estado ultrapassa 1.900 mm anuais na metade norte do RS, enquanto que na metade sul algumas regiões apresentam quantidades inferiores a 1.400 mm (Figura 2).

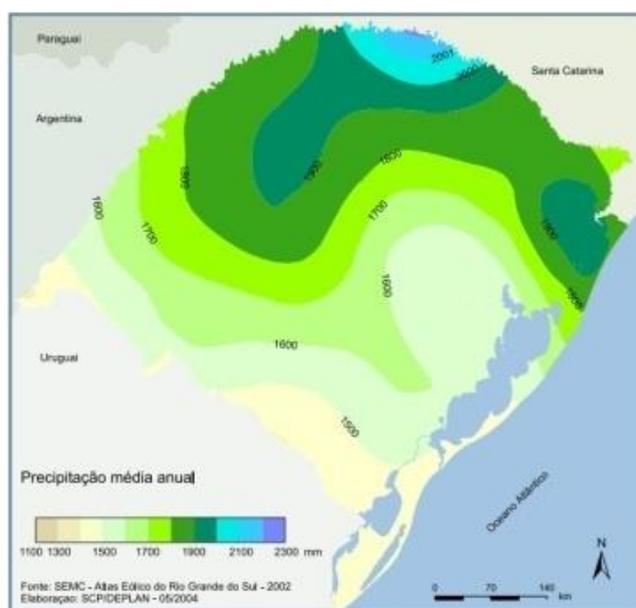


Figura 2- Precipitação média anual.

Fonte: SEPLAG (2013).

Para este estudo foram escolhidas as quatro cidades mais populosas do Estado do Rio Grande do Sul (Fig. 3): Porto Alegre (1), Pelotas (2), Caxias do Sul (3) e Santa Maria (4). Porto Alegre com 1.413.094 habitantes é a capital do estado e está localizada entre as latitudes 29°10' S e 30°10' S e longitudes 51°05'O e 51°16'O, possui uma geografia diversificada, com morros, baixadas e um grande lago (o Guaíba) e tem uma área de 497 km<sup>2</sup>, segundo o IBGE. Seu clima é classificado como Cfa, e apresenta uma precipitação média anual de 1320,2 segundo as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Pelotas localiza-se na região sul do estado, às margens do Canal São Gonçalo que liga as Lagoas dos Patos e Mirim, e possui uma população de 327.778 habitantes. O

município ocupa uma área de 1.609km<sup>2</sup> e o clima da cidade é classificado como Cfa. A precipitação média anual é de 1.379 mm, sendo fevereiro o mês mais chuvoso (145 mm). A cidade de Caxias do Sul está localizada na região Nordeste do RS (Serra gaúcha), cobrindo uma área de 1.644 km<sup>2</sup> e sua população é de 441.332 habitantes. O clima de Caxias do Sul é classificado como Cfb, com verões amenos e invernos relativamente frios. Quanto às precipitações pluviométricas, a média anual é de 1.823 mm (normais climatológicas do INMET), sendo regularmente distribuídas durante o ano. Santa Maria localiza-se no centro geográfico do Rio Grande do Sul, com uma população de 262.368 habitantes. Também tem a precipitação pluviométrica bem distribuída, com volume de chuva anual de aproximadamente 1616,8 mm, de acordo com INMET. E seu clima é considerado Cfa.

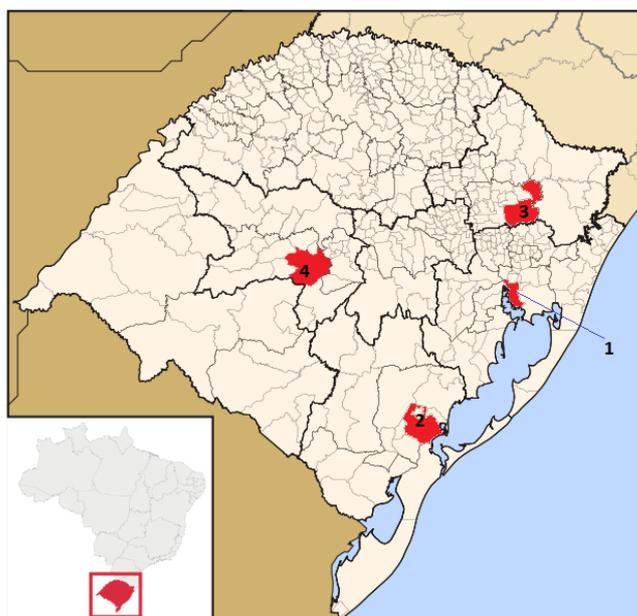


Figura 3 – Localização das cidades estudadas.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:RioGrandedoSul\\_MesoMicroMunicip.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:RioGrandedoSul_MesoMicroMunicip.svg) (adaptado).

## 2.2 Alagamentos e eventos extremos de precipitação

No Rio Grande do Sul, desastres naturais devido à ocorrência de eventos extremos de precipitação são cada vez mais comuns (RECKZIEGEL, 2007), e frequentemente estão associados a transtornos para população. No Brasil, a Secretaria Nacional de Defesa Civil, órgão responsável pela política de defesa civil do País, adota o conceito de desastre como sendo o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável),

causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (CASTRO, 2004a).

Castro (2004b) define alagamento como “águas acumuladas no leito de ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagens deficientes”.

A Localização do Rio Grande do Sul favorece a ação de processos de precipitação que são fortalecidos pela sustentação do conteúdo de umidade, proveniente tanto dos oceanos Atlântico e Pacífico, como da região continental. Os sistemas precipitantes podem ser divididos em duas escalas de movimento, os sistemas sinóticos frequentemente associados aos chamados meses mais frios e os sistemas de mesoescala frequentemente associados meses mais quentes. Dentre os vários causadores de eventos de chuva no Rio Grande do Sul, destacam-se os Sistemas Frontais (frente fria, frente quente e centro de baixa pressão na superfície), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e o El Niño Oscilação Sul (ENOS) (BARBIERI et al.,2008).

Os sistemas frontais são sistemas sinóticos que propagam-se do Oceano Pacífico pra leste devido à presença de sucessivos cavados e cristas, levando energia nesse sentido (FORTUNE; KOUSKY,1983). Além disso, por estar inserido numa região frontogenética (SATYAMURTY; MATTOS, 1989; REBOITA et al., 2009), ou seja, onde as frentes podem se formar ou se intensificar, faz com que o RS seja atingido por esses sistemas durante todo ano. Esses sistemas, por vezes, provocam chuvas intensas que afetam a economia regional e causam grandes danos materiais e perdas de vidas humanas. Mas, é nos meses mais frios (especialmente no inverno) onde os sistemas frontais são mais frequentes (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003; ANDRADE, 2007).

Episódios de precipitação no RS também estão associados a sistemas sub-sinóticos como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) que é um tipo de SCM. Definidos por Fritsch e Maddox (1981), os CCMs são nuvens frias cumulonimbus cobertas por uma camada cirrus de forma circular e profunda com diâmetro de centenas de quilômetros com um crescimento rápido de 6 a 12 horas. Esses sistemas se desenvolvem a Leste do Andes e movem-se em direção ao Sudeste-Sul (MACHADO et al., 2002; NICOLINI et al., 2002) tendo sua fase mais ativa de Outubro a Abril (primavera e verão). Os CCMs são alimentados pelo Jato de

Baixos Níveis que transportam umidade e calor das baixas latitudes, provocando chuvas intensas no Sudeste-Sul do Brasil (MADDOX, 1983).

O ENOS é conhecido como um fenômeno oceânico-atmosférico que ocorre no Oceano Pacífico, e, perturba o clima e tempo em várias partes do globo terrestre, bem como no Brasil, especialmente na Região Sul, onde o fenômeno pode ser responsável pela ocorrência de excessos (no inverno e de primavera) e déficits de precipitação (GRIMM ET AL. 2000; PEZZI; CAVALCANTI, 2001). Os eventos de El Niño são definidos pelo aquecimento anormal do setor Central e Leste do Oceano Pacífico Tropical, enquanto eventos de La Niña são definidos pelo resfriamento anormal deste setor (BJERKNES, 1966). Anomalias de TSM que ocorrem em outras regiões do Pacífico Equatorial estão sendo estudadas como outro tipo de El Niño, chamado El Niño Modoki, que é caracterizado por anomalias positivas de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Central acompanhado por anomalias negativas de TSM no Pacífico Leste e Oeste.

De acordo WENG et al. (2007) há diferenças nas influências globais de um El Niño Modoki em comparação com o ENOS. Para a região Sul do Brasil, não são esperadas chuvas acima da média histórica e em muitos eventos já foram observados anomalias negativas de chuva ou chuvas irregulares.

Alexander et al. (2006), identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa e chuva muito intensa concentrada em curto espaço de tempo no período de 1961-2000, no Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e Centro-norte da Argentina. Teixeira e Satyamurty (2007) também encontraram tendência de crescimento na ocorrência de eventos de precipitação intensa na região Sul do Brasil, principalmente em anos de El Niño.

Da Silva e Nunes (2011), ao analisar a região Leste de Santa Catarina, também verificaram uma tendência positiva do número de casos chuva intensa, durante o período de 1951 a 2010. Nunes e Da Silva (2013), verificaram que neste mesmo período, o verão foi a estação que mais apresentou casos de eventos extremos de precipitação.

### 2.3 Percentil ou quantil

Percentil ou quantil ( $q_p$ ) é um número que contém as mesmas unidades dos dados, que excede a proporção dos dados fornecidos pelo subscrito  $p$ , com  $0 \leq p \leq 1$ . A amostra do quantil pode ser interpretada como o valor esperado para exceder um membro escolhido aleatoriamente de um conjunto de dados, com probabilidade  $p$  (WILKS, 2006). A mediana, ou  $q_{0,5}$ , ou o quinquagésimo percentil, é o valor central dos dados, de forma que 50% dados estejam acima e abaixo dele. Se o conjunto de dados contiver um número ímpar de valores, a mediana é simplesmente, a estatística da ordem do meio (Equação 1). Se houver um número par, o conjunto de dados tem dois valores médios e a mediana é a médias desses dois valores (Equação 2).

$$q_{0,5} = x \left[ \frac{n+1}{2} \right], n \text{ ímpar} \quad 1$$

$$q_{0,5} = x \left[ \frac{n}{2} \right] + x \left( \left[ \frac{n}{2} \right] + 1 \right), n \text{ par} \quad 2$$

### 2.4 Índices climáticos

O comportamento do clima responde diretamente às variações das águas dos oceanos ao redor do planeta. Grimm et al. (1998), Gruppelli (2007) e Santos (2011), observam que a variação na temperatura da superfície dos Oceanos Pacífico e Atlântico influenciam precipitação nas regiões tropicais e de latitudes médias. Índices como o Índice Multivariado do ENOS (IME), Índice do Atlântico Sul (IAS) e Índice Modoki, podem ser utilizados para fazer avaliação dessa influência.

#### 2.4.1 Índice Multivariado do ENOS (IME)

O índice IME (Índice Multivariado do ENOS), obtido do NCEP (National Center for Environmental Prediction), é um índice numérico que integra a ação de diferentes fatores que caracterizam o ENOS e é determinado por seis variáveis atmosféricas: pressão ao nível médio do mar (PNM), componente zonal ( $u$ ) e

meridional do vento ( $v$ ) em superfície, temperatura da superfície do mar (TSM), temperatura do ar em superfície (T) e fração de nebulosidade (N). O IME é calculado separadamente, para cada um dos doze meses do ano, e expresso como médias bimestrais (Dez-jan, Jan-fev,..., Nov-dez), para o período de 1950 até os dias atuais (LOPES, 2006).

O índice pode variar entre valores negativos e positivos, que estão relacionados com fenômenos La Niña e El Niño, respectivamente, e também indica a intensidade dos eventos (LAY; AIELLO, 2001).

#### 2.4.2 Índice do Atlântico Sul (IAS)

De acordo com Santos (2011) que estudou a influência do oceano Atlântico na precipitação no Estado do Rio Grande do Sul (RS), no intervalo de 1948 a 2009, o Índice do Atlântico Sul (IAS) é um índice que apresenta uma maior associação com a precipitação no estado. As variáveis utilizadas para o cálculo desse índice foram: média e desvio padrão da TSMs da região oceânica situada em 20°S-30°S; 20°W-40°W (Figura 4), resultando em séries temporais de dados entre 1900 e 2009. Santos observou que o Atlântico sofre influências externas de forma que é possível identificar numericamente as oscilações das anomalias de TSMs, na qual a fase positiva corresponde à anomalia positiva, e a fase negativa corresponde à anomalia negativa das TSMs desta parte oceânica.

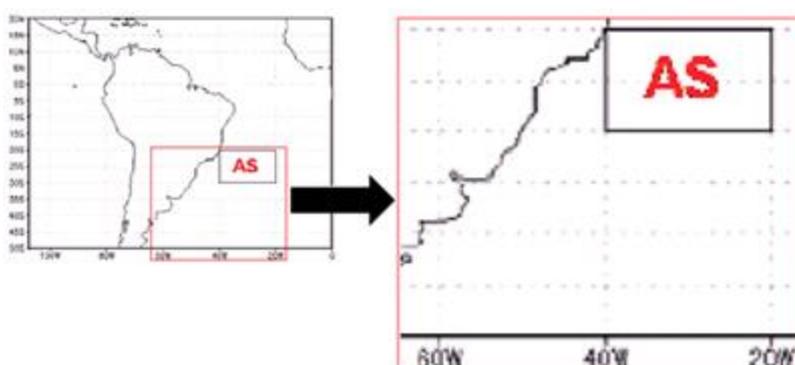


Figura 4 - Localização da área de determinação do índice IAS.

Fonte: Adaptado de Santos (2011).

### 2.4.3 Índice Modoki

O Índice Modoki é caracterizado por anomalias positivas de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Central acompanhado por anomalias negativas de TSM no Pacífico Leste e Oeste (Equação 3).

$$EMI = ATSM_{BOx-A} - 0,5 * ATSM_{BOx-B} - 0,5 * ATSM_{BOx-C} \quad 3$$

Os três termos do lado direito da equação são derivadas da média da área de anomalia de TSM sobre cada uma das regiões A (165° E a 140° W; 10° S a 10° N), B (110° W a 70° W, 15° S a 5° N) e C (125° E a 145° E, 10° S a 20° N), respectivamente. Esse índice pode ser obtido na Agência Japonesa de Ciência e Tecnologia da Terra e do Mar (JAMSTEC). Os valores mensais podem ser encontrados em:

[http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/enmodoki\\_home\\_s.html.en#emi\\_data](http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/enmodoki_home_s.html.en#emi_data).

## 2.5 Modelagem climática

Conhecer o comportamento futuro dos eventos com potencial para causar alagamentos é de grande importância para o planejamento das cidades. Modelos dinâmicos de projeções climáticas futuras (modelos climáticos) podem apoiar tomadores de decisão na formulação de políticas sobre o impacto das mudanças climáticas, a vulnerabilidade e as medidas de adaptação em diversos seguimentos da sociedade.

Através do uso destes modelos climáticos, torna-se possível desenvolver estudos que indiquem a tendência de eventos futuros e também alterações sutis que ocorrem continuamente ao longo dos anos. Os Modelos climáticos globais (MCG) são ferramentas numéricas que têm como finalidade a análise da variabilidade e mudança climática ao longo de um grande período de tempo. Entretanto, a resolução espacial dos modelos climáticos globais é muito grosseira, pois não captam as alterações de escalas menores controlados por aspectos locais, tais como a topografia, os limites terra-mar, a vegetação e outros.

Assim, faz-se necessário o refinamento da grade dos modelos através das técnicas de downscaling (condições iniciais e de contorno). Um método muito

utilizado na modelagem climática é o refinamento da grade usando modelos climáticos regionais (MCR) empregando as condições do MCG (CHOU et al., 2011). Segundos os autores, as projeções climáticas oriundas de modelos climatológicos regionais (MCRs) são úteis no estudo de impactos de extremos de precipitação devido a melhor capacidade de representar características locais da superfície. Um dos modelos climáticos globais mais empregados para fins de geração de condições de contorno é o modelo acoplado oceano-atmosfera HadCM3 – modelo do Hadley Centre (UK), que um dos principais centros de pesquisa de mudanças climáticas do mundo.

### **2.5.1 Modelo Eta**

O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) emprega com sucesso o modelo regional Eta operacionalmente desde 1996 para a geração de previsão do tempo sobre a América do Sul. O modelo Eta possui tal denominação por empregar a coordenada vertical  $\eta$ , adequada para regiões de orografia acentuada como a Cordilheira dos Andes (MESINGER, 1984). As variáveis prognósticas são temperatura, umidade específica, vento horizontal, pressão à superfície, energia cinética turbulenta e quantidade de água e gelo nas nuvens. O modelo de precipitação é baseado no esquema de parametrização cumulus Betts-Muller-Janjic (JANJIC, 1994) e pelo esquema de microfísica de nuvens de Zhao (ZHAO et al., 1997). O esquema solo-superfície (CHEN et al., 1997; EK et al., 2003) é baseado em temperatura e umidade em quatro profundidades: 10 cm, 30 cm, 60 cm e 100 cm. O esquema distingue 12 tipos de vegetação e sete tipos de textura de solo.

Chou et al. (2005) mostraram que o modelo regional Eta (modelo operacional utilizado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE) obteve melhores resultados em comparação ao modelo de circulação geral (escala global) MCG-CPTEC.

### **2.5.2 Modelo Eta-HadCM3**

Foi utilizado o modelo regional Eta-CPTEC com as condições de contorno do modelo global HadCM3 (CHOU et al., 2011; MARENGO et al., 2011), sendo

assim chamado de modelo Eta-HadCM3, modelo do Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST) do INPE, – cujas simulações de precipitação e temperatura (média de área) para o tempo presente (1961-1990) e futuro (2010-2099), assumindo o cenário A1B do relatório do IPCC – International Panel on Climate Change (IPCC, 2007). Em comparação com climatologias (1961-1990) baseadas em reanálises sobre a América do Sul, o modelo HadCM3 apresentou, no geral, melhores resultados do que o HadAM3 (PESQUERO, 2009).

Para efetuar o aninhamento dos modelos, o código original do Eta-CPTEC sofreu modificações de maneira que as concentrações de CO<sub>2</sub> variassem de acordo com o HadCM3. Foi feita uma interpolação linear na escala de tempo para que se evitasse que os dados anuais de CO<sub>2</sub> fossem gerados com saltos súbitos (MARENGO et al., 2011). As TSMs foram obtidas do modelo acoplado oceano-atmosfera e o índice de vegetação estabelecido em médias mensais. As condições de contorno do HadCM3 com resolução de 2,5 ° latitude e 3,75 ° longitude eram atualizadas a cada 6 horas. O modelo foi montado para ser executado com uma resolução horizontal de 40 km, 38 níveis verticais e 90 s de passo de tempo.

### **2.5.3 Cenário empregado no Eta-HadCM3**

As variações das emissões dos gases de efeito estufa (GEEs), em especial o CO<sub>2</sub> fazem com que as simulações do clima sejam baseadas em diferentes cenários futuros de aquecimento global. Dentre os fatores que influenciam o comportamento dos cenários futuros a serem estimados pelos modelos climáticos estão às taxas de emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2007). É de senso comum que a capacidade de absorção de onda longa por parte dos gases de efeito estufa acarreta em um aquecimento do sistema terrestre. Duas questões sempre pertinentes são: o quanto responsável são as ações antropogênicas na taxa de aquecimento global; e o quanto precisos são os modelos climáticos em prever esta taxa. Neste sentido, com o objetivo de se estudar o assunto por meio de diferentes metodologias e tecnologias (modelagem climática), foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Para fins de mudança climática, o modelo Eta-HadCM3 usa uma representação fixa da concentração de CO<sub>2</sub> equivalente a 330 ppm – cenário de

emissões de gases de efeito estufa A1B, de acordo com Nakicenovic et al. (2000). Este é um cenário intermediário que considera uma situação mais realista quando comparado aos demais cenários de mudança do clima global A2 (pessimista) e B1 (otimista), ou seja, o cenário A1B indica um balanço entre todas as fontes de energia (fósseis e não-fosséis) (PESQUERO, 2009).

O Relatório Especial do IPCC sobre Cenários de Emissões (SRES) projeta um aumento das emissões globais de GEE em 25% a 90%, entre 2000 e 2030, com os combustíveis fósseis mantendo sua posição dominante no cenário mundial de energia de 2030 em diante.

As emissões globais de GEE (Figura 5), na ausência de políticas climáticas são apresentadas no painel da esquerda: As linhas tracejadas mostram os extremos para os múltiplos cenários. Estas emissões incluem CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, entre outros gases. No painel da direita, as linhas sólidas são médias globais dos múltiplos modelos de temperatura da superfície para os cenários A2, A1B e B1, mostradas como continuações das simulações do século 20. A linha cor-de-rosa não é um cenário, mas o resultado de um modelo de circulação geral oceano-atmosfera (AOGCM) com simulações em que as concentrações atmosféricas são mantidas constantes. As barras na parte direita da figura indicam a melhor estimativa (linha sólida dentro de cada barra) e a faixa provável avaliada para os seis cenários da SRES em 2090-2099. Emissões continuadas de GEE com taxas atuais ou superiores causariam um maior aquecimento e induziriam muitas mudanças no sistema climático global durante o século 21.

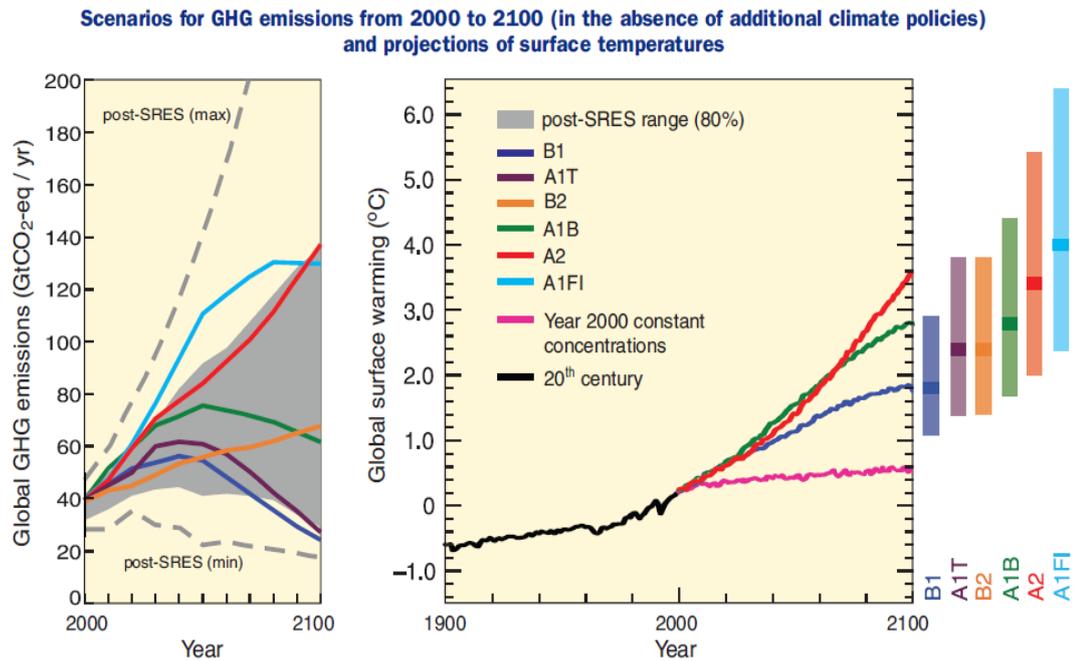


Figura 5 – Cenário das emissões dos gases de efeito estufa (esquerda) e projeções de temperatura da superfície (direita).

Fonte: IPCC (2007).

As projeções de elevação do nível do mar para 2090-2099 são apresentadas a seguir (Tabela 1). Essas projeções não incluem incertezas na interação entre clima e o ciclo do carbono, nem os efeitos das mudanças no fluxo de camada de gelo, portanto, os valores superiores dos intervalos não devem ser considerados limites superiores para o aumento do nível do mar.

Tabela 1- Cenários de mudança da temperatura e projeções de elevações no nível do mar.

Caso	Mudança de Temperatura (°C em 2090-2099 relativa a 1980-1999) <sup>a</sup>		Elevação do Nível do Mar (m em 2090-2099 relativa a 1980-1999)
	Melhor estimativa	Faixa <i>provável</i>	Faixa com base em modelo, excluindo-se as futuras mudanças dinâmicas rápidas no fluxo de gelo
Concentrações constantes do ano 2000 <sup>b</sup>	0,6	0,3 – 0,9	Não disponível
Cenário B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Cenário A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Cenário B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Cenário A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Cenário A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Cenário A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

Fonte: Adaptado de IPCC (2007).

## **Materiais e métodos**

### **3.1 Dados de alagamentos e de precipitação**

A busca dos casos de alagamentos foi realizada nos registros (2003 a 2013) do órgão de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul. Como nem todas as informações de alagamentos tratava-se de áreas urbanas optou-se também por pesquisar em jornais de maior circulação (Correio do Povo, Zero hora, Diário Popular, Diário da Manhã, Pioneiro, Gazeta de Caxias, Diário de Santa Maria e A Razão) das cidades investigadas.

Foi feita associação dos casos de alagamentos com os respectivos dados de precipitação acumulada entre o dia anterior e o dia da ocorrência do evento. Para isso, foram utilizados os dados diários de precipitação das estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) do período de 1961 a 2013. As falhas encontradas nos dados de precipitação na cidade Porto Alegre não atingiram 2%, sendo assim, os mesmos foram utilizados sem qualquer ajuste; Pelotas não apresentou falhas nos dados; Caxias do Sul teve sua série completada com os dados de precipitação disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA); e Santa Maria descartou-se 1967 a 1968 para análise dos casos por quinquênios.

### **3.2 Delimitação dos limiares**

Os episódios de chuva com potencial de alagamentos foram classificados em casos de *atenção* ou de alerta em função da taxa de precipitação nas 48 horas antes da ocorrência do evento.

A obtenção do limiar que serviu para identificar os casos de *atenção* para ocorrência de alagamento corresponde ao percentil 25 dos dados de precipitação do

período de 1961-2013. Desta forma, toda vez que o valor deste limiar for alcançado nos dados, será considerado um caso de *atenção*.

O mesmo foi feito para se considerar um caso de *alerta*, mas este correspondente ao percentil 75 dos dados de precipitação.

### **3.3 Quantificação dos casos, tendências e correlação com índices climáticos**

Após estabelecer os limiares de chuva para os casos de *atenção* e *alerta* foi feita a contagem (anual e por quinquênios) e a determinação da tendência linear para verificar se os casos estão mais frequentes ou não, durante o período estudado (1961 a 2013). Para um conhecimento mais detalhado do comportamento dos casos com potencial para causar alagamentos, fez-se uma classificação dos casos por trimestres; Janeiro a março (JFM); Abril a junho (AMJ); Julho a setembro (JAS) e outubro a dezembro (OND).

Os casos anuais de *atenção* e de *alerta* foram relacionados com as anomalias climáticas de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico. A relação foi obtida através do cálculo da correlação linear simples ( $r$ ) entre os casos e os seguintes índices climáticos: IME (Índice Multivariado do ENOS), obtido do NCEP (National Center for Environmental Prediction); o IAS (Índice do Atlântico Sul), de acordo com Santos (2011) e Índice Modoki, obtido da JAMSTEC (Agência Japonesa de Ciência e Tecnologia da Terra e do Mar). De acordo com Dancey e Reidy (2006), as correlações lineares simples são classificadas:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte). Foram utilizados os picos dos dados anuais destes índices climáticos e as correlações testadas através do Teste T – Student para verificar sua significância estatística, i. e., quando o valor de T calculado é maior que o T de Student (valor tabelado). A correlação foi considerada estatisticamente significativa para valores de nível de confiança igual ou superior a 95%.

### **3.4 Eventos com potencial para causa alagamentos no futuro**

Os limiares foram aplicados com uso do software GrADS nas simulações geradas pelo modelo climático regional Eta-HadCM3 para quantificação do número de casos (de *atenção* e de *alerta*) no período 2021-2070. As simulações do cenário futuro geradas pelo modelo foram gentilmente fornecidas pelo CCST (Centro de

Ciências do Sistema Terrestre) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Posteriormente, foi feita a comparação entre casos quantificados no clima presente (1964-2013) e no cenário futuro, com intuito de verificar se haverá um aumento ou diminuição dos casos numa perspectiva futura. Também se investigou o comportamento sazonal dos casos nos trimestres janeiro-fevereiro-março (JFM), abril-maio-junho (AMJ), julho-agosto-setembro (JAS) e outubro-novembro-dezembro (OND).

## Resultados e discussão

### 4.1 Limiares dos casos com potencial para causar alagamentos

Abaixo são apresentados os limiares de *atenção* e *alerta* encontrados para cada uma das cidades estudadas (Tabela 2). Em função de suas características urbanísticas cada cidade revelou um valor de precipitação distinto para ser considerado um evento extremo de curta duração com potencial para causar um alagamento. Por ser mais urbanizada a cidade de Porto Alegre é que apresentou o menor limiar, ou seja, necessita de um menor volume de chuva para se desencadear um alagamento.

Tabela 2 - Limiares obtidos para as cidades estudadas.

<b>Cidade</b>	<b>Limiar - Caso de Atenção</b>	<b>Limiar – Caso de Alerta</b>
<b>Porto Alegre</b>	$\geq 25,2$ mm/48h	$\geq 53,5$ mm/48h
<b>Pelotas</b>	$\geq 36,4$ mm/48h	$\geq 80,5$ mm/48h
<b>Caxias do Sul</b>	$\geq 33,2$ mm/48h	$\geq 84$ mm/48h
<b>Santa Maria</b>	$\geq 30,5$ mm/48h	$\geq 76,9$ mm/48h

### 4.2 Variação temporal e tendência dos casos no clima presente

Como em outros estudos semelhantes (SILVA, 2013; DA SILVA, 2011), fez-se o uso da tendência linear para descrever a tendência temporal dos casos com potencial para causar alagamentos. Os casos em que os limiares foram atingidos foram separados em *atenção* e *alerta*, quantificados e somados anualmente durante o período de 1961 a 2013 (clima presente). Também foram obtidos os casos organizados em quinquênios (1964 a 2013) com a finalidade de se conseguir uma análise de tendência mais clara do que a anual, pois, para todas as cidades

estudadas, a análise anual mostra um comportamento bastante oscilatório, o que explica as tendências todas muito próximas a zero. Já na análise quinquenal as oscilações bruscas são amortizadas, o que não evitou que as tendências continuassem muito sutis. Entretanto, apesar de pequenas, as tendências devem ser consideradas haja vista o período estudado – como são vários anos, é esperado uma tendência pequena, seja positiva ou negativa.

#### **4.2.1 Porto Alegre**

Os resultados obtidos para a cidade de Porto Alegre somam um total de 1582 casos de *atenção* com potencial para causar alagamentos (Figura 6a), com média anual de 30 casos; 439 casos de *alerta* (Figura 6b) com média de oito casos/ano. Na figura 6c, com os dados organizados em quinquênios (1964 a 2013, num total 419 casos de *alertas* e 1509 de *atenção*) fica evidente que a variabilidade diminui significativamente quando comparada aos dados anuais (Figuras 6a,b) e que as tendências lineares são mais representativas. Ainda pode-se observar por esta figura (6c) que nos últimos 50 anos ambos os casos tiveram um crescimento suave. Evidencia-se pelas figuras 6 c, que a maior frequência dos casos de *atenção* ocorre nos anos de 1984 a 1988 (180 casos) e entre 1994 a 1998 (183 casos).

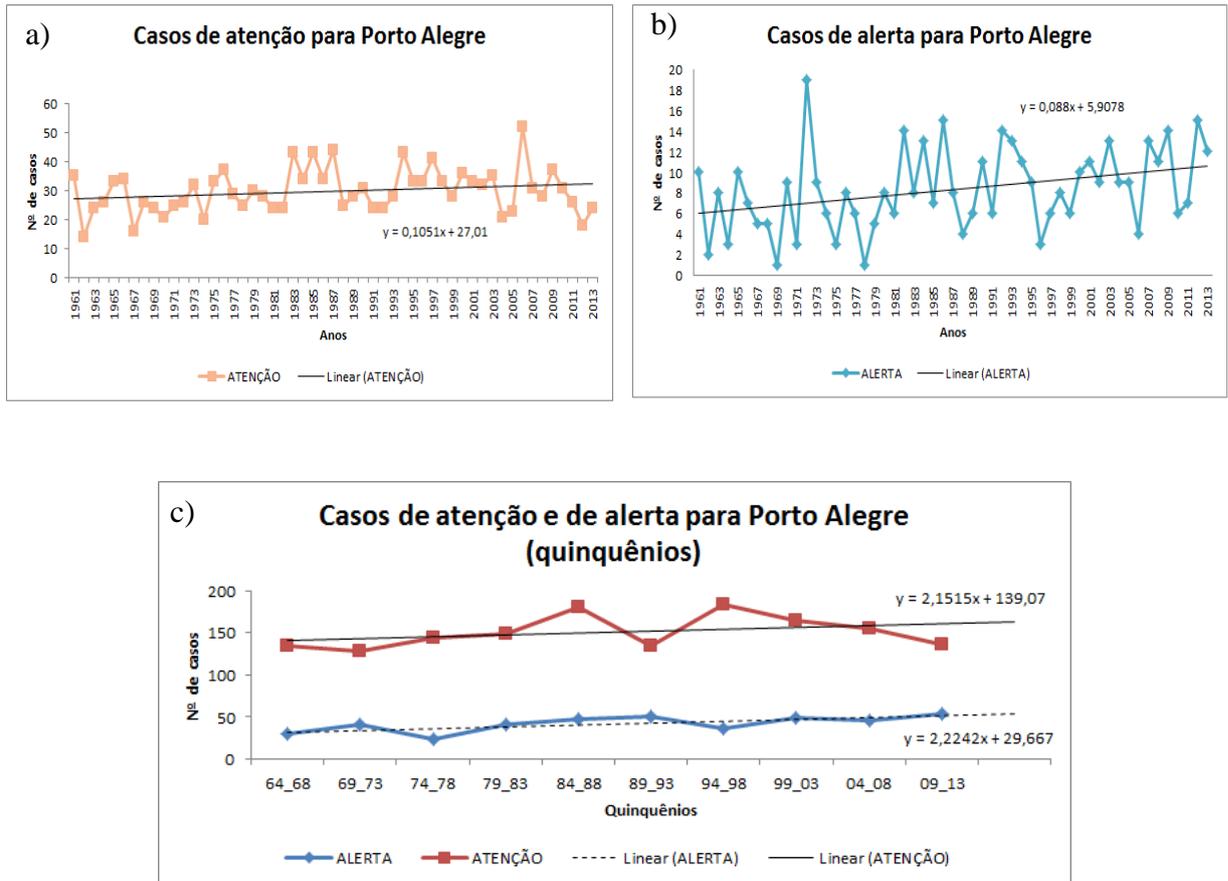


Figura 6 - Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Porto Alegre, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1964 a 2013.

#### 4.2.2 Pelotas

De acordo com figuras 7a (casos de atenção) e 7b (casos de alerta), em Pelotas, no período de 1961 a 2013, foram contabilizados 919 casos de *atenção* e 162 de *alerta*, em média houve 3 casos de *alerta* e de 17 casos de *atenção* por ano.

Na análise dos casos de *atenção* e *alertas* por quinquênios (Figura 7c), a cidade de Pelotas teve em média 16 casos de *alertas* e 87 de *atenção*. Destacam-se nesta figura, os quinquênios onde há maior incidência dos casos de atenção, o quinquênio 1994 a 1998 com 103 casos e o período de 1999 a 2003 com 121 casos. Nota-se que nas figuras 7a, b e c, durante o período estudado os casos exibiram tendências positivas extremamente suaves.

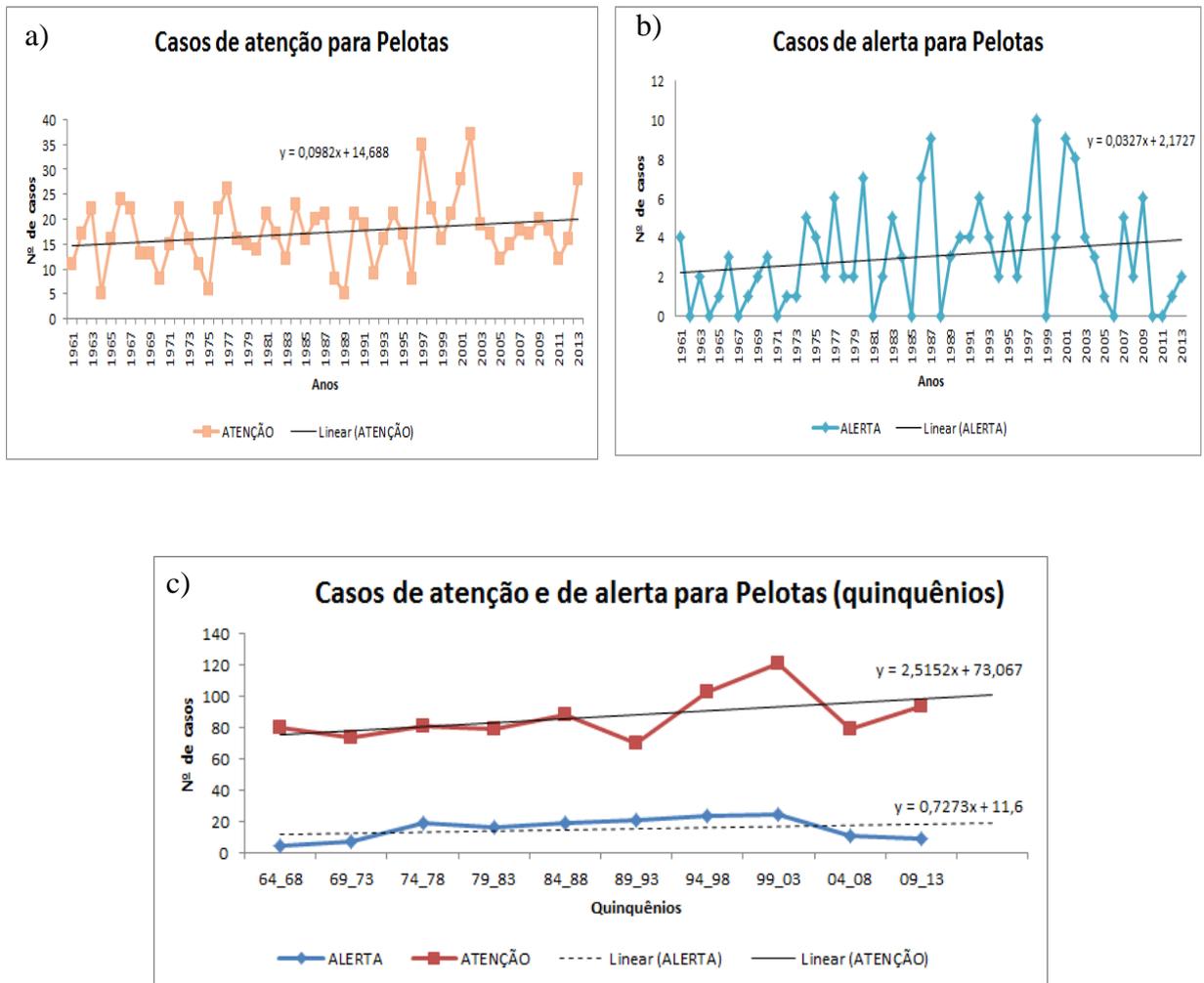


Figura 7 - Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Pelotas, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1964 a 2013.

#### 4.2.3 Caxias do Sul

Na cidade de Caxias do Sul destaca-se uma suave tendência negativa, ou seja, diminuição dos casos de *atenção* (Figura 8a), com valores médios de 30 casos/ano e um total de 1609 casos entre 1961-2013. Para os casos de *alerta* (Figura 8b), CXS apresentou suave tendência de crescimento no número casos com potencial para causar alagamento, perfazendo um total de 160 e média de 3 ao ano.

Com os casos estruturados em quinquênios (Figura 8c), observa-se tendência negativa para os casos de *atenção* e positiva para os *alertas*. Os quinquênios que apresentaram mais casos de atenção foram 1969-1973 (com 174) e o período 1994-1998 (com 171). Cabe salientar que tanto a tendência positiva quanto a negativa observada para a cidade Caxias do Sul são extremamente sutis.

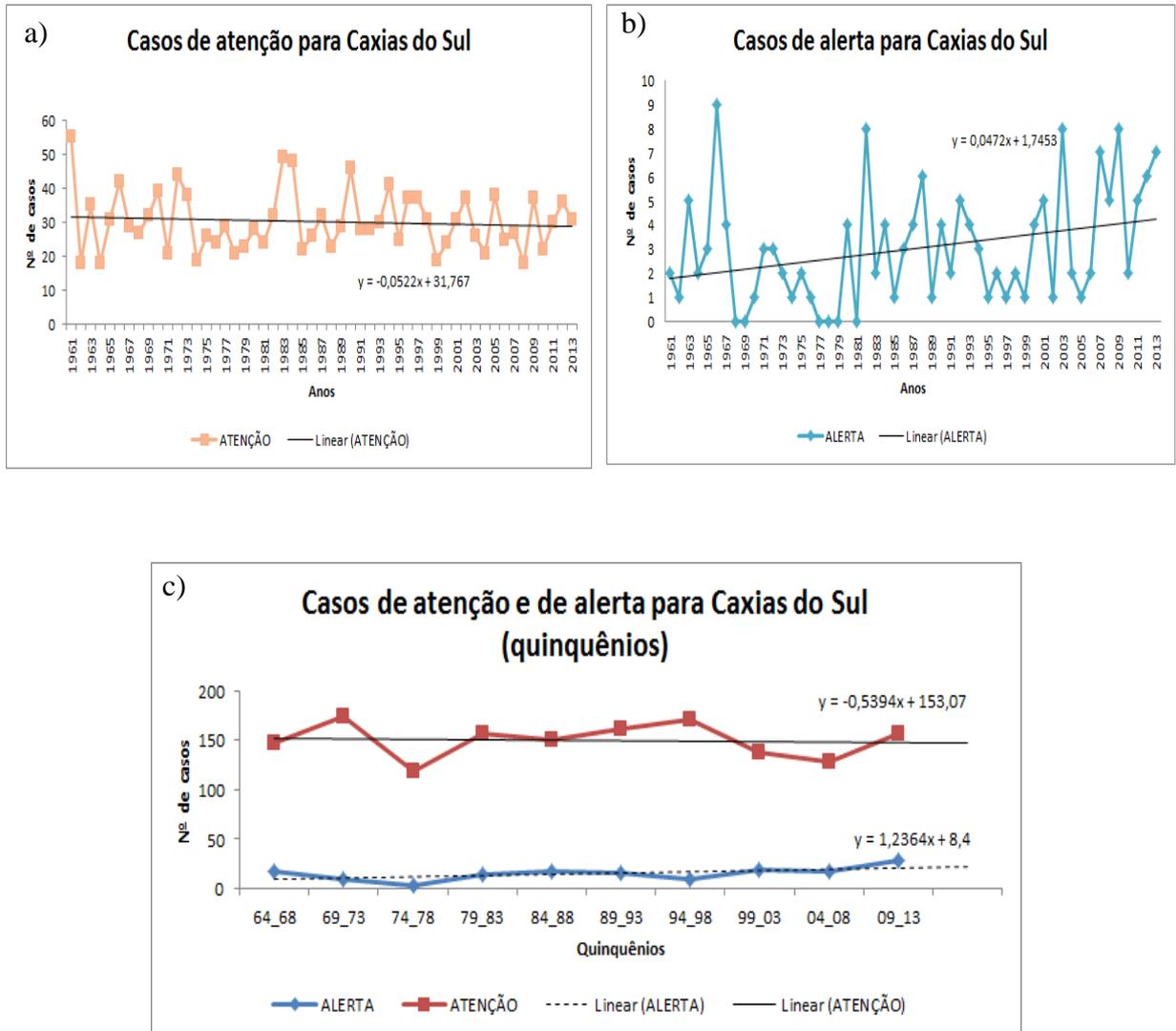


Figura 8 - Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Caxias do Sul, atención (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1964 a 2013.

#### 4.2.4 Santa Maria

Observando a figura 9, em ambas as situações para os casos de *atención* (Figura 9a) e de *alerta* (Figura 9b) vê-se uma suave tendência de crescimento do número de casos em Santa Maria. Os totais quantificados foram de 1750 para *atención* e 296 para *alerta*, com respectivas médias anuas de 33 e 5 casos. Como houve falhas significativas nos dados observados (precipitação), que não puderam ser sanadas entre os anos 1967 e 1968, o agrupamento por quinquênios (Figura 9c) foi efetuado para o período de 1969 a 2013, a cidade apresentou um pico de máxima nos casos de *atención* (257 casos) bem definido ocorrido entre os anos de 1999 a 2003. Esse agrupamento revelou uma tênue tendência negativa dos casos alerta para cidade.

Observou-se mudança no sinal da tendência quando analisada anualmente ou quinquenalmente. Isto se deve a uma coincidência numérica, haja vista que ambas tendências são extremamente sutis, podendo seus coeficientes angulares serem ligeiramente acima ou abaixo de zero.

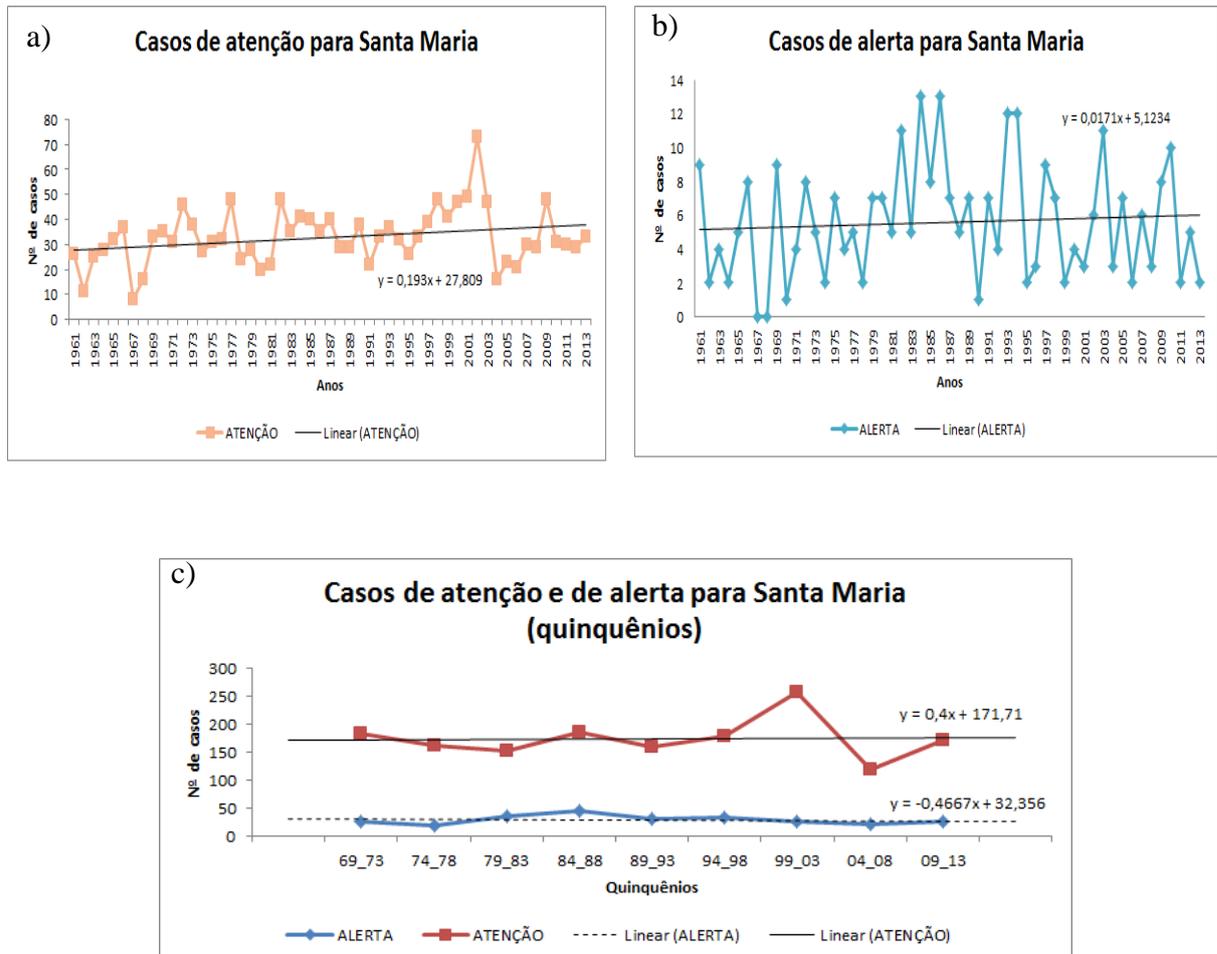


Figura 9 - Casos com potencial de causar alagamentos e sua tendência linear (com as respectivas equações de regressão linear) para Santa Maria, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013 e quinquênios (c) de 1969 a 2013.

### 4.3 Correlações dos casos com os índices climáticos

Neste trabalho, não se esperam altos valores de coeficientes das correlações lineares entre os índices climáticos e a variável aqui estudada, haja vista que esta – evento extremo de precipitação com potencial para causar alagamento – ao contrário da variável precipitação, refere-se somente a valores extremos específicos, além de levar em consideração várias características peculiares de cada cidade, como relevo e urbanização – fatores que contribuem para que a correlação seja baixa.

### 4.3.1 Porto Alegre

As figuras a seguir mostram a relação entre o número de casos de *atenção* e *alerta* da cidade de POA com índices climáticos: IME (Figura 10) e IAS (Figura 11). Nelas podemos observar, visualmente, que há certa concordância entre casos e os índices oceânicos, exceto para associação dos casos de *alertas* com o IAS (Figura 11b), onde a correlação ( $r$ ) encontrada foi de 0,17 e não apresentou significância estatística conforme a metodologia adotada para essa pesquisa.

Para os casos de *atenção* x IME (Figura 10a), a correlação ( $r$ ) foi de 0,26 com uma significância estatística ao nível de confiança de 97%, e para os casos de *alerta* (Figura 10b) obteve-se um coeficiente de correlação simples  $r = 0,33$  para um nível de confiança de 99,3%. A avaliação de  $r$  para os casos de *atenção* com IAS (Figura 11a) também apresentou uma significância estatística satisfatória de 96,4% para correlação igual 0,23.

Com tais valores de coeficiente de correlação linear, pode-se determinar que as relações entre os casos com potencial para causar alagamentos em POA e os índices climáticos são consideradas fracas (DANCEY; REIDY, 2006). Mesmo assim, os resultados concordam em parte com demais estudos de climatologia que indicam conexão do fenômeno ENOS com casos com potencial de alagamentos para POA, há situações onde os índices são negativos (positivos), configurando La Niña (El Niño) e os casos não apresentaram diminuição (aumento) relevante.

Nas figuras 12a e 12b, são apresentados os casos com potencial para causar a alagamento juntamente com o Índice Modoki observado nos anos de 1961 a 2013. Ao aplicar o mesmo tipo de correlação (linear), foram obtidos resultados quem apresentaram baixíssimas correlações (0,02 nos casos de *alerta* e -0,16 nos casos de *atenção*). Também foi verificada através do teste de T, a ausência de significância estatística para as correlações.

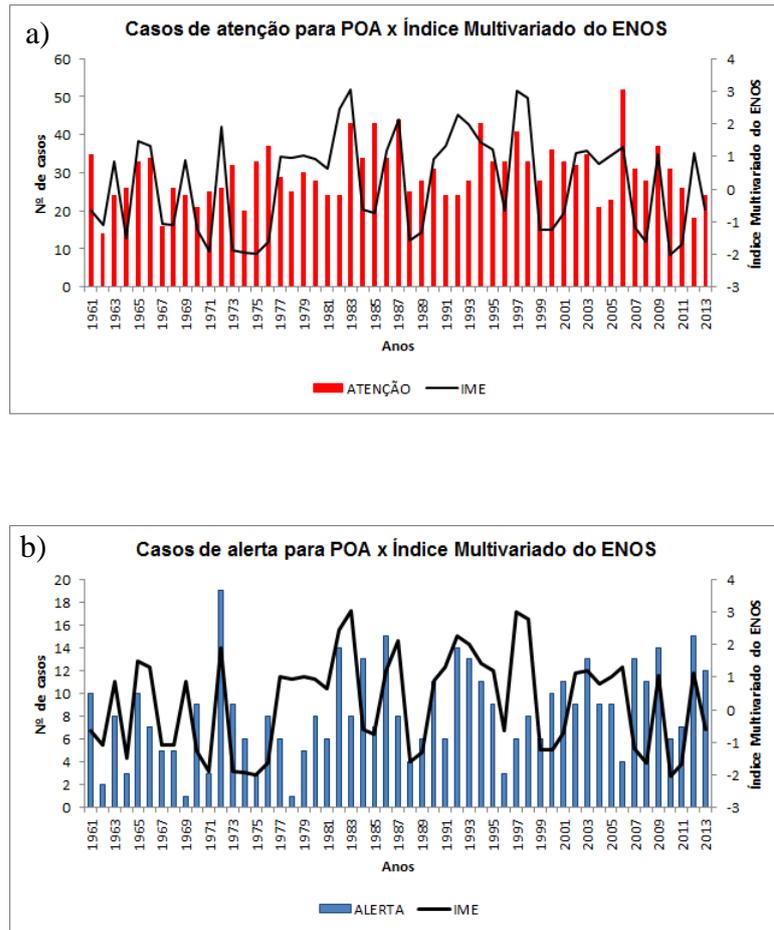


Figura 10–Casos com potencial de causar alagamentos em POA e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

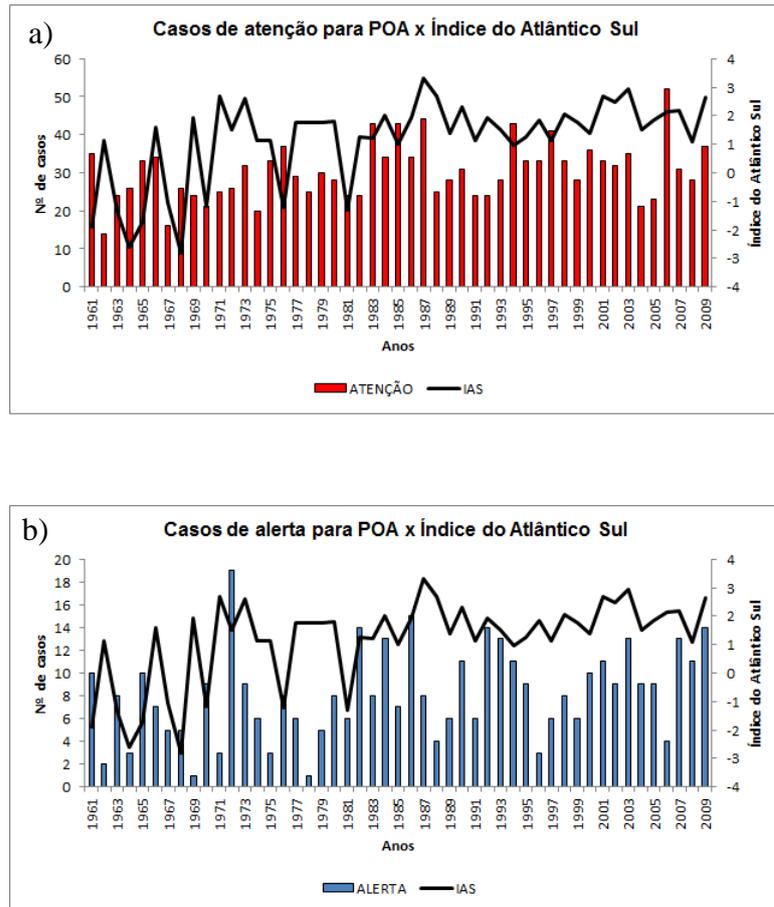


Figura 11 – Casos com potencial de causar alagamentos em POA e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009.

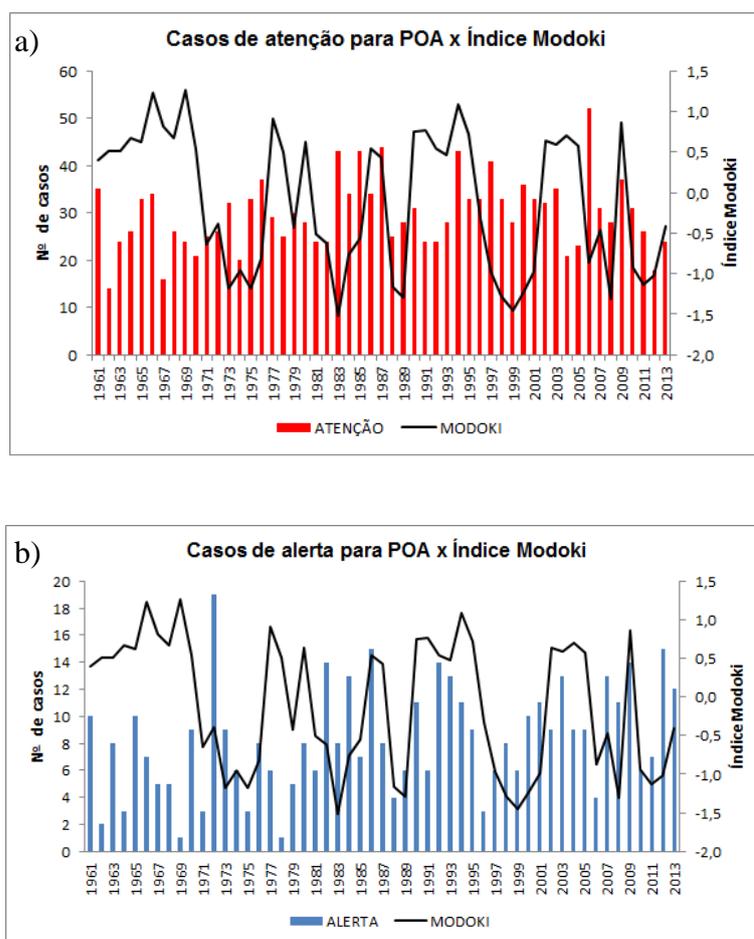


Figura 12 – Casos com potencial de causar alagamentos em POA e Índice Modoki, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

#### 4.3.2 Pelotas

Ao relacionar o número de casos de *atenção* e *alerta* da cidade de PEL com IME (Figura 13) e IAS (Figura 14), foi observada concordância moderada entre eles. Apenas para os casos de *atenção* com o IAS (Figura 14a) não houve significância estatística da correlação.

Para os casos de *atenção* com IME (Figura 13a), obteve-se correlação de 0,34 com uma significância estatística ao nível de confiança de 99,2%, e para os casos de *alerta* (Figura 13b) coeficiente de correlação foi de 0,43 e o nível de confiança de 99,9%. A correlação dos casos de *alerta* com IAS (Figura 14b), também se mostrou satisfatória com valor de 0,39 e significância estatística de 99,8%. A relação entre os casos de *alerta* e de *atenção* com Índice Modoki (Figuras 15 a e b), apresentaram valores de 0,13 e 0,11, respectivamente; e não satisfizeram a condição de confiança estatística.

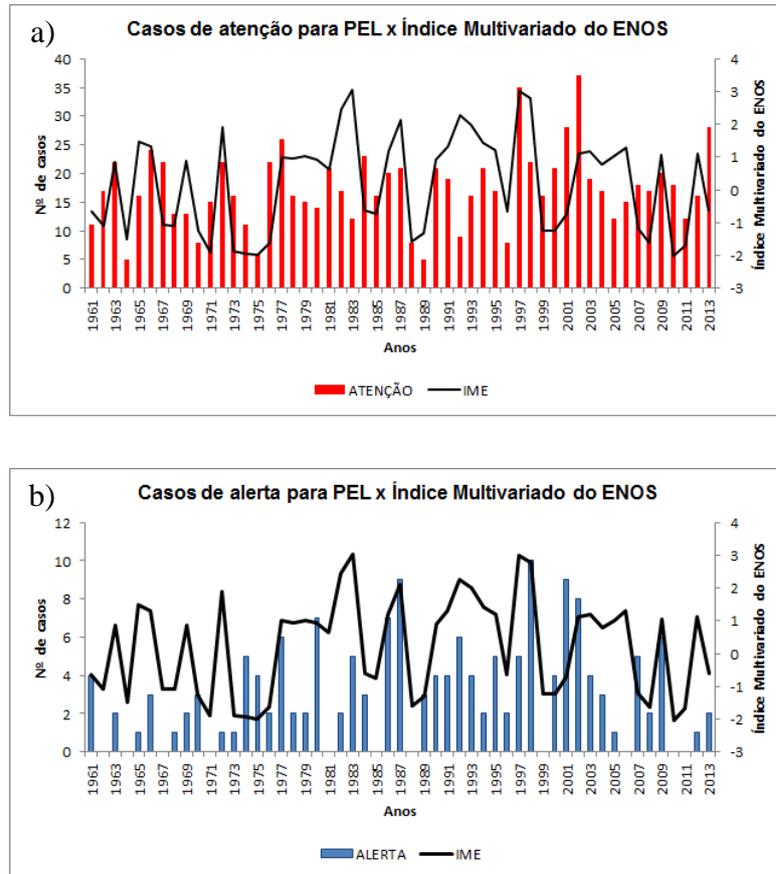


Figura 13 – Casos com potencial de causar alagamentos em PEL e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

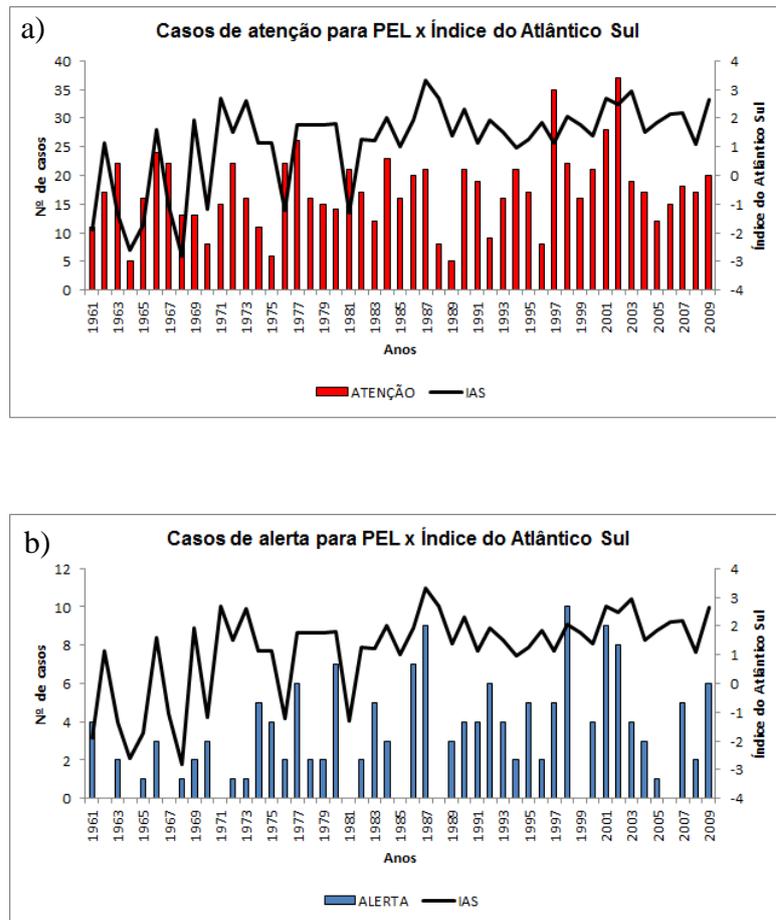


Figura 14 – Casos com potencial de causar alagamentos em PEL e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009.

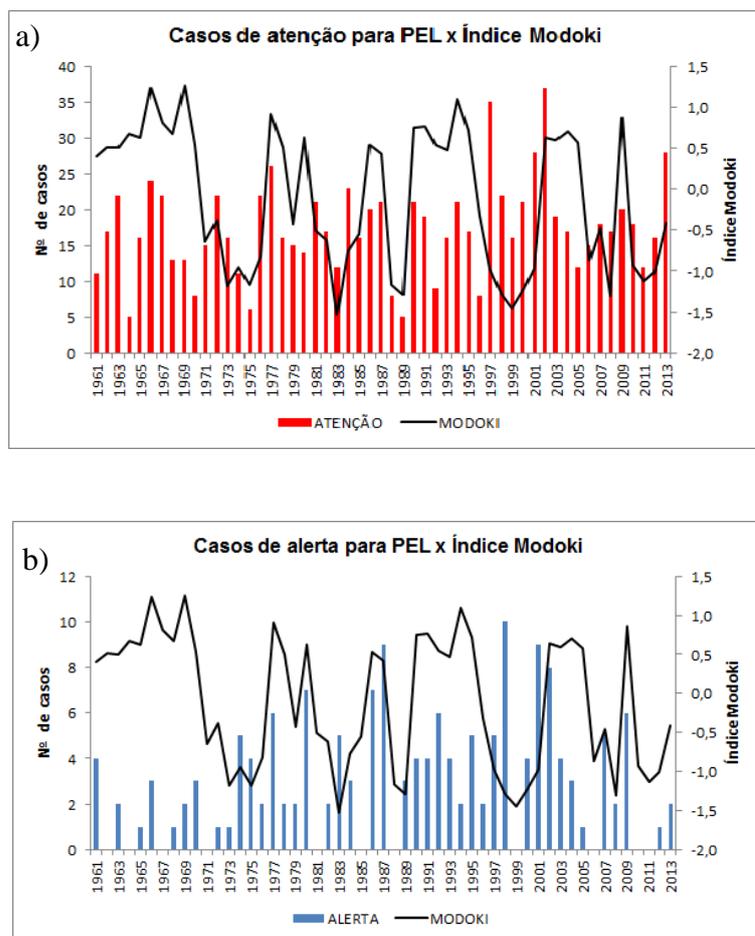


Figura 15 – Casos com potencial de causar alagamentos em PEL e Índice Modoki, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

### 4.3.3 Caxias do Sul

O número de casos de *atenção* e *alerta* da cidade de Caxias do Sul e índices climáticos, são mostrados nas figuras 16 (IME), 17 (IAS) e 18 (Índice Modoki). Associação dos casos de *atenção* com Índice do Atlântico Sul foi de 0,01 (Figura 17a) e dos casos *alerta* com Índice Multivariado do ENOS foi de 0,11 (Figura 16b) não satisfizeram a condição de significância estatística.

A correlação lograda entre os casos de *atenção* com IME (Figura 16a) foi de 0,37a uma significância estatística de 99,6% (considerada moderada). Já relação dos casos de *alerta* com IAS (Figura 17b) foi considerada fraca (0,29) com nível de confiança estatística de 98%. Analisando os casos de *atenção* e de *alerta* com Índice Modoki para cidade de Caxias do Sul (Figura 18), constata-se que há fraca

correlação entre eles (0,02 para os casos de alerta e 0,15 para os de atenção) e que também não apresenta significância estatística, segundo o teste t.

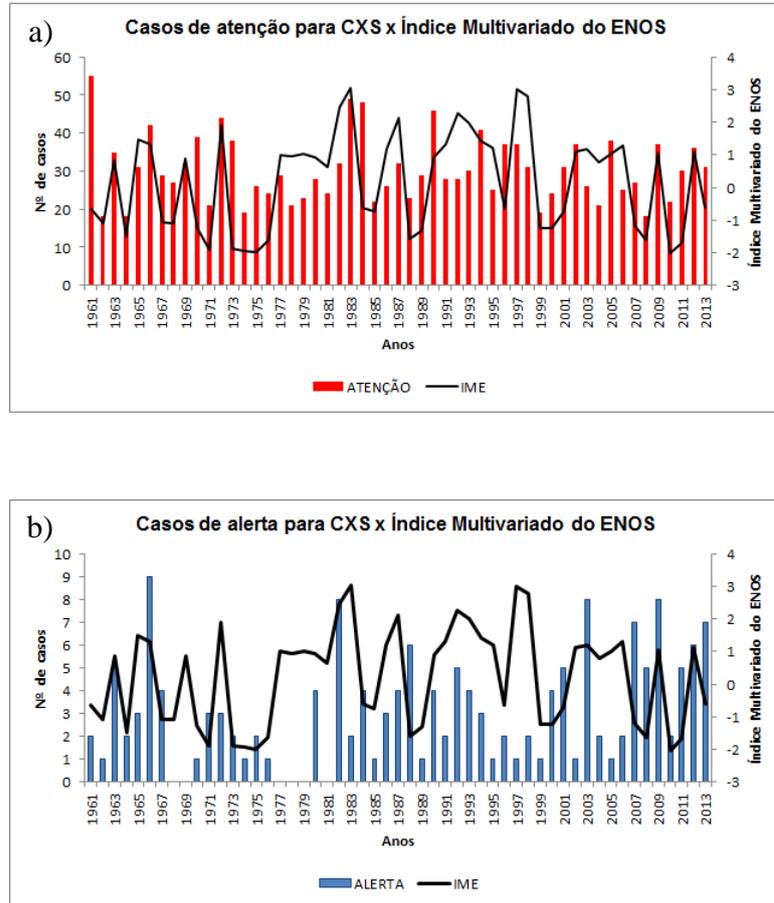


Figura 16 – Casos com potencial de causar alagamentos em CXS e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

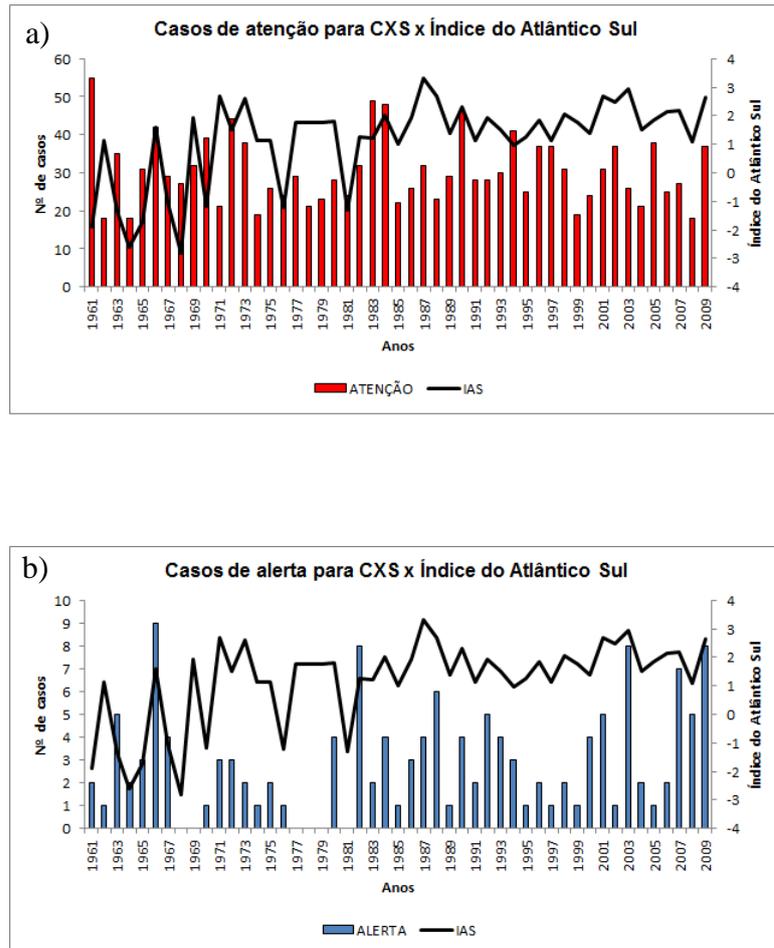


Figura 17 – Casos com potencial de causar alagamentos em CXS e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009.

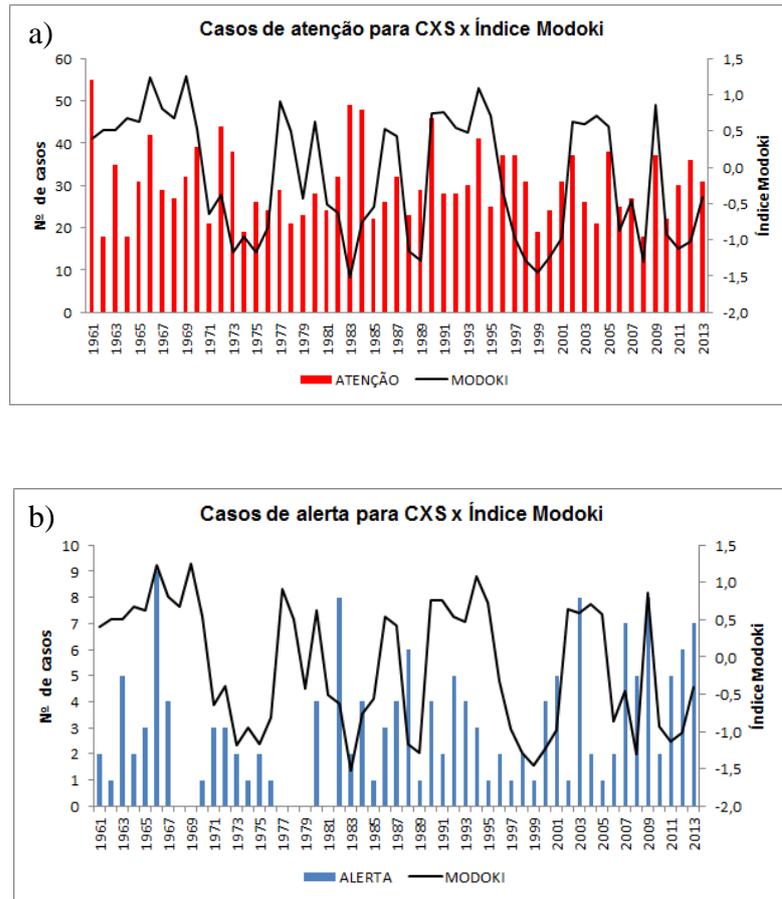


Figura 18 – Casos com potencial de causar alagamentos em CXS e Índice Modoki, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

#### 4.3.4 Santa Maria

Para a cidade de Santa Maria, as correlações entre o número de casos com potencial para causar alagamentos e índices climáticos foram consideradas fracas para *atenção* x IME (Figura 19a) e *alerta* x IAS (Figura 20b). Nessas junções foram encontradas correlações de 0,25 para casos de *atenção* x IME e de 0,30 *alerta* x IAS, com respectivos níveis de confiança de 96,2% e de 98%.

Já os casos de *alerta* x IME (Figura 19b) e de *atenção* x IAS (Figura 20a), apresentaram correlações moderadas. O teste T mostrou uma significância estatística de 99,7% para uma correlação de 0,38 entre *alerta* x IME. Enquanto que para *atenção* x IAS, a correlação foi ainda maior (0,43) num nível de confiança de 99,9%. Associando o índice Modoki aos casos com potencial para causar alagamentos em Santa Maria (Figura 21), obteve-se correlações de 0,07 para os casos de alerta e -0,14 para os casos de atenção, ambas correlações não apresentaram significância estatística.

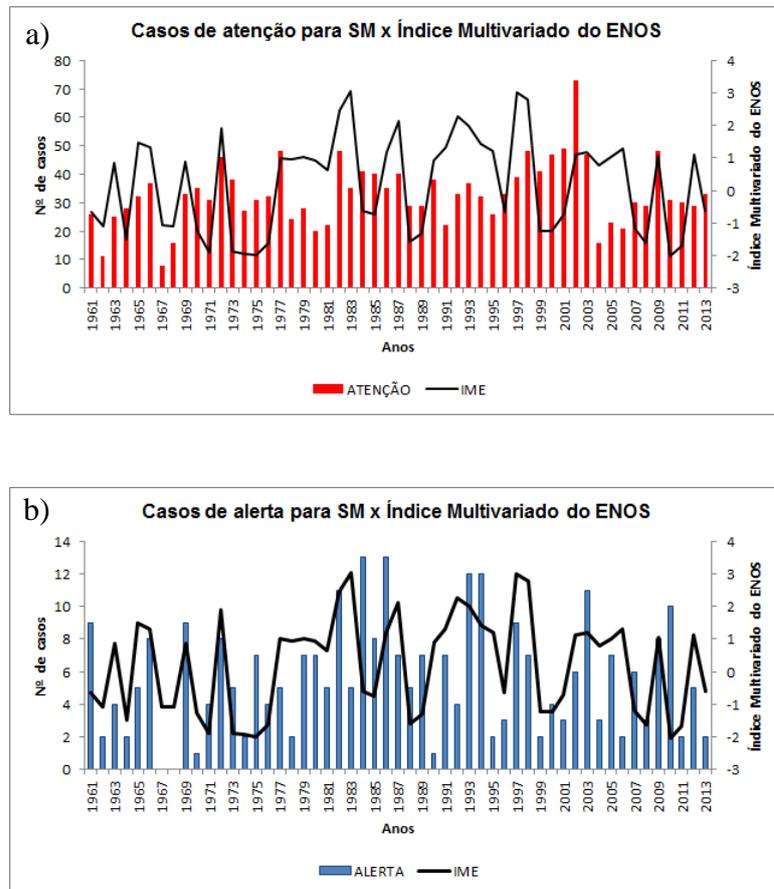


Figura 19 – Casos com potencial de causar alagamentos em SM e índice multivariado do ENOS, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

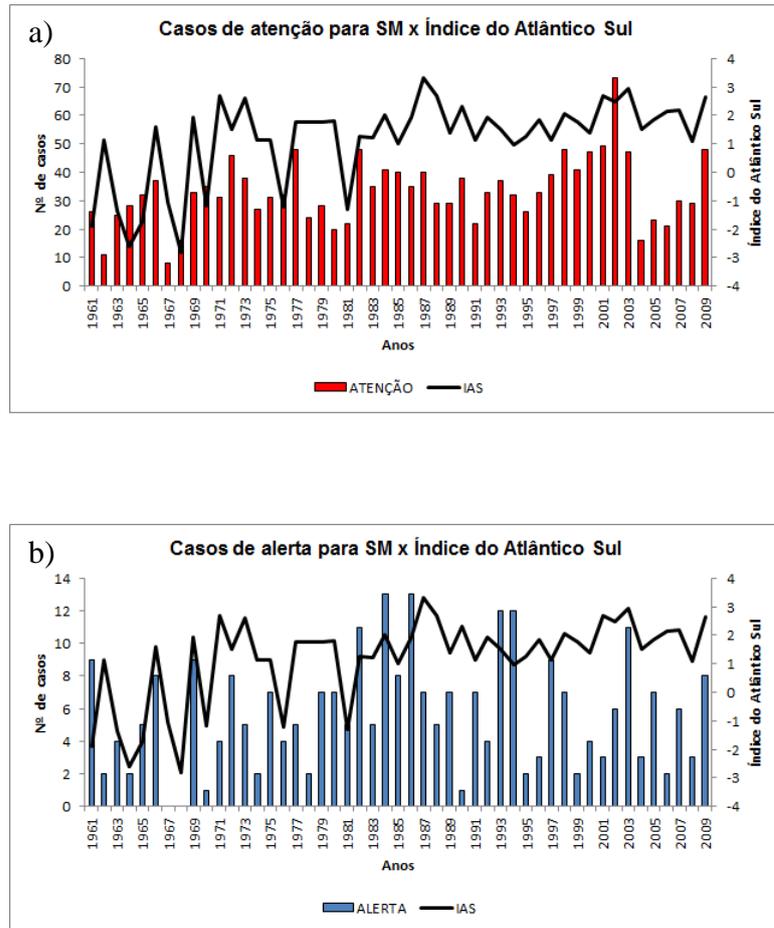


Figura 20 – Casos com potencial de causar alagamentos em SM e Índice do Atlântico Sul, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2009.

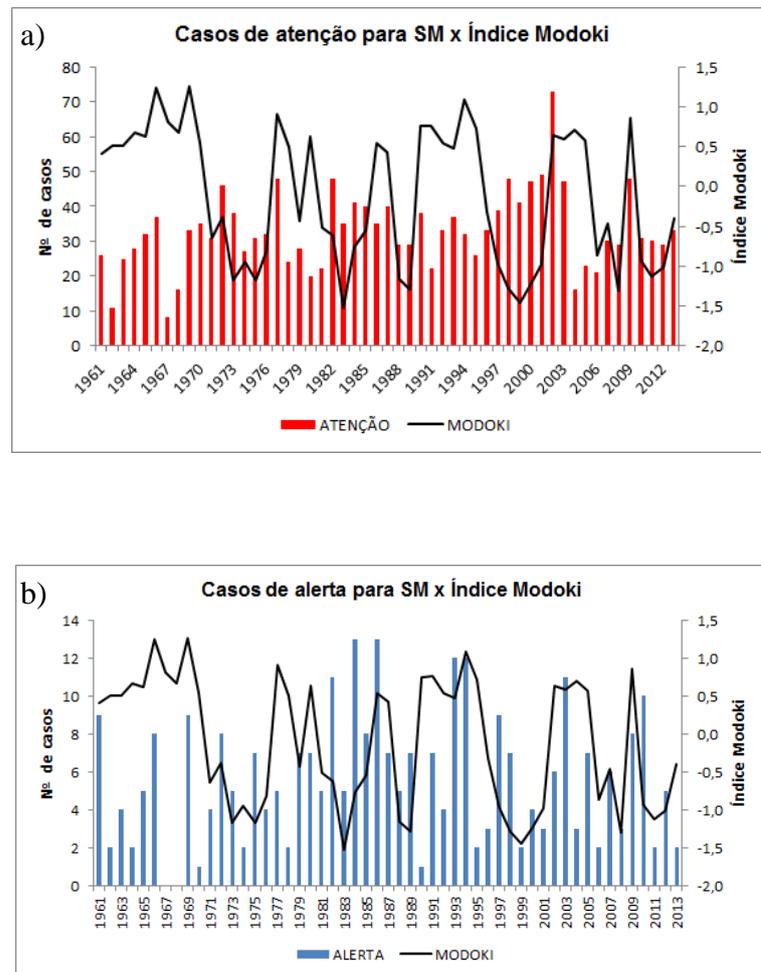


Figura 21 – Casos com potencial de causar alagamentos em SM e Índice Modoki, atenção (a), alertas (b), no período de 1961 a 2013.

## 4.4 Clima presente x cenário futuro

### 4.4.1 Porto Alegre

De acordo as simulações do modelo climático regional Eta-HadCM3 (cenário A1B), pode-se observar pela figura 22, o comportamento climático dos eventos passíveis de desencadear alagamentos na capital gaúcha. Tal comportamento indica uma suave evolução de crescimento dos casos de *atenção* e de *alerta* para um cenário futuro de 50 anos, com maior frequência dos casos entre 2041 a 2055. Já para os períodos de 2031-2035 e 2056-2060, são esperados diminuição do número de casos (*atenção* e *alerta*) na cidade.

Já na figura 23 é mostrado um paralelo dos casos, entre o clima presente (1964-2013) e o cenário futuro (2021-2070). No clima presente, Porto Alegre

apresenta 1509 casos de *atenção* e 419 casos de *alerta*. Verificou-se numa perspectiva vindoura, o aumento dos casos na cidade, com um crescimento de 23% casos de *atenção* e de 7% nos de *alerta*, perfazendo num total de 1859 e 450 (valores acumulados), respectivamente.

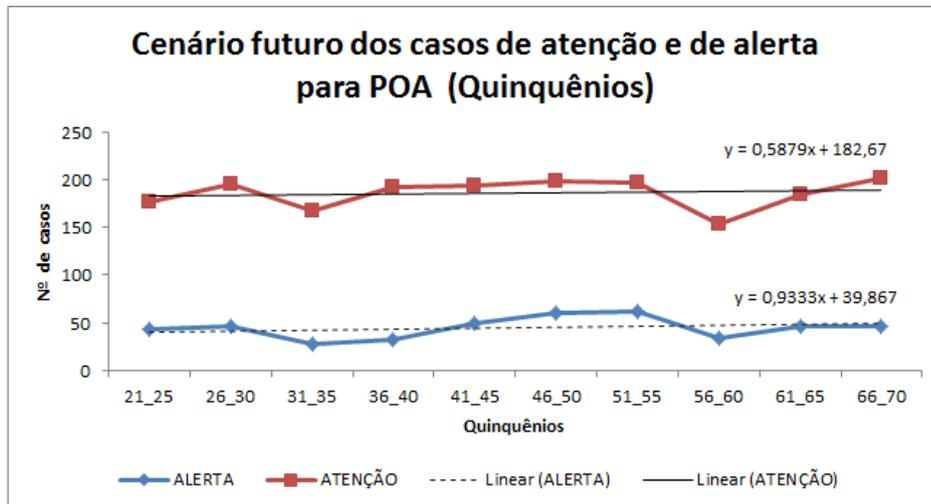


Figura 22 – Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em POA.

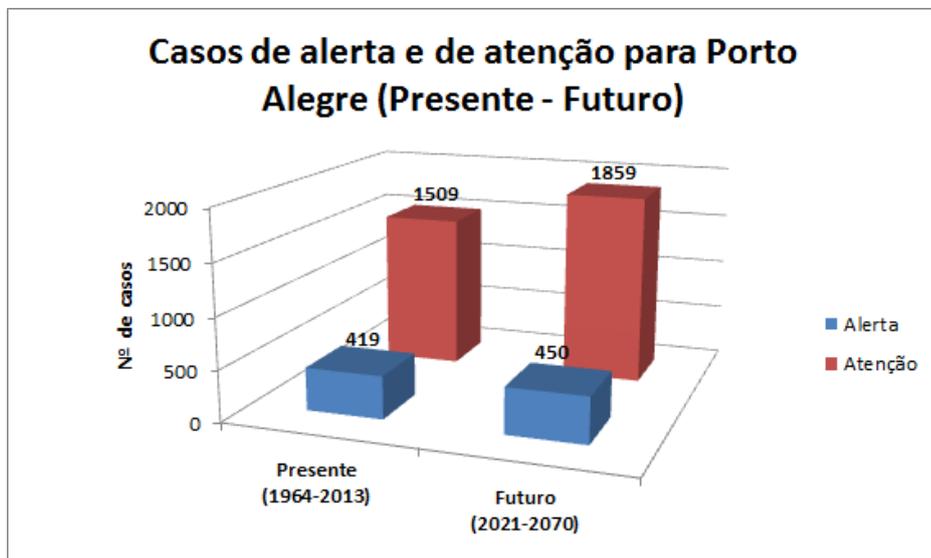


Figura 23 – Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em POA.

#### 4.4.2 Pelotas

Na figura 24, é mostrado o cenário futuro em quinquênios para a cidade de Pelotas. Nesta figura vê-se que o comportamento dos casos de *atenção* e *alerta* indica uma tendência suave de crescimento para no período de 2021 a 2070, com

maior frequência dos casos de atenção em 2026-2030, 2041-2045 e 2061-2065 e entre 2056-2060 para os casos de alerta. Porém, no período de 2021-2070 são esperados intervalos de diminuição dos casos de *atenção* e de *alerta* de 2031-2035, entre 2046-2050 onde ocorre a queda mais significativa e de 2051-2055.

A figura 25 mostra que o número casos com potencial para causar em Pelotas, entre 1964-2013, foi de 869 casos de *atenção* e 156 de *alerta*. Quando se faz uma confrontação dos casos, entre o clima presente (1964-2013) e o cenário futuro (2021-2070) constata-se o aumento de 14,5% dos casos de *atenção*, e, uma diminuição de 32% de *alerta*. Isso representa um total de 995 casos de *atenção* e 106 de *alerta*.

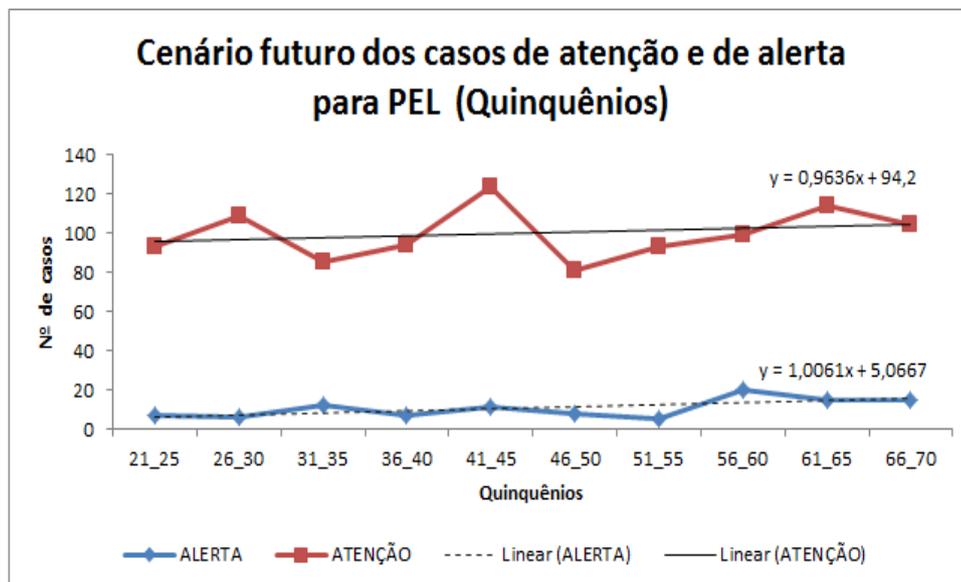


Figura 24 – Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em PEL.

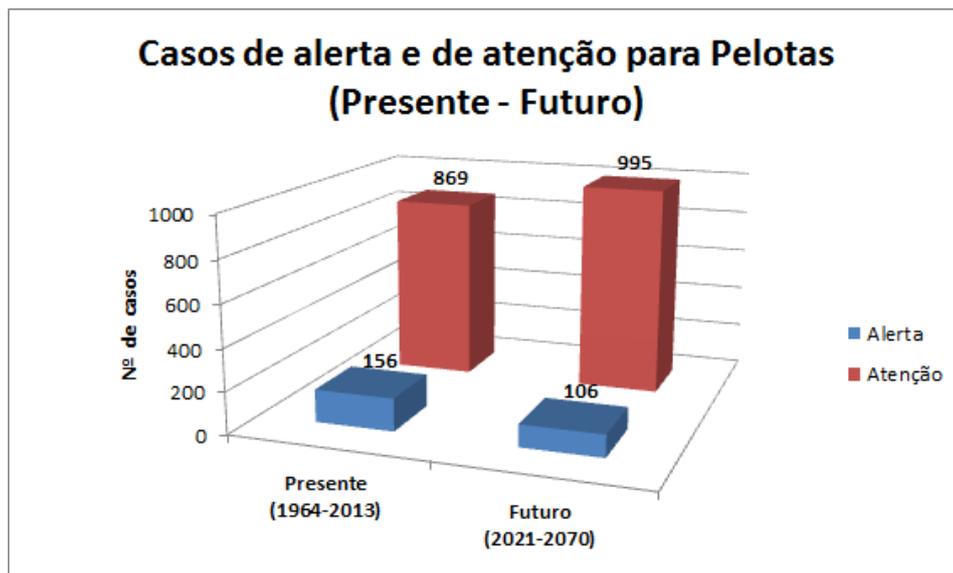


Figura 25 – Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em PEL.

#### 4.4.3 Caxias do Sul

A cidade de Caxias do Sul é outra que num cenário futuro, segundo as simulações com modelo climático regional Eta-HadCM3 revela tendência suave de crescimento nos casos com potencial para causar alagamento (Figura 26). Observa-se que há uma maior frequência dos casos com potencial para causar alagamentos de 2036 a 2055. Enquanto nos quinquênios de 2031-2035 e 2056-2060 estima-se redução na ocorrência dos casos de atenção.

Num comparativo (Figura 27) entre o presente (1964-2013) e futuro (2021-2070), vê-se que Caxias do Sul apresentou 1501 casos de *atenção* e 152 casos de *alerta* no período de 1964 a 2013. Entre os anos 2021 a 2070 espera-se um aumento 17 % dos casos de *atenção* (totalizando 1757) e um decréscimo de 5% dos casos de *alerta* (total de 144) na cidade.

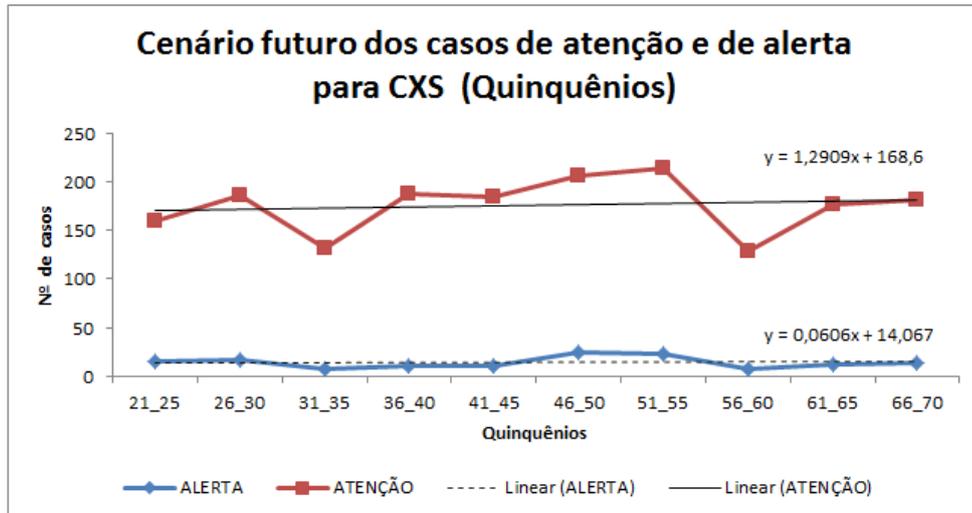


Figura 26 – Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em CXS.

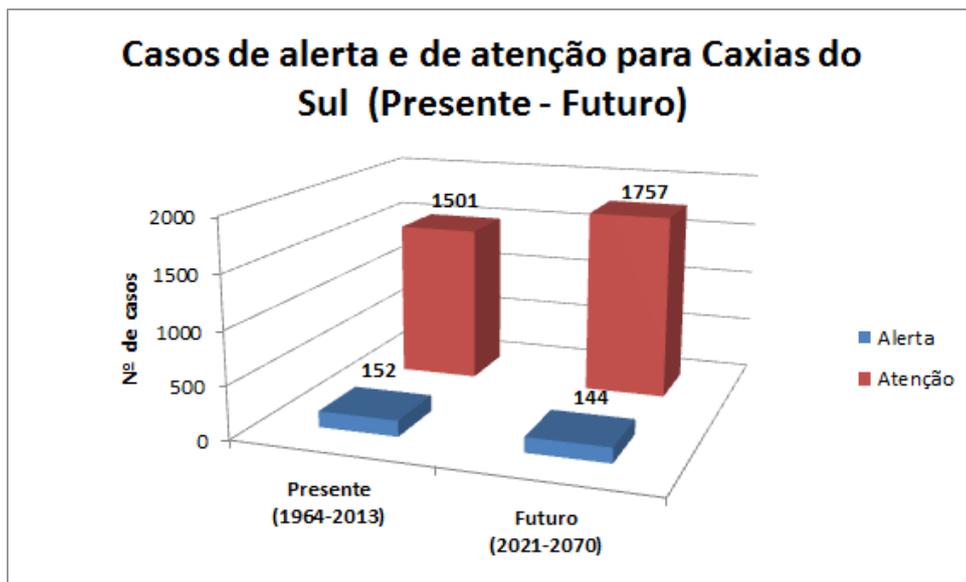


Figura 27 – Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em CXS.

#### 4.4.4 Santa Maria

Ao examinar a figura 28, referente ao município de Santa Maria percebe-se que há uma tendência tênue e negativa dos casos *atenção* para conjuntura futura (2021-2070), onde os menores números de casos são observados de 2031-2035 e de 2056-2060. Uma situação diferente é apontada pelas simulações do modelo climático regional Eta-HadCM3 para os casos de *alerta*. Nestes constata-se um tendência positiva (ainda que pequena) dos casos com maior pico no quinquênio 2046-2050.

De acordo com a figura 29, a cidade de Santa Maria apresentou 1567 casos de atenção e 266 casos de alerta no período de 1964-2013. Ao comparar os casos numa conjuntura total, isto é, o clima presente com cenário futuro encontra-se um crescimento de 18% dos eventos de *atenção* e um decréscimo de 19% nos caos de *alerta*, atingindo respectivamente um total de 1851 e 215 casos.

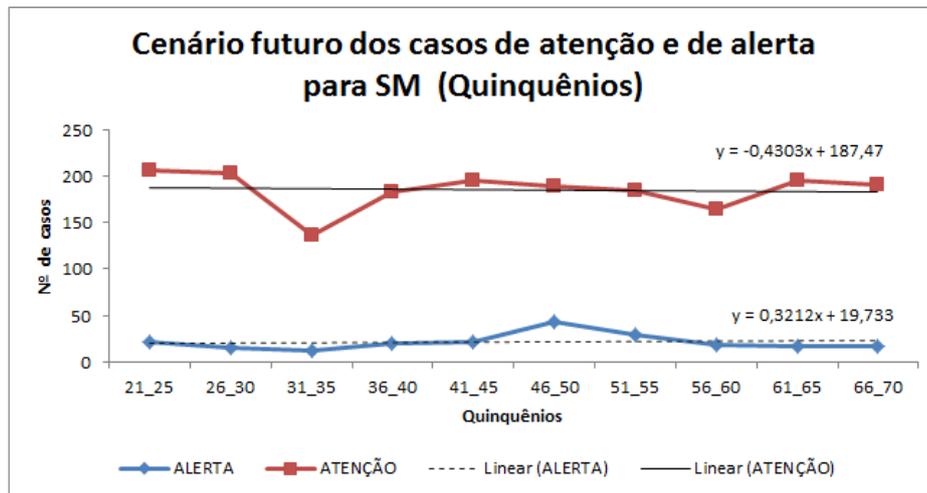


Figura 28 – Cenário futuro (2021-2070) em quinquênios dos casos com potencial de causar alagamentos em SM.

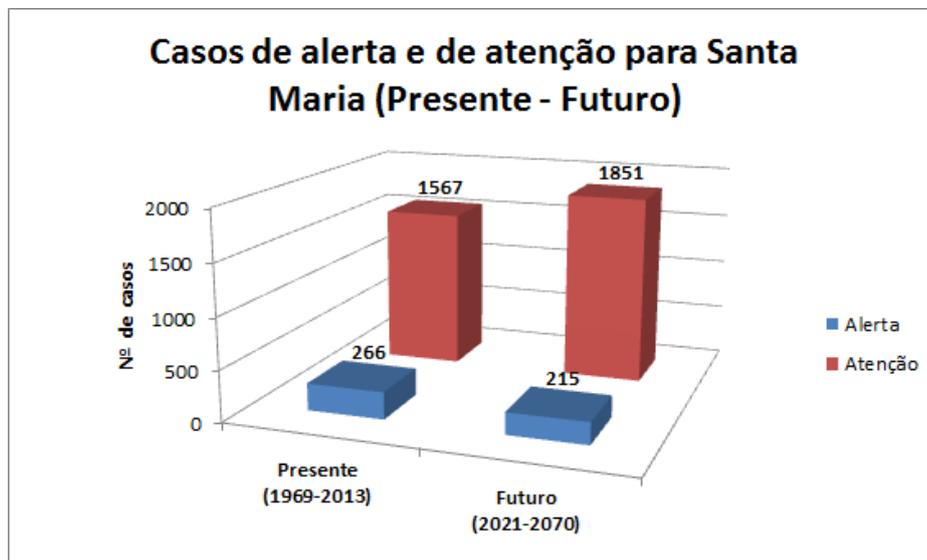


Figura 29 – Comparativo do clima presente (1964-2013) e cenário futuro (2021-2070) dos casos com potencial de causar alagamentos em SM.

## 4.5 Comportamento sazonal no clima presente e cenário futuro

### 4.5.1 Porto Alegre

As ilustrações a seguir são pertinentes a uma análise mais específica dos casos de atenção e de alerta para a cidade de Porto Alegre. Os casos estão

classificados por trimestre e verifica-se que no clima presente (Figura 30a) o trimestre JAS foi a época do ano mais suscetível a caso com potencial para causar alagamento (tanto alerta com um total de 143 casos quanto atenção com 492 casos), os demais trimestres apresentaram valores muito similares. A perspectiva futura (Figura 30b) denota um aumento comportamento bastante parecido nos trimestres JFM, AMJ e JAS com aumento dos casos, especialmente os relativos à atenção com valores respectivos de 484, 494 e 505 casos.

Nas figuras 30c e 30d, exibe-se um confronto entre os casos no presente e o futuro. Percebe-se que para os casos de alerta (Figura 30c) há um discreto aumento nos trimestres JFM e AMJ. Com relação aos casos de atenção (Figura 30d), POA apresenta um crescimento dos mesmos em todos os trimestres, sendo que JFM e AMJ apresentam os acréscimos mais expressivos. Em suma, ao comparar a climatologia dos casos no presente com cenário futuro, nota-se de maneira geral o aumento dos casos, especialmente nos meses de verão e outono.

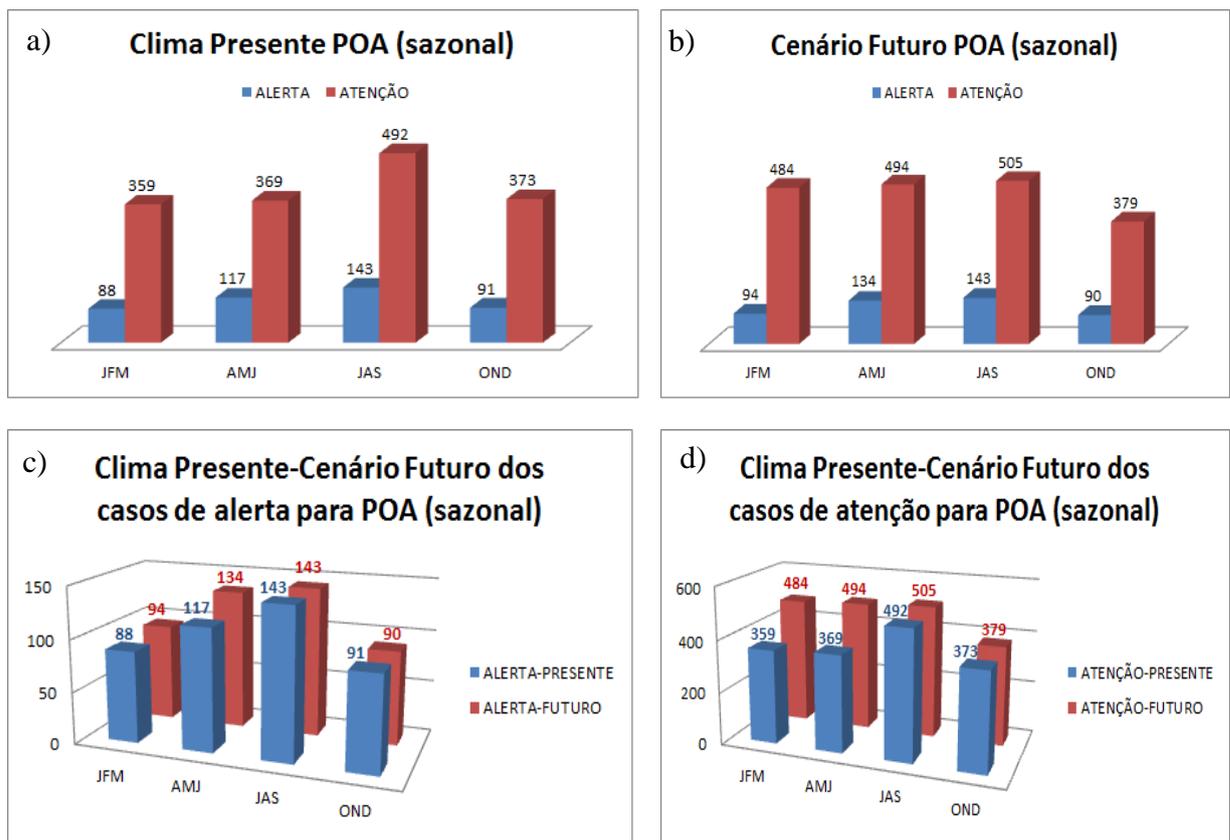


Figura 30–Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em POA, (a) clima presente (1964-2013), (b) cenário futuro (2012-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção.

#### 4.5.2 Pelotas

O clima presente (Figura 31a) dos casos com potencial para causar alagamento na cidade de Pelotas, revelou suas maiores ocorrências nos trimestres JFM (com 41 casos de *alerta* e 251 de *atenção*) e JAS (com 51 de *alerta* e 265 de *atenção*). No quadro futuro (Figura 31b), o trimestre OND apresenta um crescimento mais expressivo de ambos os casos, por outro lado os demais trimestres permaneceram semelhantes ao clima presente, com diminuição dos casos de alerta nos trimestres JFM, AMJ e JAS.

Para perspectiva de 2021 a 2070, os comparativos dos casos (Figuras 31c e 31d) retratam um declínio dos casos de alerta e de atenção em PEL, em quase todos os trimestres. Apenas trimestre OND (42 casos de *alerta* e 290 de *atenção*) mostra o aumento destes casos, destacando-se aqui os casos de atenção, onde a projeção de aumento é mais significativa. No clima presente, os meses de verão e inverno foram que tiveram a maior frequência dos casos. No âmbito cenário futuro destaca-se o trimestre da primavera, onde se espera uma mudança na climatologia com maior aumento dos casos de alagamentos, de acordo modelo Eta-HadCM3.

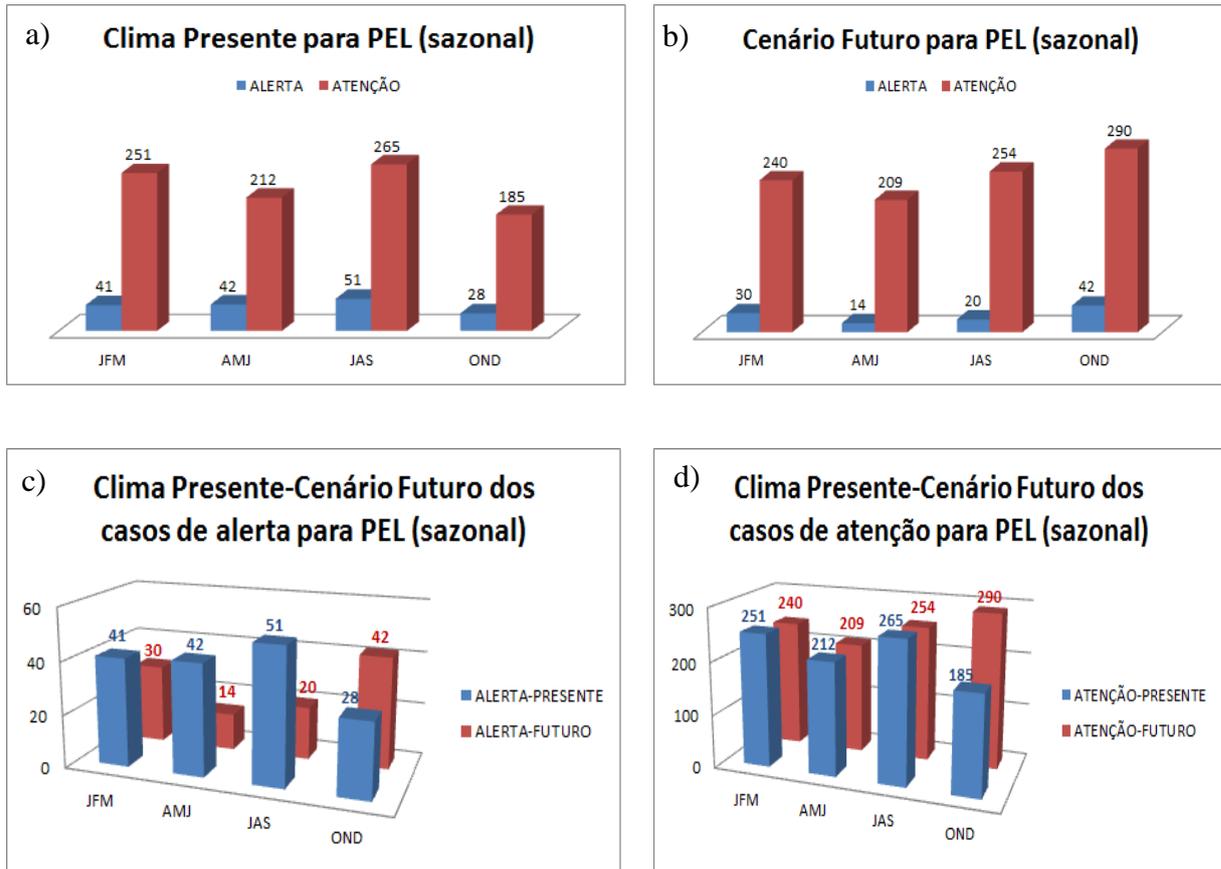


Figura 31 – Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em PEL, (a) clima presente (1964-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção.

#### 4.5.3 Caxias do Sul

De acordo com distribuição sazonal dos casos com potencial para causar alagamento no município de Caxias do Sul (clima presente, Figura 32a), o trimestre JAS foi um dos mais vulneráveis, com 66 casos de *alerta* e 476 casos de *atenção*. Já para o cenário futuro (Figura 32b) percebe-se uma minoração dos casos no último trimestre (OND) e uma amplificação dos casos de atenção na cidade nos demais trimestres.

Com exceção dos casos *alerta* para o trimestre AMJ (total de 43 casos), nota-se pela figura 32c, um prognóstico de diminuição desses casos no cenário porvindouro, segundo o modelo climático regional assumido nesta investigação. Por outro lado, os casos de atenção (Figura 32d) sofrerão aumento do período de 2021 a 2070, afora o trimestre OND, onde observa-se diminuição do número de casos.

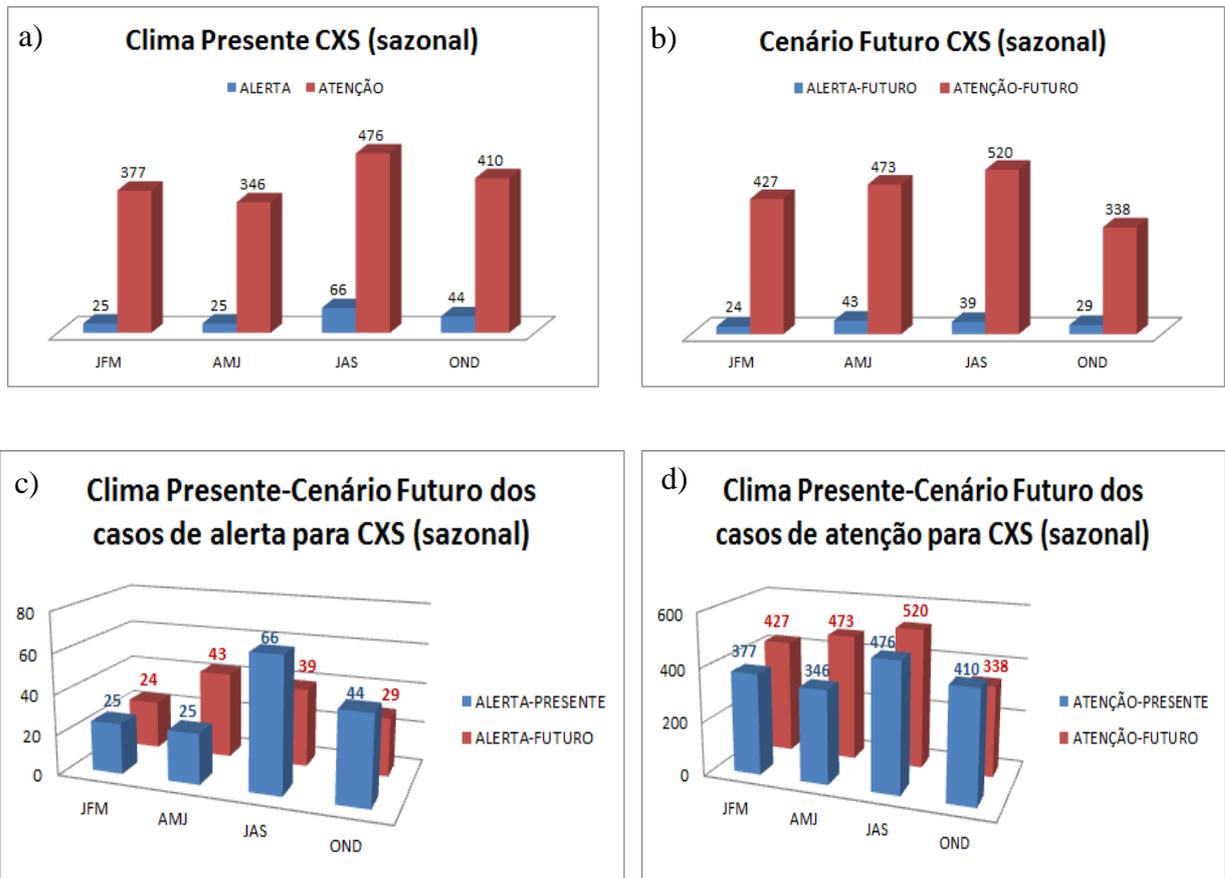


Figura 32 – Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em CXS, (a) clima presente (1964-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção.

#### 4.5.4 Santa Maria

Santa Maria é uma das cidades estudadas, onde a classificação dos casos por trimestre não indicou um período mais propenso a alagamentos. Pode-se notar nas figuras 33a e 33b que no geral, tanto no clima presente quanto no cenário futuro os casos com potencial para causar de alagamentos obedecem a certa regularidade. O que se destaca nessas figuras, são valores dos casos de *atenção* por trimestres que foram superiores a 400 casos.

A comparação dos casos entre o presente e futuro denota uma redução do número de casos de *alerta* (Figura 33c) nos trimestres JFM, AMJ e OND; E um incremento dos casos de *atenção* (Figura 33d) para os trimestres JFM, AMJ e JAS.

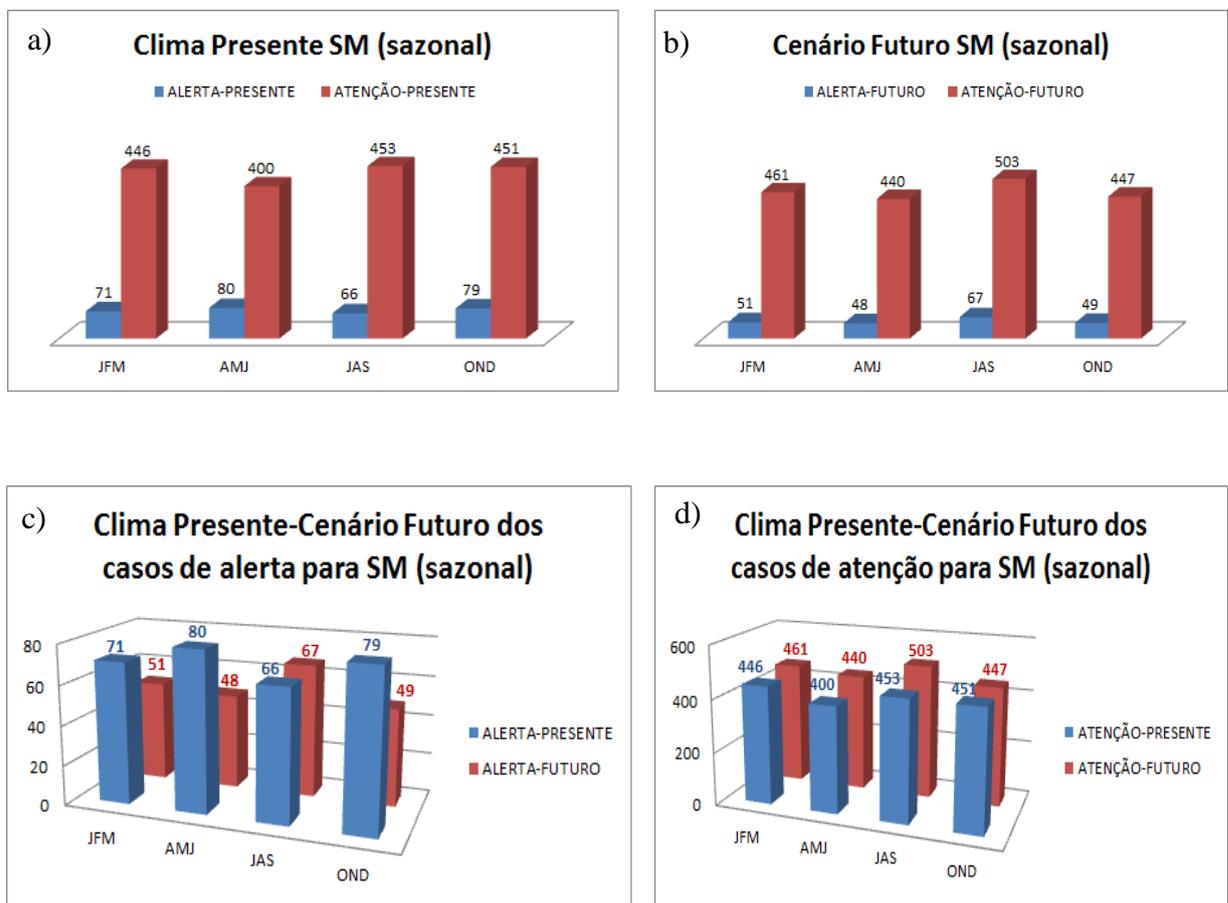


Figura 33 – Comportamento sazonal dos casos com potencial de causar alagamentos em SM, (a) clima presente (1969-2013), (b) cenário futuro (2021-2070), (c) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos alerta e (d) comparativo do clima presente x cenário futuro dos casos atenção.

#### 4.5.5 Síntese geral do comportamento sazonal dos casos com potencial para causar alagamentos

Para uma análise geral resumida, expõem-se as tabelas 3 e 4 com as diferenças (cenário futuro – clima presente), tanto para casos de *alerta* quanto para *atenção* para cada cidade, pra cada estação do ano. Os valores que estão nas cores azuis indicam aumento de casos no trimestre correspondente, e os valores em vermelho representam diminuição dos mesmos. Valores em preto indicam os trimestres onde foram observadas diferenças com valores entre zero e 5, significando mudança sutil ou ausente no número de casos.

Pela tabela 3, percebe-se que no verão (JFM) ocorre aumento dos casos de *alerta* em POA e uma diminuição dos mesmos nas outras cidades. Comparando com as demais cidades, a capital é a única que não terá redução no número de alertas no cenário futuro. Constata-se ainda que no futuro, o trimestre JAS é o único que não terá aumento para qualquer cidade. Em relação aos casos de *atenção* (Tabela 4), no geral, observa-se aumento dos casos em POA, CXS e SM nos trimestres JFM, AMJ e JAS, e um saldo de diminuição dos mesmos em PEL. Vê-se também que POA e SM praticamente não terão redução no número de casos de *atenção*. Destacam-se os valores extremos observados no aumento de casos de *atenção* para o futuro no primeiro semestre na capital gaúcha (125 casos nos trimestres JFM e AMJ). Além dos extremos de 127 casos (AMJ) em CXS e de 105 casos no trimestre OND em Pelotas.

Tabela 3 – Diferenças dos casos de alerta do cenário futuro - clima presente.

Cidade	JFM	AMJ	JAS	OND
Porto Alegre	6	17	0	-1
Pelotas	-11	-28	-31	14
Caxias do Sul	-1	18	-27	-15
Santa Maria	-20	-32	1	30

Tabela 4 – Diferenças dos casos de atenção do cenário futuro - clima presente.

Cidade	JFM	AMJ	JAS	OND
Porto Alegre	125	125	13	-6
Pelotas	-11	-3	-11	105
Caxias do Sul	50	127	44	-72
Santa Maria	15	40	50	-4

Nas tabelas 5 e 6 são mostrados para o clima presente e cenário futuro, os trimestres mais preponderantes, ou seja, que tiveram maior ocorrência de casos de *alerta* e casos de *atenção*. Nas cidades onde foram sinalizados mais de um trimestre, deve-se ao fato que a diferença entre eles foi inferior a cinco casos. Isso ocorre em CXS com diferença de quatro casos de alerta, entre AMJ e JAS (no cenário futuro); E em SM, no clima presente com um caso de alerta (AMJ-OND) e dois casos de atenção (JAS-OND).

Os trimestres com maior número de casos de *alerta* podem ser vistos na tabela 5. Nota-se que POA teve a maior prevalência dos casos no trimestre JAS (no clima presente e no cenário futuro). Em Pelotas, nota-se uma mudança no comportamento dos casos de *alerta*, no presente o maior número de casos foi observado no trimestre JAS e no futuro o OND se apresenta como um período mais preponderante. Na cidade de Caxias do Sul, o trimestre JAS também foi mais prevaiente no clima presente. Já para o cenário futuro a modelagem climática revela que além o JAS, o trimestre AMJ se apresenta como outra estação com mais casos de *alerta*. Diferente das demais cidades, Santa Maria apresentou nos trimestres AMJ e OND o maior número de casos.

Na tabela 6 são exibidos os trimestres com maior predominância dos casos de *atenção* (no presente e futuro). Observa-se que as cidades de Porto Alegre e Caxias do Sul têm o trimestre JAS como sendo a estação de maior ocorrência de casos de *atenção*, em ambos os períodos estudados (presente e futuro). Os casos de *atenção* para cidades de Pelotas mostram o mesmo comportamento observado nos *alertas*, maior ocorrência no trimestre JAS no presente e no OND no cenário futuro. Em Santa Maria, o maior número de casos observados foi nos trimestres JAS e OND no clima presente, e JAS no cenário futuro.

Quando se analisa o comportamento sazonal dos casos (*alerta* e *atenção*) no clima presente, percebe-se que o trimestre JAS é o mais propício a ocorrência em todas as cidades. Isso se deve a atuação mais frequente dos sistemas frontais nos meses de inverno. Porém, em Santa Maria também foram observados mais casos nos trimestres AMJ e OND (clima presente), mostrando que os sistemas precipitantes convectivos também se tornam importantes. Além disso, SM é das cidades em estudo a situada mais a oeste, isto é, tende a ser mais atingida pelos SCM extratropicais da América do Sul que se formam na Planície do Chaco.

No comportamento dos casos (*alerta e atenção*) no futuro, nota-se que os sistemas precipitantes dos meses de inverno permanecerão com papel importante nas cidades, pois o trimestre JAS revela-se como um dos mais suscetíveis aos casos de alagamento. Em Caxias do Sul tende a aumentar os casos de alerta no trimestre AMJ. O destaque fica por conta da cidade de Pelotas, onde a modelagem climática revelou que haverá um deslocamento da estação com maior número de casos (*alerta e atenção*) para o trimestre OND. Uma hipótese para isso seria que atuação dos sistemas frontais típicos de inverno será menos efetiva ou que eventos extremos de precipitação associados a sistemas convectivos passarão a ter mais importância.

Tabela 5 – Trimestres com maior número de casos de alerta.

<b>Cidade</b>	<b>Presente</b>	<b>Futuro</b>
<b>Porto Alegre</b>	JAS	JAS
<b>Pelotas</b>	JAS	OND
<b>Caxias do Sul</b>	JAS	AMJ-JAS
<b>Santa Maria</b>	AMJ-OND	JAS

Tabela 6 – Trimestres com maior número de casos de atenção.

<b>Cidade</b>	<b>Presente</b>	<b>Futuro</b>
<b>Porto Alegre</b>	JAS	JAS
<b>Pelotas</b>	JAS	OND
<b>Caxias do Sul</b>	JAS	JAS
<b>Santa Maria</b>	JAS-OND	JAS

Em suma, com relação ao clima presente, todas as cidades (com exceção de SM) têm as mesmas estações preponderantes, independente do tipo de caso (*atenção* ou *alerta*). Ou seja, nestas cidades, sistemas precipitantes típicos de inverno são preponderantes sejam eles de curta duração (ou pouco intensos) ou mais duradouros (ou mais intensos). Já para Santa Maria, foram observados casos de *alerta* (chuvas mais intensas ou duradouras) mais preponderantes na primavera e outono, que são típicas de todos os tipos de sistemas precipitantes. Para os casos de *atenção*, verificou-se maior influência das frentes frias (inverno) além dos sistemas típicos da primavera.

Segundo as simulações do modelo climático regional Eta-HadCM3 (Cenário A1B), são esperadas para o clima futuro que os casos (*alerta e atenção*) nas cidades

de POA, SM e CXS continuem mais prevalentes nos meses de inverno, significando que os sistemas frontais serão os mais importantes. Porém em Caxias do Sul, haverá uma mescla dos casos de alerta associados à passagem de frentes frias com sistemas típicos de outono. Como já dito anteriormente, a cidade de Pelotas mostra que no futuro, a estação com mais prevalência dos casos será a primavera, onde atuam os diversos tipos de sistemas de precipitação.

Vale ressaltar que nas análises comentadas acima (tanto do clima presente quanto do cenário futuro), simplificou-se os sistemas precipitantes em dizer que no inverno os preponderantes são frentes frias, pois é comum também existirem sistemas convectivos nesta estação, da mesma forma que sistemas frontais também ocorrem em todas as estações (embora sejam mais influentes no RS durante o inverno).

## Conclusões

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o clima presente e o comportamento futuro dos eventos extremos de precipitação local de curta duração com potencial para causar alagamento nas principais cidades do Rio Grande do Sul abrangendo diferentes regiões do Estado: Porto Alegre (POA), Pelotas (PEL), Caxias do Sul (CXS) e Santa Maria (SM).

Das quatro cidades pesquisadas, a cidade de Porto Alegre foi a que apresentou os menores limiares (25,2 mm/48h para *atenção* e 53,5 mm/48h para *alerta*) para ocorrência de alagamentos, ou seja, significa que precisa de uma menor taxa de precipitação para que ocorra um evento extremo de precipitação local com potencial para causar alagamento. E isso (os menores limiares), certamente está ligado ao fato dessa ser a cidade mais urbanizada, elegida no presente estudo.

Foram analisadas tendências lineares dos casos com potencial para causar (*atenção* e *alerta*), tanto anualmente quanto quinquenalmente. Foi encontrado um comportamento bastante oscilatório, da tendência anual o que provoca uma tendência linear muito sutil. Apesar de mais suaves, as oscilações também são observadas na análise quinquenal, o que também torna neste caso a tendência linear próxima a zero. Entretanto, apesar de pequenas, as tendências devem ser consideradas, haja vista o período estudado – como são vários anos, é esperado uma tendência pequena, seja positiva ou negativa. Os resultados mostraram que as tendências anuais e quinquenais dos casos com potencial para causar alagamento foram levemente crescente nas cidades estudadas. Exceto na análise anual dos casos de *atenção* de CXS e na quinquenal dos casos de *alerta* para Santa Maria que indicaram pequena tendência negativa.

As correlações lineares entre casos e os índices climáticos IME e IAS foram satisfatórias. No caso do IME, concordam com outros estudos que apontam maior

(menor) ocorrência de anomalias positivas de chuva e em episódios de El Niño (La Niña), na Região Sul. Inclusive, esse foi o índice que melhor associou-se aos casos estudados com um nível de confiança superior a 96%. O IAS também demonstrou ter influência no comportamento dos casos (atenção e alerta), especialmente na cidade de Santa Maria. No geral, nas cidades onde houve correlações dos índices climáticos com os casos potenciais para causar alagamentos, quer seja de atenção ou alerta, os valores dos coeficientes encontrados foram considerados fracos a moderados. Apesar de pequenos os valores dos coeficientes das correlações lineares não devem ser desprezados, haja vista a complexidade da variável aqui estudada, que leva em consideração o limiar para detecção de eventos extremos de cada cidade. No caso do Índice Modoki, as correlações lineares com casos de *atenção e de alerta* obtiveram valores bem baixos e a significância estatística ficou abaixo de 95%.

Usando modelagem climática regional (modelo Eta-HadCM3) nota-se, no geral, um aumento dos casos de atenção no futuro (cenário A1B, 2021-2070) em relação ao presente nas cidades estudadas. Quanto aos casos de *alerta* (precipitação mais intensa ou duradoura), também de uma forma geral as perspectivas mostram diminuição nas cidades do interior e aumento na capital gaúcha, justamente na cidade mais urbanizada. Com relação aos extremos no número de casos no cenário futuro, o trimestre JAS é o único que não terá aumento de casos de alerta para qualquer cidade. Percebe-se que no verão (JFM) ocorre aumento dos casos de *alerta* em POA e uma diminuição dos mesmos nas outras cidades. A capital gaúcha é a única que não terá redução no número de alertas. Em relação aos casos de *atenção*, no geral, foi observado aumento dos casos em POA, CXS e SM nos trimestres JFM, AMJ e JAS, e em PEL no trimestre OND. POA e SM praticamente não terão redução no número de casos de atenção, com destaque o primeiro semestre na capital gaúcha (125 casos nos trimestres JFM e AMJ).

O comportamento sazonal dos casos indica, tanto no presente quanto no futuro que as cidades de Porto Alegre e Caxias do Sul têm o trimestre JAS como sendo a estação de maior ocorrência de casos de *atenção* e de *alerta*. Em Caxias do Sul, tende a aumentar os casos de alerta no trimestre AMJ. Em Pelotas, ambos os casos (atenção e alerta) tiveram o trimestre JAS no presente e no OND no cenário futuro como os mais prevalentes, marcando uma mudança na climatologia dos casos do presente para o futuro. Em Santa Maria, ao contrário do futuro, quando tanto os

casos de alerta quanto os de atenção serão mais típicos no trimestre JAS. No presente os casos de atenção têm comportamento sazonal diferente com prevalência dos eventos nos trimestres JAS, AMJ e OND, de acordo com o tipo de evento precipitante preponderante.

Em resumo, baseado nos resultados obtidos neste estudo, pode-se inferir com relação ao clima presente que todas as cidades (com exceção de SM) têm as mesmas estações preponderantes, independente do tipo de caso (*atenção* ou *alerta*). Ou seja, nestas cidades, sistemas precipitantes típicos de inverno são preponderantes sejam eles de curta duração (ou pouco intensos) ou mais duradouros (ou mais intensos). Já para Santa Maria como foram observados casos de *alerta* (chuvas mais intensas ou duradouras) mais preponderantes na primavera e outono, todos os tipos de sistemas precipitantes são relevantes. Para os casos de *atenção*, verificou-se maior influência das frentes frias (inverno) além dos sistemas típicos da primavera. No cenário futuro os casos (*alerta* e *atenção*) nas cidades de POA, SM e CXS continuem mais prevalentes nos meses de inverno, significando que os sistemas frontais serão os mais importantes. Porém em Caxias do Sul, haverá uma mescla dos casos de alerta associados à passagem de frentes frias com sistemas típicos de outono. Como já dito anteriormente, a cidade de Pelotas mostra que no futuro, a estação com mais prevalência dos casos será a primavera, onde atuam os diversos tipos de sistemas de precipitação.

Espera-se que este estudo sirva como mais um pilar para as ações de defesa e proteção civil, bem como para um planejamento urbano mais eficiente para cada cidade destacada nele.

## Referências

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, n. 111. doi:10.1029/2005JD006290, 2006.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul**. 2007, 185 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. SEPLAG (Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã). Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod\\_menu\\_filho=791&cod\\_menu=790&tipo\\_menu=APRESENTACAO&cod\\_conteudo=1328](http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1328)>. Acesso em: 10 dez. 2013.

BARBIERI, D. W.; MARCELINO, I. P. V. O.; SAUSEN, T. M. Anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil: análise de consistência. IN: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO, 5 E SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1. 2008, Santa Maria. **Anais do...** Santa Maria, p. 3891-3903.

BJERKNES, J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. **Tellus**, v.18, n.4, p. 820-829, 1966.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 7, 2003, Wellington-New Zealand. **Anais do...** New Zealand: American Meteorological Society, 2003. CD-ROM.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília: Ministério da Integração Nacional- Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2004a,p.283.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais, Vol. I**. Brasília: Ministério da Integração Nacional- Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2004b,p.182.

CHEN, F., JANJIC, Z. I., MITCHELL K. Impact of atmospheric surface layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta model. **Bound-Layer Meteor**, v. 85, p. 391–421, 1997.

CHOU, S. C.; BUSTAMNTE, J. F.; GOMES J. L. Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South America. **Nonlinear Process Geophys**, v. 12, n. 4, p. 537–555, 2005.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMNTE, J. F.; TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 635-653, 2011.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre. 3ed. Artmed: Bookman. 2006. 608p.

DA SILVA, G. C.; NUNES, A. B. Análise de eventos extremos de precipitação no leste de Santa Catarina: Estudo de Tendência. **Ciência e Natura**, v. especial, p. 251-254, 2011.

EK. , M.B.; MITCHELL K.E.; LIN Y.; ROGERS E.; GRUMMEN, P.; KOREN, V.; GAYNO, G.; TARPLEY, J.D. Implementation of NOAA land surface advances in the National centers for environmental prediction operational mesoscale Eta model. **Journal Geophysical Research**, v.108, n. 8851, doi: 10.1029/2002JD003246, 2003.

FORTUNE, M.A.; KOUSKY, V. E. Two sever freezes in Brasil: precursors and synoptc evolution. **Monthly Weather Review**, v. 111, n. 1, p. 181-196, 1983.

FRITSCH, J.M; MADDOX, R.A. Convectively driven mesoscale weather systems aloft.Part1: Observations. **Journal Applied Meteorology**, v. 20, p. 9-19, 1981.

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992, 103p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

GRIMM A, BARROS, V. R.; DOYLE, M. E.: Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35–58, 2000.

GRIMM, A.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, n.11, p. 2863-2880, 1998.

GRUPPELLI, J. L. **Relação entre a precipitação pluvial na região Nordeste do Rio Grande do Sul e a Temperatura da Superfície do Mar dos oceanos Atlântico e Pacífico**. 2007, 59 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

IPCC.INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers.IPCC: Genebra, 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

JANJIC, Z.I. The step-mountain Eta coordinate model: further developments of the convection, Viscous sub layer and turbulence closure schemes. **Monthly Weather Review**, v.122, p. 927–945, 1994.

KUINTCHER, A; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul, segundo a classificação climática de Koppen e Thornthwaite. **DisciplinarumScientia**, Série, Ciências exatas: Santa Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001.

LAY, J. A.; AIELLO, J. L. Relaciones entre el MEI (Multivariate ENSO Index) y las precipitaciones en la Argentina continental. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE METEOROLOGIA, 9. CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 8. CLIMET 9, COMET 8, 2001, Buenos Aires-Argentina. CDROM

LOPES, F. Z. **Relações entre o Multivariate Enso Index (MEI) e a TSM das regiões dos Niños com a precipitação em regiões homogêneas do estado do Rio Grande do Sul**. 2006, 101 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; LIMA, A. A Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. **Journal Geophysical Research**, v.107 (D20): 31, p.1-15, 2002.

MADDOX, R.A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v.111, n.7, p.1475-1493, 1983.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2011.

MARQUES, V. D. **Necessidades hídricas observadas e futuras para o cultivo de milho na região de São Miguel do Oeste no Estado de Santa Catarina estimadas pelo modelo ISAREG**. 2013, 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MATZENAUER R.; VIANA D. R.; BUENO A. C.; MALUF J. R. T.; CARPENEDO C. B. Regime Anual e Estacional De Chuvas No Rio Grande Do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. 2007, Aracaju-SE. **Anais do...** Aracaju-SE, 2007.

MESINGER, F. A. Blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Rivista di Meteorologia Aeronautica**, v. 44, n. 1–4, p. 195–202, 1984.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GR, A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.;

RIAHI, K.; ROEHRL, A.; ROGNER, H. H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Special report on emission scenarios. NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (Ed.). Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

NICOLINI, M.; SAULO, A.C.; TORRES, J. C.; SALIO, P. Enhanced precipitation over Southeastern South America related to strong low-level jet events during austral warm season. **Meteorologica**, Special Issue for the South American Monsoon System, n. 27, p. 59-69, 2002.

NUNES, A. B.; DA SILVA, G. C. Climatologia dos eventos extremos de precipitação na região Leste e Norte de Santa Catarina: Clima Presente e Futuro. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 31, n.3, p. 413-425, 2013.

PESQUERO, J. F. **Balanço de umidade na região do sistema de monção da América do Sul em cenários climáticos futuros (2071-2100) utilizando o Modelo Eta: um estudo de modelagem**. 2009, 242 p. Tese (Doutorado em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PEZZI, L. P. e CAVALCANTI, I. F. A.: The Relative Importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South American: a numerical study. *Climate Dynamic*, v. 17, p. 205-212, 2001.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48-55, 2009.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005**. 2007, 284 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS, E. B. **Índices oceânicos e sua relação com a precipitação pluvial do Rio Grande do Sul**. 2011, 88 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989.

SILVA, J. R. ;NUNES, A. B. Análise quantitativa de eventos extremos pontuais de precipitação para o Rio Grande do Sul durante o período de 1961 a 2011. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17.2012, Gramado-RS. **Anais do...**, 2012a.

SILVA, J. R. ;NUNES, A. B. Relação dos eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul com o ENOS: Análise Pontual. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17, 2012, Gramado-RS. **Anais do...**, 2012b.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptical characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v.135, p.598-617. 2007.

WENG, H.; ASHOK, K.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A. e YAMAGATA, T. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. **Climate Dynamics**, v. 29, p.113–129, 2007, DOI 10.1007/s00382-007-0234-0

WILKS, D.S. **Statistical Methods in the atmospheric science**. California, USA. 2ed. Academic Press. 2006. 649p.

ZHAO, Q.; BLACK, T.L.; BALDWIN, M.E. Implementation of the cloud prediction scheme in the Eta model at NCEP. **Weather Forecast**, v.12, p.697–712, 1997.