

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



Dissertação

**Índices oceânicos e sua relação com a precipitação pluvial do Rio
Grande do Sul**

Eliane Barbosa Santos

PELOTAS, 2011

Eliane Barbosa Santos

Índices climáticos obtidos das TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e sua influência na variabilidade da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de conhecimento: Meteorologia)

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz

PELOTAS, 2011

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

S237i Santos, Eliane Barbosa
 Índices oceânicos e sua relação com a precipitação pluvial
 do Rio Grande do Sul / Eliane Barbosa Santos. – 88f. ; fig. –
 Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em
 Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de
 Meteorologia. Pelotas, 2011. – Orientador Gilberto Barbosa
 Diniz.

 1.Meteorologia. 2.Precipitação. 3.TSM do Atlântico e do
 Pacífico. 4.Rio Grande do Sul. I.Diniz, Gilberto Barbosa.
 II.Título.

CDD: 551.5798165

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz (Orientador)

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion (UFAL)

Prof. Dr. André Becker Nunes (UFPel)

Dedico este trabalho, com muito amor e carinho aos meus pais, Antonio Ulisses Santos e Lourinete Barbosa Santos, aos meus irmãos e ao meu tio José Ulisses dos Santos, pelo incentivo e estímulo à busca de meu desenvolvimento profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

É com profunda gratidão e com muita alegria que deixo aqui consignados meus agradecimentos a todos que me prestaram valioso apoio durante o curso:

- Primeiramente, aos meus pais Antonio Ulisses Santos e Lourinete Barbosa Santos, que tiveram sabedoria para me dar a oportunidade de estudar, exemplos de luta, honestidade e bondade, pessoas tão especiais, sendo muito difícil, em tão poucas palavras expressar a extensão de meu agradecimento, pelo amor, carinho, confiança e apoio incondicional em todos os momentos.

- Aos meus queridos e amados irmãos, Álvaro B. Santos, Tânia B. Santos, Tayllane B. Santos, e em especial a Rejane B. Santos, que mesmo longe, se fez presente em todos os momentos, me apoiando e me incentivando a seguir em frente.

- Ao meu tio José Ulisses dos Santos, uma das poucas pessoas, que acreditou nos meus ideais, o qual muito me incentivou. Uma pessoa por quem tenho profunda gratidão e que sempre lembrarei com muito carinho, por tudo o que fez por mim.

- Ao meu orientador, Dr. Gilberto Barbosa Diniz, pela orientação e constante apoio na realização deste trabalho.

- Aos professores do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, pelos ensinamentos e amizades.

- Aos amigos da Pós-Graduação, Cristiano Eichholz, George Pedra, Gustavo Cuchiara, Naile Vaggetti, e todos os outros que, apesar de não terem seus nomes citados, estarão sempre em minha memória. Muito obrigada pelo apoio e pela agradável companhia ao longo do curso.

- As minhas queridas e amadas amigas que tive a oportunidade de conquistar ao longo desta jornada, Fabiana Brauner, Tania Fernandes e Kaká

Ferreira, que dividiram comigo uma importante etapa da vida. Muito obrigada por tudo, sentirei muitas saudades.

- Ao Cristiano Cardoso, um grande amigo, que esteve presente no último ano de mestrado, me ajudando e apoiando em todos os momentos que precisei. Muito obrigada!

- A todos os meus amigos que estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada, em especial a Lincoln, Darlene, Alex, Cintia, Henrique e Vinicius, que de alguma forma me ajudaram. Obrigada!

- A todos os membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões na melhoria deste trabalho.

- Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma e me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

- Ao CNPq, cuja bolsa possibilitou a minha integral dedicação a esta pesquisa.

Obrigada... muito obrigada !

RESUMO

SANTOS, Eliane Barbosa. **Índices climáticos obtidos das TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e sua influência na variabilidade da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul**. 2011. 88f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

Foram determinados índices climáticos obtidos das TSMs dos Oceanos Atlântico e Pacífico, disponíveis no site do ESRL/PSD/NOAA. Esses índices foram criados para representar as variações de TSM no Pacífico Tropical, Atlântico Tropical e Atlântico Sul, com o objetivo de estudar suas influências na variabilidade da precipitação do Estado do RS. Foram elaborados o índice do Pacífico Tropical (IPT), índice do Atlântico Tropical (IAT), índice do Atlântico Sul (IAS) e, também, a diferença entre os índices do Atlântico Sul e Tropical (IAST). Os dados de precipitação foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (8º Distrito de Meteorologia - Porto Alegre) e Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT). Posteriormente, foram realizadas correlações entre os índices e a precipitação pluvial para o período de 1948-2009. As correlações foram simultâneas e com defasagem, com os índices precedendo a precipitação em até 3 meses. Os resultados obtidos mostraram que as variações de TSM do Atlântico Tropical não foram significativas para a precipitação do RS, mostrando baixa significância em todos os meses. No entanto, confirmaram que as variações das TSMs do Pacífico Tropical e Atlântico Sul, produzem impactos sensíveis na precipitação do RS, mostrando coeficientes de correlações que excedem o nível de 95 e 99% de confiança em muitas regiões. Os coeficientes significativos entre os índices e a precipitação foram positivas, indicando que existe uma relação direta entre os índices e os totais pluviométricos no Estado do RS. Os meses que apresentaram maiores associações com IAS foram janeiro, abril, maio, julho, novembro e dezembro, sendo novembro o mês que apresentou os maiores coeficientes. As correlações com o IAST mostrou configuração semelhante com o IAS, mas com coeficientes menores. A região do Niño 3.4 também mostrou maior grau de associação em novembro, apresentando os maiores coeficientes de correlações do IPT, com significância de 99% de confiança em quase todas as regiões. Nas correlações com lag, no geral foram observadas, em todos os índices, configurações semelhantes com suas respectivas correlações simultâneas e, de acordo com o aumento do lag a intensidade diminuiu, mas em muitas regiões, principalmente em novembro. As correlações significativas permaneceram até o lag

3, ou seja, os índices IPT, IAS e IAST podem ser bons previsores da qualidade da chuva para o Estado do RS, com até 3 meses de antecedência.

Palavras-chave: TSM do Atlântico e Pacífico, Precipitação, RS.

ABSTRACT

SANTOS, Eliane Barbosa. Climate indices obtained from the SST of the Pacific and Atlantic oceans and its influence on rainfall variability in Rio Grande do Sul. 2011. 88f. Dissertation. Post-Graduation in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas-RS.

Certain climatic indexes were obtained from the SST of the Atlantic and Pacific Oceans, available at the ESRL / PSD / NOAA. These indices were created to represent the variations of SST in the Tropical Pacific, Tropical Atlantic and South Atlantic, with the aim of studying their influence on rainfall variability in this state RS. Therefore, we created the Tropical Pacific index (IPT), Tropical Atlantic Index (IAT), South Atlantic index (IAS), and also the difference between the indexes South and Tropical Atlantic (IAST). The precipitation data were obtained through the National Institute of Meteorology - INMET (8th District of Meteorology - Porto Alegre) and the State Foundation for Agricultural Research (FEPAGRO), Department of Science and Technology (SCT). Subsequently, correlations were performed for the period 1948-2009. The correlations were simultaneous and delayed, with the indexes preceding the precipitation up to 3 months. The results showed that variations of SST of the tropical Atlantic were not significant for the precipitation of RS, showing low significance lower in all months. However, they confirmed that the variations of SSTs in the Tropical Pacific and South Atlantic, producing sensitive impacts on precipitation of RS, showed correlations that exceed the level of 95 and 99% confidence in many regions. The significant correlations between the indexes and rainfall were positive, indicating that there is a direct relationship between rates and the total rainfall in this state. The months that showed greater dependence on IAS were January, April, May, July, November and December being the month in November showed the highest correlations. The correlation with the IAST showed similar configuration with IAS, but with less intensity in the correlations. The Niño 3.4 region also showed a larger association in November, the highest correlation of the IPT, with a significance of 99% confidence in almost all regions. In correlation with lag, in general it was observed in all indexes, similar configurations with their respective correlations simultaneously, and according to the increase in the intensity decreased lag, but in many regions, especially in November, the significant correlations remained until the lag 3, ie, the indexes IPT, IAS and IAST can be good predictors of the quality of rain to the state of RS, with up to three months in advance.

Keywords: SST of the Atlantic and Pacific, Rainfall, RS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. Célula de Walker. Fonte: CPTEC/INPE.	22
Figura 2:	Condições de (a) El Niño e (b) La Niña. Fonte: CPTEC/INPE.	23
Figura 3:	Regiões dos Niños no Pacífico Equatorial. Fonte: http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi	24
Figura 4:	Serie temporal do Índice Multivariado do ENOS, adaptada de WOLTER e TIMLIN, 1998.	25
Figura 5:	Padrão do comportamento da TSM nas fases (a) negativa e (b) positiva da ODP. Fonte: SANTOS, 2009.	26
Figura 6:	Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico, para o período de 1900 a setembro de 2009, adaptada de MANTUA et al., 1997.	26
Figura 7:	Distribuição espacial das estações meteorológicas do Estado do RS utilizadas no trabalho.	38
Figura 8:	Domínio espacial dos dados utilizados, indicando às regiões utilizadas das series temporais de TSM para o cálculo dos índices.	39
Figura 9:	Espectro das ondeletas para o IPT, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).	44
Figura 10:	Espectro das ondeletas para o IAS, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).	45
Figura 11:	Espectro das ondeletas para o IAT, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).	46

Figura 12:	Espectro das ondeletas para o IAST, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).	47
Figura 13:	Média mensal do IPT para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).	48
Figura 14:	Média mensal do IAS para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).	49
Figura 15:	Média mensal do IAT para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).	50
Figura 16:	Média mensal do IAST para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).	51
Figura 17:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.	53
Figura 18:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.	54
Figura 19:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.	56
Figura 20:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 mês.	57
Figura 21:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 mês.	58
Figura 22:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.	60

Figura 23:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.	61
Figura 24:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.	62
Figura 25:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 meses.	63
Figura 26:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 meses.	64
Figura 27:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.	66
Figura 28:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.	67
Figura 29:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.	68
Figura 30:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 meses.	69
Figura 31:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 meses.	70
Figura 32:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.	72
Figura 33:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.	73
Figura 34:	Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.	74

- Figura 35: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 mês. 75
- Figura 36: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 mês. 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul e suas coordenadas geográficas e instituições a quem pertencem.....	37
----------	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COADS - Comprehensive Ocean – Atmosphere Data Set

CP - Componente Principal

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

EPG - Espectro de Potência Global

EPO - Espectro de potência de ondeletas

ESRL - Earth System Research Laboratory

FEPAGRO - Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias

IAS - Índice do Atlântico Sul

IAT - Índice do Atlântico Tropical

IME - Índice Multivariado do ENOS

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IOS - Índice de Oscilação Sul

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

ODP - Oscilação Decadal do Pacífico

OS - Oscilação Sul

PSD - Physical Science Division

RS - Rio Grande do Sul

SCT - Secretaria de Ciência e Tecnologia

TF - Transformada de Fourier

TO - Transformada em Ondeletas

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS - Zona de Convergência da América do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 A Influência do Oceano Pacífico no clima.....	21
2.1.1 El Niño-Oscilação Sul (ENOS).....	21
2.1.1.1 Índice Multivariado do ENOS (IME).....	24
2.1.2 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).....	25
2.2 A Influência do Oceano Atlântico no clima.....	27
2.3 Características da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com a TSM.....	29
2.4 Análise da variabilidade temporal: Transformada em Ondeleta (TO).....	32
3. DADOS E METODOLOGIA.....	36
3.1 Dados.....	36
3.2 Metodologia.....	38
3.2.1 Índices de variabilidade climática.....	38
3.2.1.1 Determinação dos índices	39
3.2.2 Análise da Transformada em Ondelatas (TO).....	40
3.2.3 Correlação e teste de significância.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 Análise da variabilidade temporal dos índices através da Transformada em Ondeleta (TO).....	43
4.1.1 Índice do Pacífico Tropical (IPT).....	43
4.1.2 Índice do Atlântico Sul (IAS).....	45
4.1.3 Índice do Atlântico Tropical (IAT).....	46
4.1.4 Diferença entre os índices do Atlântico Sul e Tropical (IAST).....	47
4.2 Análise das séries temporais dos Índices.....	48
4.3 Relação entre a precipitação pluviométrica do Rio Grande do Sul e os índices: IPT, IAS, IAT e IAST.....	51
5. CONCLUSÃO.....	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
7. ANEXOS.....	86

INTRODUÇÃO

A precipitação na região Sul do Brasil está relacionada à atuação de vários sistemas meteorológicos, como os sistemas frontais, que possuem uma frequência de 5 a 7 eventos por mês (OLIVEIRA, 1986). Na escala global, observam-se influências remotas dos Oceanos Pacífico e Atlântico, que podem causar impactos econômicos e sociais significativos na região. Dentre os vários fatores que condicionam o regime pluviométrico no Sul do Brasil, tem-se a presença de sistemas sinóticos de escala temporal e espacial distintas, e a interação dos sistemas de escala global com os de escalas menores, promove totais pluviométricos acima e/ou abaixo da média climatológica.

A variabilidade da precipitação pluvial é apontada como um dos maiores riscos para a agricultura no Estado do Rio Grande do Sul (RS), pois, todo um conjunto de atividades está estreitamente associado ao regime pluvial, sendo gravemente prejudicadas pelos episódios extremos, como a secas ou a enchente. Por isso, conhecer e entender a variabilidade da precipitação é muito importante, pois possibilita estimar tendências predominantes de anomalias, as quais podem ser gerenciadas para minimizar perdas e danos nos mais diversos segmentos, como no cultivo agrícola, atividade industrial e até mesmo na segurança da população.

Para se estudar a variabilidade das precipitações, deve-se considerar a influência dos oceanos, que possuem um papel determinante nos fluxos de calor sensível e latente, pois são esses fluxos que disponibilizam umidade e calor para atmosfera e são essenciais para o padrão da convecção e das precipitações (TAO, 1991). Na América do Sul, grande parte da variabilidade interanual do clima, principalmente das precipitações, é modulada pelos efeitos do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é um fenômeno global acoplado oceano-atmosfera, com um período dominante da ordem de 3-7 anos, com eventos extremos de El Niño

e La Niña. O El Niño pode ser caracterizado por um aquecimento anômalo das temperaturas da superfície do mar (TSM) do Pacífico Equatorial Leste, com propagação para leste em direção à costa oeste da América do Sul. Esse aquecimento produz mudanças na posição da convecção no Pacífico, causando alterações nas condições climáticas em várias regiões ao redor do planeta. No Brasil, extremos desse fenômeno estão associados à ocorrência de seca no Nordeste e enchente no Sul. Durante o evento La Niña, ocorre o oposto ao El Niño e nesse, as TSM no Pacífico Leste ficam mais frias e os ventos Alísios muito mais intensos que o normal, e as anomalias climáticas são, geralmente, inversas às observadas durante o El Niño (PHILANDER, 1989).

No Oceano Atlântico, as relações entre os padrões anômalos das TSMs com o clima no Brasil tem sido objeto de muitas pesquisas, porém a maioria relacionada à influência do Atlântico Tropical nas precipitações do Nordeste (MOURA; SHUKLA, 1981). Em relação à influência do Atlântico Sul no clima da região Sul do Brasil existem poucos estudos, porém há indicações da influência de TSM do Atlântico Subtropical na variabilidade interanual das chuvas na região (STUDZINSKI, 1995).

Vários estudos recentes forneceram evidências de que os Oceanos Atlântico e Pacífico desempenham um papel significativo nas flutuações climáticas que ocorrem na região Sul do Brasil (DIAZ et al., 1998; GRIMM et al., 1998; GRIMM, 2000). As condições oceânicas, principalmente as de superfície (TSMs), são de grande importância para o clima global e regional e não faltam evidências observacionais e resultados de modelos numéricos de circulação atmosférica que comprovem as mudanças ou impactos causados pelas mesmas.

A análise do comportamento da precipitação pode auxiliar no diagnóstico de eventos extremos, como inundações e estiagens, e também servir de subsídios na prevenção dos impactos dos desastres. Com isso, esse trabalho tem como objetivo principal, estudar a influência de índices obtidos das TSMs dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade das precipitações pluviais no Estado do RS e analisar a possibilidade da previsibilidade da precipitação pluvial com alguns meses de antecedência. Para isso, foram definidos como objetivos específicos:

- Criar séries temporais de índices simples de TSM com a finalidade de correlacionar com a precipitação no Estado do RS e contribuir para a melhoria da previsão climática de longo prazo.

- Contribuir para um melhor entendimento da variabilidade espacial e temporal das precipitações no RS, associadas aos índices obtidos das TSMs do Pacífico e Atlântico.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Influência do Oceano Pacífico no Clima

O papel dos oceanos é importante não somente pelo imenso reservatório de calor, mas principalmente pelo controle climático, através da redistribuição de calor sobre o planeta. Como o Oceano Pacífico ocupa um terço da superfície terrestre e a atmosfera é aquecida por baixo, se houver uma variação na TSM do Pacífico, o clima será afetado (MOLION, 2005). A variação da TSM influencia consideravelmente o clima no planeta. Espera-se que uma variação de meso e grande escala, ocasionem condições climáticas significativas, nas quais são destacados a seguir os principais fenômenos associados à variação de TSM do Oceano Pacífico: ENOS e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (BEZERRA, 2006).

2.1.1 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

O ENOS é um fenômeno oceânico-atmosférico, que afeta o tempo e o clima em diversos locais do planeta, incluindo o Brasil, e envolve interações oceânicas e atmosféricas associadas a alterações na circulação de Walker no Pacífico (PHILANDER, 1990; NEELIN et al., 1998).

Bjerknes (1966, 1969) foi o primeiro a observar que existia uma conexão entre temperaturas quentes, poucos comuns, na superfície do mar, os fracos ventos de leste e as condições de alta precipitação. Posteriormente, a descoberta de Bjerknes levou ao reconhecimento de que as águas quentes do "El Niño" e as variações de pressão na Oscilação Sul (OS) de Walker eram partes do mesmo fenômeno, conhecido pelo nome de ENOS.

A componente atmosférica do fenômeno ENOS, a OS, pode ser caracterizada por meio do Índice de Oscilação Sul (IOS) que expressa a intensidade e fase do fenômeno. Esse índice é calculado baseado na diferença da pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico Oeste (Darwin/Austrália). Já, a componente oceânica é representada pelo evento El Niño/La Niña, nome dado ao aquecimento/resfriamento anormal das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste (RASMUSSEN; CARPENTER, 1982). O IOS está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos baixos níveis da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais da região. Em geral valores negativos e positivos do IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña, respectivamente (PHILANDER, 1990).

O fenômeno ENOS tem como região de origem o Oceano Pacífico Equatorial. Na Fig. 1 mostram-se as condições atmosféricas e oceânicas sobre o Oceano Pacífico observadas em anos considerados normais, ou seja, quando o El Niño ou La Niña não são detectados, indicando águas superficiais relativamente mais aquecidas, no Pacífico Equatorial Oeste, próximo a região da Indonésia e costa Norte da Austrália, e relativamente mais frias junto à costa da América do Sul. Nessas circunstâncias, o ar sobe devido à água quente (áreas de baixa pressão), ocorrendo fortes chuvas sobre o Pacífico Oeste, descendo sobre o oceano (área de alta pressão) nas proximidades da costa sul-americana, onde as chuvas são escassas. Essas diferenças de temperatura das águas entre o lado leste e o oeste na bacia do Oceano Pacífico, resultam em diferenças de pressão atmosférica na superfície e em uma circulação secundária da atmosfera nessa região conhecida como célula de Walker, direção leste-oeste (CUNHA, 1999).

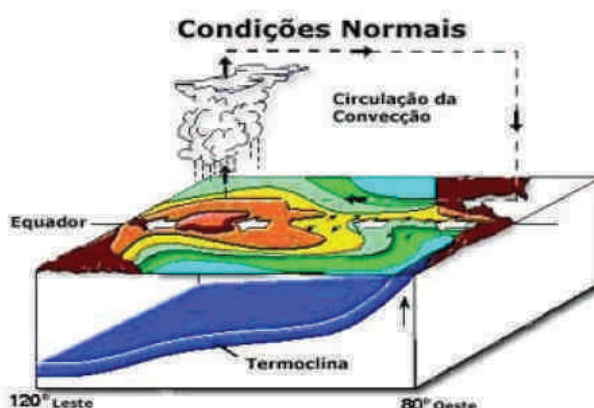


Figura 1: Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. Célula de Walker. Fonte: CPTEC/INPE.

Em anos de El Niño (Fig. 2a), verifica-se, um enfraquecimento dos ventos Alísios na região do Pacífico Equatorial. Com isso, há o deslocamento do ramo ascendente da célula de Walker para a parte central do Oceano Pacífico e as águas anormalmente quentes do Oceano Pacífico Tropical chegam a atingir a costa da América do Sul, na altura do Peru e do Equador. As chuvas adentram o continente Sul-Americano e passam a cair no interior do Peru. O ar que sobe provocando as precipitações no Peru, desce seco sobre a Amazônia e Nordeste do Brasil, diminuindo as chuvas nessas regiões. Já em anos de La Niña, os ventos Alísios sopram com mais intensidade, com isso as águas irão ficar “amontoadas” no Pacífico Equatorial Oeste, ou seja, as águas mais quentes irão ficar represadas mais a oeste do que o normal e, portanto, novamente haverá águas mais quentes que geram evaporação e, conseqüentemente, movimentos ascendentes, que por sua vez geram nuvens de chuva e que intensificam a célula de Walker, que em anos de La Niña fica mais alongada que o normal (Fig. 2b) (BERLATO; FONTANA, 2003; BEZERRA, 2006).

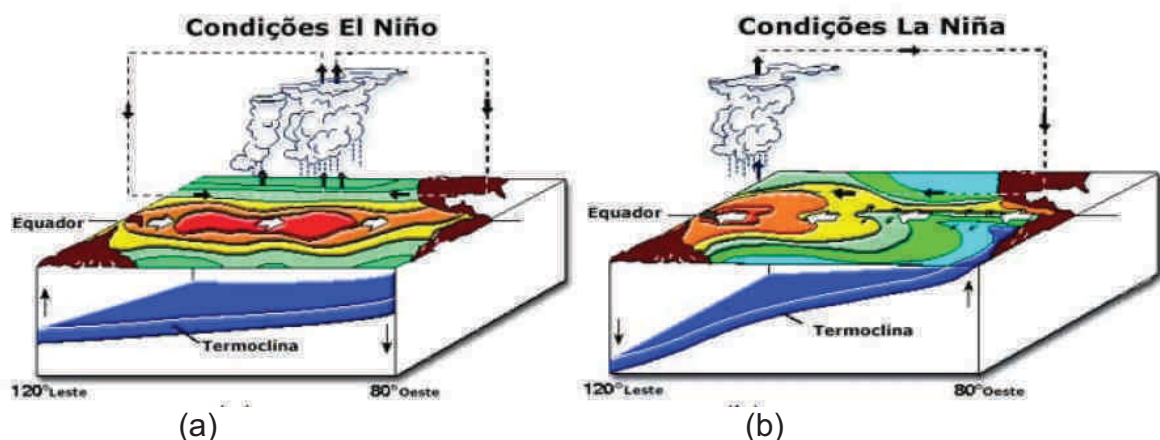


Figura 2: Condições de (a) El Niño e (b) La Niña. Fonte: CPTEC/INPE.

As anomalias de TSM são coletadas em quatro regiões do Pacífico (Fig. 3), que são:

- ✓ Niño 1+2 (0° - 10° S; 80° - 90° W): A região que, tipicamente, esquentar primeiro quando o El Niño se desenvolve.
- ✓ Niño 3 (5° S- 5° N; 150° W- 90° W): A região do Pacífico Tropical que tem maior variabilidade de TSM na escala temporal do El Niño.
- ✓ Niño 3.4 (5° S- 5° N; 170° W- 120° W): A região que tem maior variabilidade às escalas de tempo do El Niño e é mais próxima (que Niño 3) da região

onde as mudanças nas TSMs locais são importantes para deslocar a região de precipitação localizada no Pacífico Oeste.

- ✓ Niño 4 (5°S-5°N; 160°E-150°W): A região onde as mudanças nas TSMs conduzem a valores de aproximadamente 27,5°C, o que é visto como um importante fator na produção de chuva.

A região mais usada para pesquisa e monitoramento das TSM do Pacífico Tropical é a região do Niño 3.4. O Niño 3.4 é, geralmente, escolhido devido à variabilidade da TSM nessa região ter um forte efeito no deslocamento da precipitação do Pacífico Oeste que, por sua vez, modifica a localização da fonte de aquecimento que controla/modula a circulação geral atmosférica (<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi>).

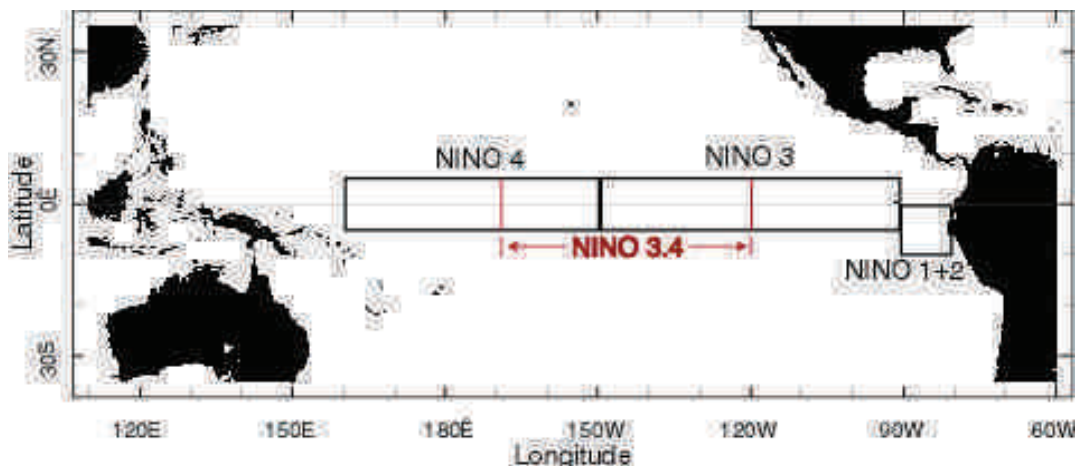


Figura 3: Regiões dos Niños no Pacífico Equatorial. Fonte: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi>

2.1.1.1 Índice Multivariado do ENOS (IME)

O monitoramento do ENOS é feito fundamentando o Índice Multivariado do ENOS (IME) nas seis variáveis principais observadas no Pacífico Tropical. Essas seis variáveis, computadas com Comprehensive Ocean – Atmosphere Data Set (COADS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), são: pressão ao nível do mar, TSM, componente zonal e meridional do vento em superfície, temperatura do ar em superfície e uma fração de nebulosidade. O IME é computado separadamente para cada um dos doze meses do ano e pode ser expresso como médias bimestrais (Dez-Jan, Jan-Fev,..., Nov-Dez). Esse índice é calculado usando a primeira Componente Principal (CP) não rotacionada de todos os seis campos

observados e combinados. Inicialmente, é normalizada a variação total de cada campo, e depois, é executada a extração da primeira CP na matriz de covariância dos campos combinados. Os valores negativos do IME representam a fase fria do ENOS (La Niña), enquanto os valores positivos representam a fase quente do ENOS (El Niño) (LOPES, 2006).

A Fig.. 4 reproduz a variação com o tempo do IME, descrito e elaborado por Wolter e Timlin (1998). Os números positivos (negativos) mostram as intensidades dos El Niños (La Niñas). Nota-se a predominância de eventos La Niña no período 1950 a 1976, em contraste com a alta frequência de eventos severos de El Niño entre 1977 e 1998.

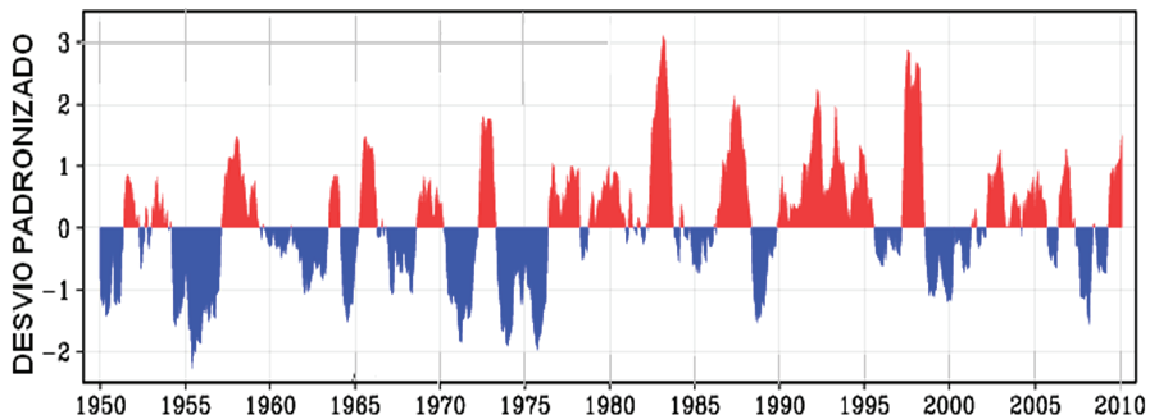


Figura 4: Série temporal do Índice Multivariado do ENOS, adaptada de WOLTER e TIMLIN, 1998.

2.1.2 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

Desde o final da década de 80 vários estudos mostraram a existência de um padrão dominante de variabilidade climática de baixa frequência sobre o Oceano Pacífico. A esse regime oscilatório de grande escala, Mantua et al. (1997) deram o nome de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Na ODP, as anomalias de TSMs do Oceano Pacífico apresentam uma configuração semelhante ao fenômeno ENOS, porém com variações de prazo mais longo, variando em uma escala de tempo interdecadal, as TSMs tornam-se mais frias e mais quentes a cada 20 a 30 anos, enquanto nos eventos ENOS persistem por cerca de 6 a 18 meses (MANTUA et al., 1997). Da mesma forma que o ENOS, a ODP apresenta duas fases. A fase fria (Fig. 5a) é caracterizada por anomalias negativas de TSMs no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSMs positivas no Pacífico Extratropical em ambos

os hemisférios. Já, a fase quente (Fig. 5b) apresenta configuração contrária, com anomalias de TSMs positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical (MOLION, 2005). Para medir a fase e a intensidade da ODP é utilizado um índice definido por Mantua et al. (1997), o IODP. Esse índice baseia-se na CP do primeiro modo da análise de Funções Ortogonais Empíricas das anomalias das TSMs ao norte de 20°N no Pacífico. A última fase fria ocorreu no período de 1947-1976, e a fase quente se estendeu de 1977-1998 (Fig. 6).

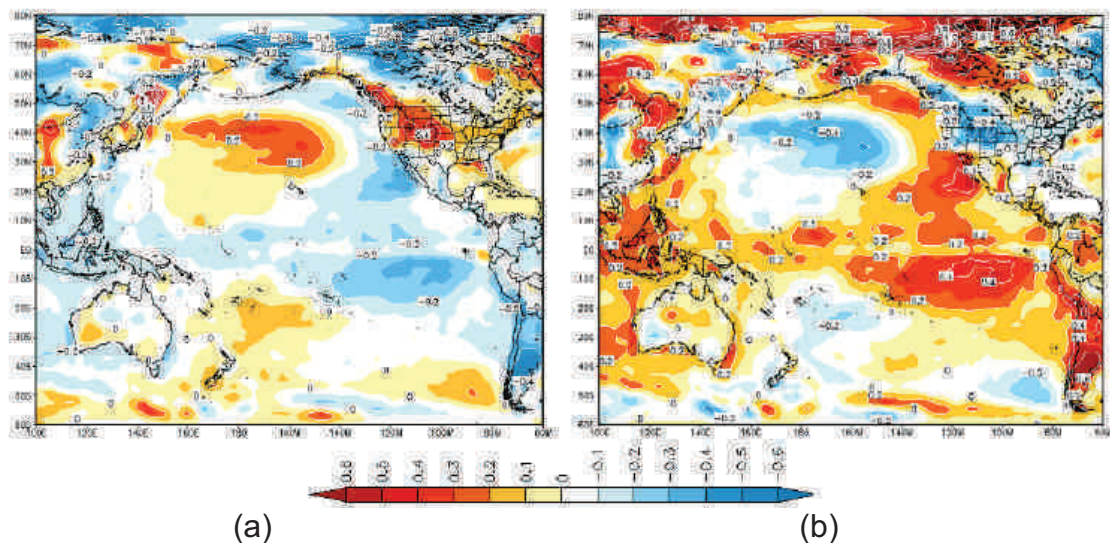


Figura 5: Padrão do comportamento da TSM nas fases (a) negativa e (b) positiva da ODP. Fonte: SANTOS, 2009.

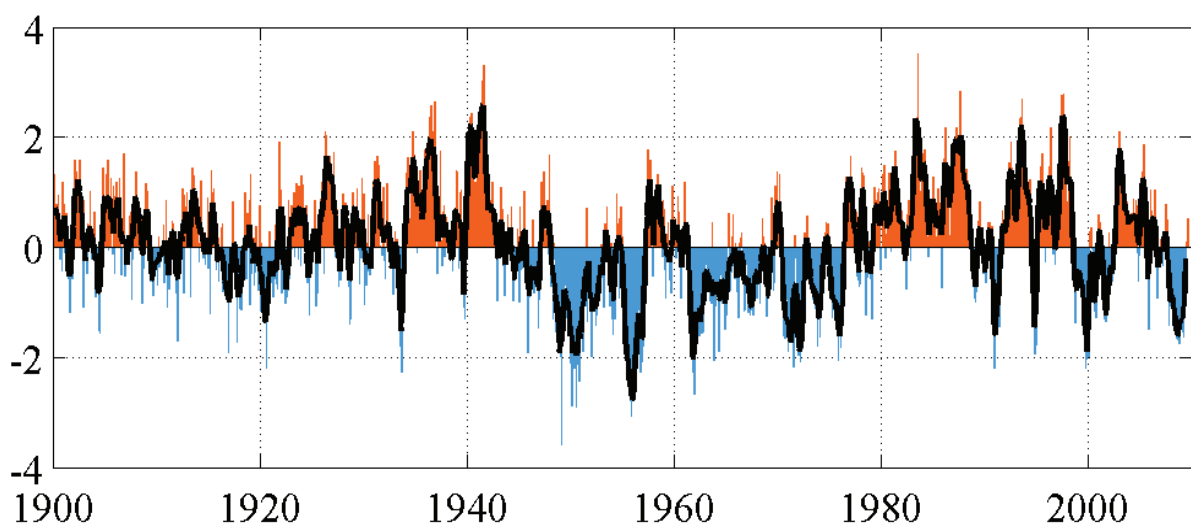


Figura 6: Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico, para o período de 1900 a setembro de 2009, adaptada de MANTUA et al., 1997.

2.2 A Influência do Oceano Atlântico no Clima

Muitos estudos sobre as influências das anomalias de TSM nas variações da atividade convectiva têm sido feitos, bem como a variabilidade de tais influências na circulação atmosférica ao redor do globo. A maioria dos trabalhos está focada nas anomalias de TSM do Oceano Pacífico, principalmente nos fenômenos El Niño e La Niña, assim como seus efeitos na precipitação na América do Sul. Porém, ainda não está bem claro o entendimento da influência das anomalias do Oceano Atlântico na atividade convectiva do continente Sul-Americano.

Diversos aspectos de variabilidade da TSM no Oceano Atlântico têm recebido considerável atenção nos últimos 10 anos. A variabilidade do Atlântico Tropical tem sido focalizada de cinco maneiras: o modo equatorial, gradiente inter-hemisférico de anomalias de TSMs, padrão do tipo dipolo e modos separados do Atlântico Tropical Sul e Norte (SILVA, 2006).

As escala de frequências dos processos oceânicos e atmosféricos sobre o Oceano Atlântico englobam a variabilidade interdecadal, interanual e intrasazonal. O modo equatorial é mais pronunciado na escala interanual (ZEBIAK, 1993), enquanto o modo inter-hemisférico é mais visível na escala decadal (SERVAIN, 1991; HOUGHTON; TOURRE, 1992; CARTON et al., 1996; CHANG et al., 1997; TOURRE et al., 1999).

Muitos trabalhos analisaram de forma conjunta as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e a relação desses com a atividade convectiva na América do Sul. Nessas análises, quando se trata do Oceano Atlântico, as áreas em destaque para o estudo das anomalias de TSM variam de um trabalho para o outro.

Enfield e Mayer (1997) discutiram os modos de variabilidade do Oceano Atlântico, o equatorial, com uma tendência de resfriamento (aquecimento) em toda a extensão da bacia do Atlântico Tropical no sentido leste-oeste e o meridional, uma variação atmosfera-oceano, em escala de tempo decadal, com anomalias de TSM de sinais opostos, no sentido norte-sul da bacia formando um gradiente térmico inter hemisférico, mas de questionável existência devido à quase total independência dos setores norte e sul da bacia.

Os primeiros estudos sobre o modo de variabilidade meridional (dipolo de TSM do Atlântico) foram feitos por Hastenrath (1976); Hastenrath e Heller (1977) e

Hastenrath (1978), quando tentavam investigar, através de análises observacionais, as configurações da circulação atmosférica sobre o Atlântico Tropical, juntamente com os eventos climáticos regionais extremos (secas e inundações) observados sobre as regiões da América Central, Caribe e Nordeste do Brasil (SILVA, 2006). As investigações sobre a circulação atmosférica no Atlântico Tropical Norte e Sul, que resultam no aparecimento de anomalias de TSM de sinais opostos, definem as duas fases de variabilidade climática: uma fase positiva (negativa) referente às anomalias de TSM positivas (negativas) na bacia do Atlântico Tropical Norte (Sul) (SOUSA, 2003).

Hameed et al. (1993), através de resultados de modelagem envolvendo o acoplamento oceano-atmosfera, mostraram que a OS influencia o padrão de TSM e dos ventos superficiais do Atlântico Tropical, bem como a intensidade das Altas Subtropicais do Atlântico Norte e Sul. Os mecanismos que se associam às teleconexões explicam as mudanças na circulação atmosférica de grande escala na região tropical entre o Pacífico e o Atlântico.

Estudos sobre a relação entre o ENOS e os modos de variabilidade de TSM no Atlântico Tropical descrevem que o modo gradiente de anomalias de TSM pode ser forçado remotamente pelo ENOS (SARAVANAN; CHANG, 2000; SUTTON et al., 2000). Enfield e Mayer (1997) analisaram as estruturas espaciais e temporais da variabilidade de TSM no Atlântico Tropical, relacionando-as com a variabilidade de TSM no Pacífico Equatorial, concluindo que a variabilidade de TSM no Pacífico Equatorial está mais fortemente correlacionada com a variabilidade da TSM do Atlântico Tropical na escala interanual, ao longo da região de 10°N-20°N. O aquecimento nessa região ocorre em torno de 4-5 meses após a fase madura do evento quente no Pacífico em resposta à redução da velocidade dos ventos Alísios de nordeste em superfície. Isso leva a reduzir o fluxo de calor latente e sensível sobre a região em questão (ENFIELD; MAYER, 1997).

2.3 Característica da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com a TSM

Conhecer e entender a variabilidade da precipitação é muito importante, pois possibilita estimar tendências predominantes de anomalias, as quais podem ser gerenciadas para minimizar perdas e danos nos mais diversos segmentos, como no cultivo agrícola, atividade industrial e até mesmo na segurança da população. Dos elementos climáticos, a precipitação tem papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas. Todo um conjunto de atividades, entre elas as agrícolas, está estreitamente associado ao regime pluvial, sendo gravemente prejudicadas pelos episódios extremos, como secas e enchentes.

A variabilidade da precipitação pluvial é apontada como um dos maiores riscos para a agricultura no Estado do RS. Os valores médios de precipitação pluvial no Estado apresentam regularidades ao longo do ano, mas com grandes variações em torno desses. Ávila et al. (1996) e Berlato et al. (1995) mostraram que não existe tendência nem no aumento nem na diminuição da precipitação pluvial anual média em todo o Estado. Existe sim, uma alta variabilidade interanual dessa variável, tornando-se o principal fator limitante das culturas de primavera-verão, as quais representam cerca de 90% da produção total de grãos do RS.

A fonte principal de variabilidade interanual da precipitação sobre a América do Sul é o ENOS. Durante os eventos El Niño, o movimento ascendente sobre a América do Sul tropical é mais fraco que o normal, com anomalias negativas de precipitação sobre o leste da Amazônia e Nordeste do Brasil (RAO et al., 1986) e anomalias positivas sobre o Sul do Brasil (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; KAYANO et al., 1988). Durante os eventos La Niña, as anomalias de precipitação e circulação são opostas àquelas descritas para os eventos El Niño, algumas vezes com pequenos deslocamentos na posição das anomalias mais fortes e na magnitude das mesmas (KOUSKY; ROPELEWSKI, 1989; GRIMM, 2004).

Fontana e Berlato (1996), estudando a climatologia do fenômeno ENOS no RS, para o período de 1913 a 1995, mostraram que, durante o El Niño (fase quente), a precipitação pluvial é superior à média climatológica na maioria dos meses do ano, havendo, porém, dois períodos bem destacados. O período principal é na primavera do ano de início do fenômeno, especialmente outubro e novembro, com um repique no final do outono do ano seguinte (final de abril, maio e junho). Na ocorrência da La

Niña (fase fria), a precipitação pluvial é menor do que a média climatológica, também na maioria dos meses do ano, ocorrendo novamente dois períodos que se destacam e são mais ou menos coincidentes com os da fase quente (GRUPPELLI, 2007).

No Brasil, os efeitos do fenômeno El Niño podem causar prejuízos e benefícios. Porém os prejuízos causados são muito maiores que os benefícios. Então, para o Brasil, o El Niño é preocupante, principalmente, para agricultores.

Na região sul, em anos de El Niño, é observado um grande aumento de chuvas, principalmente nos meses de primavera, fim do outono e começo de inverno. E toda essa água nos meses da safra, pode atrapalhar a colheita, havendo graves prejuízos à área agrícola, principalmente no que diz respeito aos grãos. As temperaturas também mudam nas regiões sul e sudeste, sendo observados invernos mais amenos na Região Sul, trazendo benefícios para os agricultores. Outra característica encontrada em anos de El Niño é o bloqueio das frentes frias no sul do continente Sul-Americano pela “corrente-de-jato”. Segundo Henrique (1993), a “corrente-de-jato” passa a funcionar como barreira de ar, que impede que as frentes frias, que provocam chuva, sigam seu trajeto em direção ao norte. As chuvas que deveriam ser distribuídas ao longo do litoral leste da América do Sul acabam caindo todas numa só área (BEZERRA, 2006).

Ainda segundo Bezerra (2006), durante os episódios de La Niña, são observadas passagens rápidas de frentes frias sobre a Região Sul do Brasil, com tendência de diminuição da precipitação nos meses de setembro a fevereiro, principalmente no RS, além do centro-nordeste da Argentina e Uruguai; temperaturas próximas da média climatológica ou ligeiramente abaixo da média sobre a região Sudeste, durante o inverno; chegada das frentes frias até a região Nordeste, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas; em geral, chuvas abundantes no norte e leste da Amazônia e podendo ocorrer chuvas acima da média na região semi-árida do Nordeste do Brasil.

Lopes (2006) estudou as relações entre o IME e a TSM das regiões dos Niños com as precipitações pluviais no Estado do RS, concluindo que o IME, apesar de ser um índice mais complexo do ponto de vista metodológico, não melhora os coeficientes de correlações com a precipitação pluvial do Estado do RS, e sempre apresenta valores menores ou iguais aos obtidos ao se utilizar a TSM das regiões dos Niños nos bimestres de out/nov e nov/dez.

Na escala decadal, segundo Rebello (2005), o IODP mostra uma boa relação com as anomalias de precipitação no Estado do RS, durante a fase quente (fase fria) da ODP, ocorre uma boa relação com anomalias positivas (negativas) de precipitação. Da mesma forma que influencia a precipitação, é de se esperar que o mesmo ocorra com as temperaturas máximas e mínimas. Omena (2010) mostrou que as temperaturas máximas e mínimas do Estado do RS sofrem influência da ODP, mas não se obteve significância estatística.

Outro fator de grande influência na precipitação pluvial do RS é a Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), sendo caracterizada durante o verão pela banda de nebulosidade intensa que se forma desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Subtropical. Observações indicam evidente associação entre períodos de enchentes de verão na região Sudeste e veranicos na região Sul (GRUPPELLI, 2007). Segundo Quadro (1994), a ZCAS é um fenômeno característico de verão, produzindo elevado índice pluviométrico nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e conseqüente redução das chuvas no Sul do Brasil. Observa-se também, nesse período, um aumento da temperatura do ar, quando poucos sistemas frontais atravessam o RS, ocorrendo maiores precipitações pluviais na forma convectiva e em pontos isolados.

Estudos relacionaram a intensificação da ZCAS no verão associada à TSM do Atlântico Tropical, região que apresenta correlação negativa com a precipitação pluvial no RS (GRUPPELLI, 2007). Barros et al. (2000) relacionaram aumento da TSM como mecanismo forçante para intensificar a ZCAS, causando efeitos na redução da precipitação pluvial no Nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil.

Diaz et al. (1998) mostraram a existência de relações significativas entre anomalias de precipitação sobre o Uruguai e o Estado do RS e a TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico. Esses autores destacaram a ligação entre as anomalias positivas de TSM no Sudoeste do Atlântico Sul e a precipitação acima do normal sobre toda a região nos períodos de outubro a dezembro e abril a junho. Contudo, quando as anomalias de ambos oceanos são consideradas simultaneamente, as associações com as anomalias são, em alguns casos, mais fortes e em outros, mais fracas.

Marques (2005) mostrou que, durante o período da primavera, a precipitação pluvial no RS apresenta maior relação com a TSM do Oceano Pacífico Equatorial,

mas, durante o verão, é a TSM do Atlântico Subtropical que apresenta maior relação com a precipitação pluvial no Estado.

A influência do Atlântico Sul Extratropical sobre o clima da América do Sul é ainda pouco conhecida. Coelho (2001) investigou a relação entre o Atlântico Sul Subtropical e a precipitação na América do Sul durante eventos extremos de ENOS e, encontrou uma correlação negativa entre as anomalias de TSM observadas no Sudoeste do Atlântico e as anomalias de precipitação sobre o Paraguai, Centro da Amazônia e Nordeste do Brasil, e correlação positiva sobre o Sul e Sudeste do Brasil.

No oceano Atlântico, as relações entre os padrões anômalos das TSM com o clima no Brasil têm sido objeto de muitas pesquisas, porém, a maioria relacionada à influência do Atlântico Tropical nas precipitações pluviais do Nordeste. Em relação à influência do Atlântico Sul no clima da região Sul do Brasil existem poucos estudos. No entanto, há indicações da influência de TSM do Atlântico Subtropical na variabilidade interanual das chuvas na região (STUDZINSKI, 1995).

2.4 Análise da variabilidade temporal: Transformada em Ondeleta (TO)

Existe uma grande quantidade de ferramentas disponíveis para a análise de séries temporais de variáveis, talvez a mais conhecida de todas elas seja a transformada de Fourier (TF), que separa o sinal em suas componentes (co-senos e senos) de diferentes frequências. Para muitos sinais, a TF é extremamente útil, pois o conteúdo de frequência é de extrema importância. Porém, a TF possui uma peculiaridade indesejável. Na transformação do sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência, perde-se totalmente a informação sobre a localização temporal (ou espacial). Quando se olha para a TF de um sinal, é impossível dizer onde um evento em particular está localizado, pois o que é obtido são apenas as frequências que compõem o sinal. Se um sinal não se altera no tempo, ou seja, se é um sinal estacionário, essa peculiaridade não tem importância alguma. Entretanto, a maioria dos sinais contém numerosas características não estacionárias ou transitórias, tais como tendências, mudanças abruptas e os eventos intermitentes. Essas características são geralmente as partes mais importantes de um sinal e a TF é incapaz de detectar tais detalhes (HARTER, 2004).

Gabor (1946) foi um dos primeiros a tentar modificar a TF para uma análise do sinal em tempo-escala. O resultado da técnica de Gabor foi denominada de TF com janela móvel. Porém, existia um grande inconveniente nessa técnica, que era possuir janela de comprimento fixo, ou seja, ela não consegue determinar variações de altas e baixas frequências simultaneamente. É uma desvantagem para análises de sinais cujas variações possuem ordens de grandeza muito variáveis como, por exemplo, o sinal meteorológico, pois os fenômenos mudam e apresentam diferenças em escalas de tempo e frequência e, muitas vezes, com ordens de grandezas diferentes para caracterizar um sinal meteorológico.

Morlet (1982) e Grossman e Morlet (1984) observaram o estudo feito por Gabor e o modificaram, introduzindo a Transformada em Ondeletas (TO). O método de ondeleta satisfaz o Princípio de Heisenberg, através das janelas flexíveis, que se adaptam conforme a frequência que ocorrem os fenômenos, ou seja, essas janelas adaptam-se em relação a fenômenos de baixa ou alta frequência (VITORINO, 2002).

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatações e translações de uma função simples $\psi(t)$ de variável real t , algumas vezes chamada de ondeleta-mãe. As funções derivadas da ondeleta-mãe são denominadas ondeletas filhas, ou simplesmente ondeletas (WENG; LAU, 1994). Tal função pode ser descrita matematicamente tomando-se uma escala e uma posição, onde o valor da escala tem que assumir valores maiores que zero.

Define-se, matematicamente, a função ondeleta, como sendo:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

onde, “a” é um parâmetro de escala e é positivo, “b” é o parâmetro de localização.

Mudando-se o valor de “a”, tem-se um efeito de dilatação ($a > 1$) ou de contração ($a < 1$), enquanto mudança no parâmetro “b” tem o efeito de analisar a função $f(t)$ em torno desse ponto (HARTER, 2004). A equação a seguir mostra função da TO em uma série continua:

$$(W_{\Psi} f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

onde $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo $\frac{1}{\sqrt{a}}$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta, “a” é a escala, “b” é a posição e “t” é a variável real.

Na literatura, existem muitas funções que são utilizadas para o cálculo e geração das ondeletas (DAUBECHIES, 1992; FOUFOULA-GEORGIU; KUMAR, 1994). Mas, a que foi utilizada neste estudo, foi a função de Morlet. Esta foi escolhida, pois segundo Weng e Lau (1994), é uma função complexa, que possui características semelhantes as dos sinais meteorológicos que se desejam analisar, tais como simetria ou assimetria, e apresenta uma variação temporal suave ou brusca, sendo adequada para detectar variações nas periodicidades de sinais interanuais e decadais de uma maneira contínua ao longo de escalas de tempo. A função de Morlet é descrita pela seguinte equação:

$$\Psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \cdot e^{i w_0 t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (3)$$

onde “ w_0 ” é a frequência adimensional de Morlet e “t” é o parâmetro adimensional no tempo.

A TO é uma técnica espectral efetivamente útil e eficiente na detecção objetiva da estrutura temporal das variações multi-escalas presentes em uma dada série finita de dados não-estacionário (LAU; WENG, 1995). Consiste, basicamente, em transformar uma série temporal unidimensional em outra série bidimensional no domínio tempo-frequência, permitindo, assim, o melhor entendimento de fenômenos que ocorrem em múltiplas escalas de tempo (VITORINO et al., 2006). A TO trata apenas da decomposição de uma determinada função, usando a técnica das ondeletas. Tal decomposição pode ser feita discretamente ou continuamente. Para a análise de um sinal geofísico, se utiliza a decomposição contínua. Ao decompor uma série temporal no domínio de tempo-frequência, é possível determinar os modos de variabilidade dominantes e como esses modos variam no tempo (TORRENCE;

COMPO, 1998). Assim sendo, a TO pode ser utilizada nas mais diversas áreas da Meteorologia (SOUZA, 2003).

DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados de TSM para ambos os oceanos, Atlântico e Pacífico, disponíveis no site do Earth System Research Laboratory (ESRL), pertencente à Physical Science Division (PSD) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), espaçados em uma grade de $2,0^\circ \times 2,0^\circ$. Os dados de TSM foram utilizados para o período de 1900 a 2009, pois, como foi aplicado o método da TO, foi necessária uma longa série de dados para poder ser detectado as escalas de tempo decadais.

Além dos dados de TSM, foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial. Utilizou-se, como critério para a escolha das estações, a disponibilidade e a uniformidade de dados com séries temporais longas, no período correspondente de 1948 a 2009. Com isso, foram selecionadas 26 estações (Tab. 1), distribuídas no Estado do RS, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (8º Distrito de Meteorologia - Porto Alegre) e Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT). Esses dados são consistentes e as falhas foram preenchidas utilizando técnicas estatísticas (DINIZ et al., 2002).

Tabela 1: Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, suas coordenadas geográficas e instituições a quem pertencem.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Fonte
Bagé	31°21'	54°06'	215	8° DISME
Bom Jesus	28°40'	50°26'	1047	8° DISME
Cachoeira do Sul	30°02'	52°53'	72	8° DISME
Caxias do Sul	29°10'	51°12'	785	8° DISME
Cruz Alta	28°38'	53°36'	472	8° DISME
Encruzilhada do Sul	30°32'	52°31'	427	8° DISME
Ijuí	28°23'	53°54'	448	FEPAGRO
Iraí	27°11'	53°14'	222	8° DISME
Júlio Castilhos	29°13'	53°40'	516	FEPAGRO
Lagoa Vermelha	28°25'	51°35'	836	8° DISME
Passo Fundo	28°15'	52°24'	676	8° DISME
Pelotas	31°52'	52°21'	13	8° DISME
Porto Alegre	30°01'	51°13'	46	8° DISME
Rio Grande	32°01'	52°05'	5	8° DISME
Santa Maria	29°42'	53°42'	95	8° DISME
Santa Rosa	27°51'	54°25'	360	8° DISME
Santa Vitória	33°31'	53°21'	6	8° DISME
Santana do Livramento	30°53'	55°32'	210	8° DISME
São Borja	28°39'	56°00'	96	FEPAGRO
São Gabriel	30°20'	54°19'	124	8° DISME
São Luiz	28°23'	54°58'	254	8° DISME
Taquari	29°48'	51°49'	76	8° DISME
Torres	29°20'	49°43'	43	8° DISME
Uruguaiana	29°45'	57°05'	74	8° DISME
Vacaria	28°33'	50°42'	960	8° DISME
Veranópolis	28°56'	51°33'	705	FEPAGRO

Conforme pode ser visto na Fig.. 7, as estações meteorológicas, utilizadas no trabalho, estão bem distribuídas no Estado do RS.

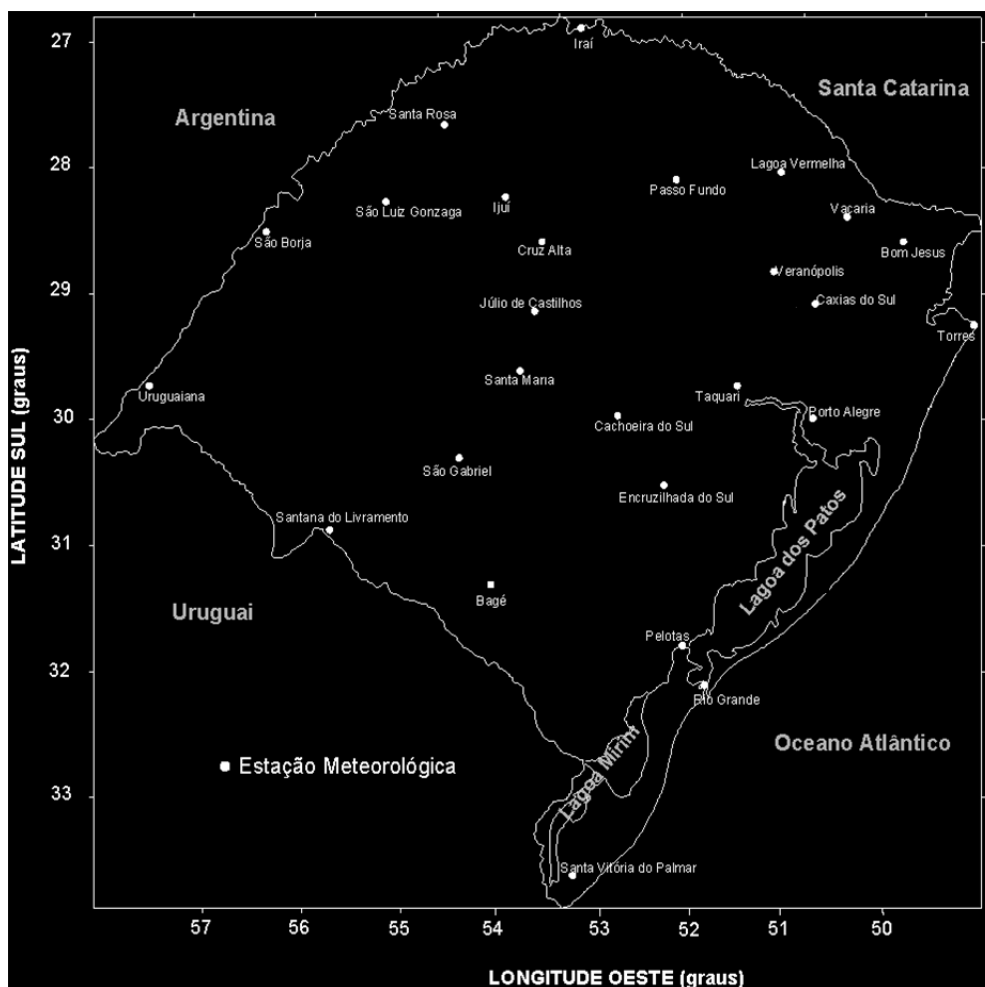


Figura 7: Distribuição espacial das estações meteorológicas do Estado do RS utilizadas no trabalho.

3.2 Metodologia

3.2.1 Índices de variabilidade climática

Índices mensais de TSM foram determinados para representar as variações de TSM no Atlântico Tropical e Sul e Pacífico Tropical. Na Fig.. 8 mostram-se as regiões obtidas para os cálculos dos índices, para: Atlântico Tropical (5°S-5°N; 5°W-35°W), Atlântico Sul (20°S-30°S; 20°W-40°W). No caso do Pacífico, o índice de TSM é definido para a região do Niño 3.4, limitada em 5°S-5°N; 170°W-120°W que descreve as variações de TSM associadas ao ENOS.

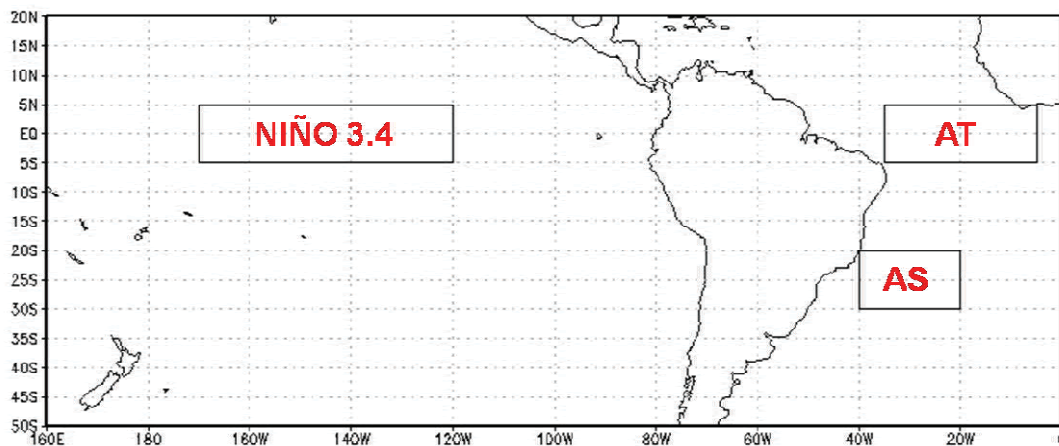


Figura 8: Domínio espacial dos dados utilizados, indicando às regiões utilizadas das series temporais de TSM para o cálculo dos índices.

3.2.1.1 Determinação dos índices

Os índices foram elaborados para o período de 1900 a 2009, calculando a média e desvio-padrão das séries de TSM de cada região. Esses desvios foram padronizados e constituíram séries temporais dos índices, ou seja, para determinar os índices foi utilizada a formula:

$$IP = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (4)$$

onde: IP = índice padronizado, x_{ij} = o valor encontrado para determinado ano(i) e mês(j), $\bar{x}_j$ = o valor médio para um dado mês(j) e S_j = desvio-padrão para um dado mês (j).

Utilizando este método foram calculados os seguintes índices:

- Índice do Pacífico Tropical (IPT): 5°S-5°N; 170°W-120°W
- Índice do Atlântico Tropical (IAT): 5°S-5°N; 5°W-35°W
- Índice do Atlântico Sul (IAS): 20°S-30°S; 20°W-40°W
- Também foi determinada a diferença entre os índices do Atlântico Sul (IAS) e Atlântico Tropical (IAT), denominada de IAST: (20°S-30°S; 20°W-40°W) – (5°S-5°N; 5°W-35°W).

3.2.2 Análise da Transformada em Ondeleta (TO)

No presente trabalho, utilizou-se a TO com o objetivo de identificar a existência da variabilidade interanual e decadal, e detectar os períodos mais significativos de 1900 a 2009, nas séries temporais dos índices climáticos obtidos das TSMs dos Oceanos Atlântico e Pacífico. A formulação matemática e o teste de significância empregados no presente trabalho seguem basicamente a metodologia proposta por Torrence e Compo (1998).

A TO contínua, aplicada a uma série, pode ser apresentada em um mapa ondeleta, que é um gráfico em código de cores ou escala de cinza dos coeficientes ondeleta computados sobre o intervalo de tempo e escala. O mapa ondeleta descreve a relação temporal existente em vários eventos de diferentes tamanhos e quantifica sua magnitude. O eixo temporal é como uma série de dados, e constitui a abscissa do gráfico. A ordenada corresponde à escala, no caso de uma série temporal aos períodos, geralmente, logarítmica. Curtas durações ou altas frequências são plotadas no topo do mapa e longas durações ou baixas frequências na base do mapa. Os coeficientes ondeleta são linhas de contorno em código de cores.

Os periodogramas do espectro global e da energia das ondeletas servem para mostrar os períodos, em que as concentrações de energia foram maiores. Essa técnica estatística visa conhecer as relações existentes entre as componentes a escala de frequência e a escala de tempo do sinal geofísico.

3.2.3 Correlação e Teste de Significância

Para estabelecer a relação mensal entre a precipitação pluvial e as anomalias de TSM, os dados de precipitação foram padronizados. Então, foram realizadas correlações entre a precipitação padronizada das 26 estações meteorológicas do RS e os índices climáticos obtidos das TSMs dos Oceanos Atlântico e Pacífico. Posteriormente, foi escolhido o mês central de cada estação do ano (fev-maio-ago-nov) e realizada a correlação desses meses com os índices adiantados de 0 a 3 meses. Essas correlações são elaboradas para se determinar o caráter predictivo do índice em questão, e estimar a evolução dessa variável no domínio espaço-temporal.

Para o cálculo das correlações foi utilizado o método de correlação de Pearson, conhecido como correlação ordinária ou correlação linear, que é uma ferramenta simples e eficiente para estimar o grau de relacionamento entre variáveis quaisquer. Os valores da correlação estão limitados entre -1 e 1. O valor positivo da correlação indica que, se a variável independente cresce, o valor da dependente também cresce e, ao maior grau de associação, é atribuído o valor 1. Se o coeficiente for negativo, ocorre o contrário, ou seja, se o valor da variável independente cresce, o valor da dependente decresce, e ao maior grau de associação contrária, é atribuído o valor -1.

O significado não está dado na sua magnitude somente, mas também depende do número de pares de valores a partir do qual tem sido obtido. Se o número de pares é pequeno, o coeficiente de correlação entre as duas variáveis está sujeito a erros e, nesse caso, os coeficientes numericamente grandes podem não ser significativos.

A correlação apenas dá uma noção do grau de relacionamento das variáveis, porém não implica uma relação de causa-efeito. Para ajudar na interpretação, foi utilizado um teste de hipótese para qualificar os valores das correlações e determinar a significância estatística dos resultados obtidos, isto é, o nível de significância dos coeficientes de correlação. Essa técnica determina o quão significativo são os resultados.

O grau de significância do coeficiente de correlação foi determinado através do teste “t” Student e foi comparado com o valor crítico de t com $(n - 2)$ graus de liberdade. Para um determinado coeficiente de correlação ser significativo, o valor do t calculado deve ser maior que o valor de t crítico em um determinado nível. Na análise da significância dos coeficientes de correlação de cada um dos índices, foram considerados dois níveis 5% e 1%. Esses níveis indicam que a equação de regressão linear simples pode ser usada com probabilidade de confiabilidade superior a 95% e 99%, respectivamente.

O teste de significância t-Student é calculado da seguinte forma (WILLES,1995):

$$t = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (5)$$

onde r representa o coeficiente de correlação e $n-2$ é o número de graus de liberdade.

Se o valor calculado for maior que o valor tabelado (Anexo 1), para $N = n - 2$ e $p = 0,05$ a significância vai ser 95%; para $N = n - 2$ e $p = 0,01$ a significância vai ser 99%.

A distribuição t-Student possui um único fator (graus de liberdade) que define a forma da distribuição. Quanto maior for esse fator, mais parecida será à distribuição normal.

As correlações foram calculadas para o período de 1948 a 2009, então $N = 62$, como está sendo admitida significância de 95% e 99%, o valor de significância tabelado é de 2,00 e 2,66, respectivamente. Portanto, todos os valores calculados por t-Student maiores que 2,00 possuem correlações lineares significativas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise da variabilidade temporal dos índices através da Transformada em Ondeleita (TO)

4.1.1 Índice do Pacífico Tropical (IPT)

Na Fig.. 9 mostraram-se os resultados da análise das ondeletas para o Índice do Pacífico Tropical (IPT), disposto em regime mensal, durante o período de janeiro de 1900 a dezembro de 2009. O espectro de potência de ondeletas (EPO) está representado na Fig.. 9a, onde o período (escala logarítmica), dado em anos, está no eixo vertical, indicando os respectivos períodos em que o EPO ocorre e, no eixo horizontal, é mostrado o comprimento temporal da série (1900-2009). As escalas de cores do gráfico representam o módulo da amplitude do sinal em cada escala de frequência, ou seja, representam a energia associada a cada frequência existente no sistema.

As periodicidades estaticamente significativas com 95% de confiança são delimitadas por linhas de contornos contínuos pretos. A linha preta tracejada no periodograma representa o cone de influência, no qual a região externa dessa curva representa os efeitos de bordas da série temporal. Assim, somente a região dentro do cone de influência deve ser considerada. A análise do Espectro de Potência Global (EPG), que excede o nível de significância (Fig. 9b), também é importante para verificar a contribuição média dos picos espectrais considerando todo o domínio temporal do índice (TORRENCE e COMPO, 1998). Na Fig.. 9b, tudo que estiver à direita da curva preta tracejada faz relação com o EPG, indicando significância.

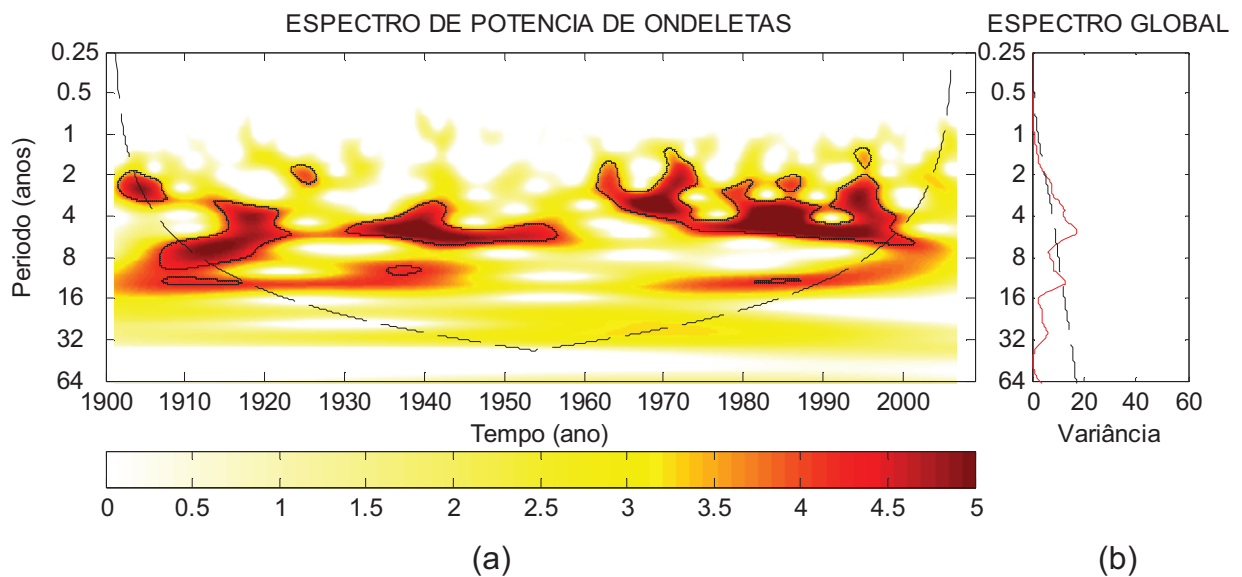


Figura 9: Espectro das ondeletas para o IPT, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).

Como era esperado, foi visto na Fig.. 9a, no EPO do índice do IPT, núcleos significativos de alta energia na escala interanual (2 a 8 anos). Tais núcleos estão associados com a variabilidade dos eventos ENOS. Também, foram observados núcleos significativos no período de 8 a 16 anos, que pode está associado ao ciclo de manchas solares.

Na Fig.. 9b, no EPG do IPT, foi observado que os picos dos períodos de 8 a 16 anos tocaram a linha de significância, e os picos de variância dos períodos de 2 a 8 anos passaram da linha de significância, mostrando que a variabilidade interanual é forte.

O Espectro das ondeletas aplicado na série temporal do IPT mostra uma configuração semelhante ao estudo feito por Santos (2009), onde aplicou a série temporal do IOS na TO, e observou em praticamente toda a série temporal do IOS sinal interanual persistente, mostrando picos dominantes nas escalas de 2 a 8 anos e 10-16 anos. Os picos interanuais estão associados aos episódios ENOS, que em geral tem uma frequência de 2 a 7 anos.

4.1.2 Índice do Atlântico Sul (IAS)

Na Fig.. 10 mostraram-se os resultados da análise das ondeletas para o Índice do Atlântico Sul (IAS), no período de 1900 a 2009. No gráfico do EPO (Fig. 10a), foram observados picos na escala interanual. Os picos espectrais significativos estão nas escalas de 2 a 4 anos entre 1953 a 1967 e de 4 a 8 anos entre 1909 a 1918.

O EPG (Fig. 10b) mostrou variância nas escalas de 2 a 4 anos e 14 a 20 anos, tocando a linha de significância, e de 32 a 64 anos, passando da linha de significância. O pico entre 14 a 20 anos é estatisticamente não significativo, pois, como pode ser observada no EPO (Fig. 10a), a periodicidade relativa a esse pico não está delimitada pela linha de contorno preta, que indica significância com 95% de confiança. Observou-se, ainda, na Fig.. 10b, que, no intervalo de 32 a 64 anos, o EPG apresentou uma grande variância que ultrapassou a linha de significância, indicando uma variabilidade de aproximadamente meio século. Contudo, os referidos picos interdecadais encontram-se fora do cone de influência, que é a linha preta tracejada no periodograma (Fig. 10a), no qual somente a região dentro do cone de influência deve ser analisada. A região externa dessa curva representa os efeitos de bordas da série temporal, ou seja, como a série foi curta, cerca de 100 anos, para uma análise da variabilidade interdecadal, tal resultado não deve ser considerado.

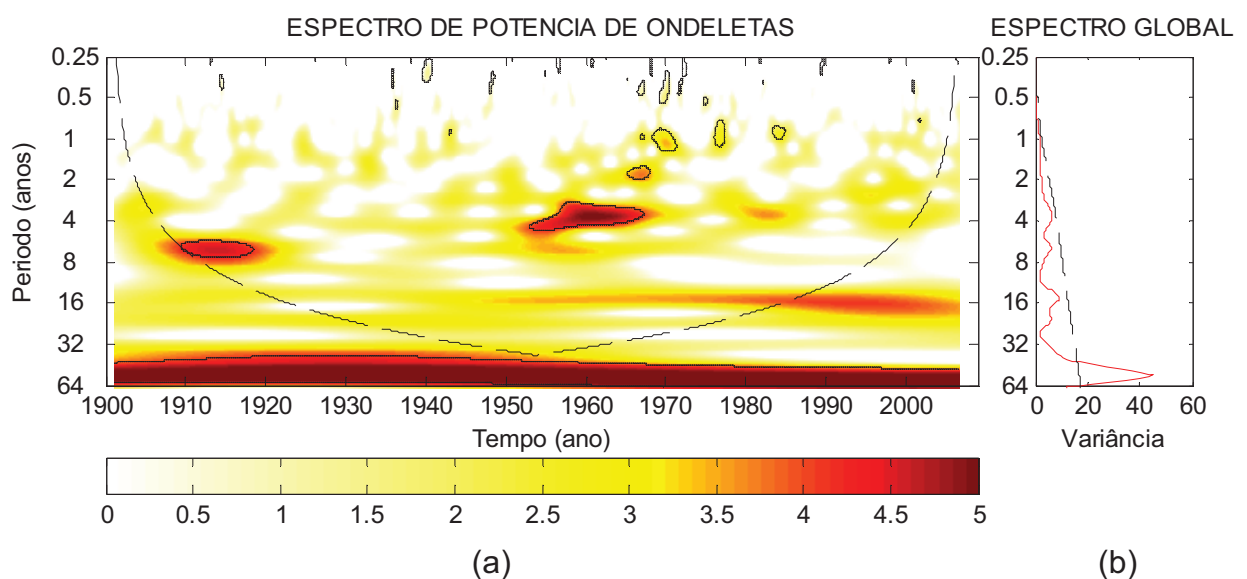


Figura 10: Espectro das ondeletas para o IAS, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).

4.1.3 Índice do Atlântico Tropical (IAT)

Na Fig. 11 mostraram-se os resultados da análise das ondeletas para o Índice do Atlântico Tropical (IAT), no período de 1900 a 2009. Observa-se, no gráfico do EPO (Fig. 11a) que, ao longo da série temporal do IAT, ocorreram picos significativos que apresentaram uma alta energia nos intervalos de 2 a 4 anos entre os anos de 1961 a 1968, de 4 a 8 anos em torno de 1965 a 1975, e de 8 a 16 anos entre os anos de 1902 a 1950 e de 1954 a 1970.

No EPG (Fig. 11b), foi observado picos dominantes em torno de 2 anos, com uma grande variância, pois tocou a linha de significância, e uma variabilidade maior, passando da linha de significância, na escala de 10 a 12 anos, que pode está associado as manchas solares. Observou-se, ainda, um caso semelhante do IAS, onde foi encontrada uma grande variância no intervalo de 32 a 64 anos. Porém, para análises da variabilidade interdecadal, a série utilizada foi curta, por isso, tal resultado não deve ser considerado.

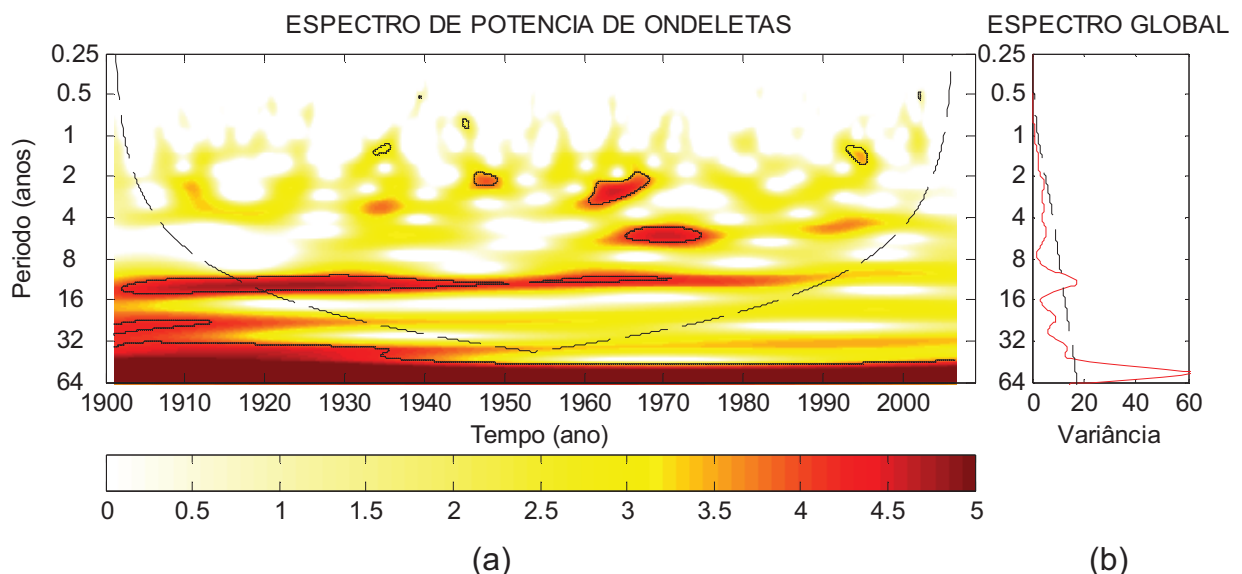


Figura 11: Espectro das ondeletas para o IAT, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).

4.1.4 Diferença entre os índices do Atlântico Sul e Tropical (IAST)

Na Fig.. 12 mostraram-se os resultados da análise das ondeletas para a diferença entre os índices IAS e IAT, denominado de IAST. O EPO do IAST (Fig. 12a) mostra semelhança com o EPO do IAS (Fig. 10a), onde também apresentou picos espectrais significativos, de 2 a 4 anos entre 1953 a 1967 e de 4 a 8 anos entre 1911 a 1916, sendo que, para o IAS, o período de 4 a 8 anos mostrou pico significativo de 1909 a 1918. Como o IAS e IAT apresentaram grande variância no intervalo de 32 a 64 anos, o IAST não mostrou variância nessa escala, já que o IAST foi determinado pela diferença entre os índices IAS e IAT.

No EPG (Fig. 12b), foi encontrada variância nas escalas de 2 a 4 anos e 8 a 16 anos, tocando a linha de significância. Porém o pico entre 8 a 16 anos é estatisticamente não significativo, já que a periodicidade relativa a esse pico não está delimitada pela linha de contorno preta (Fig. 12a), que indica significância com 95% de confiança.

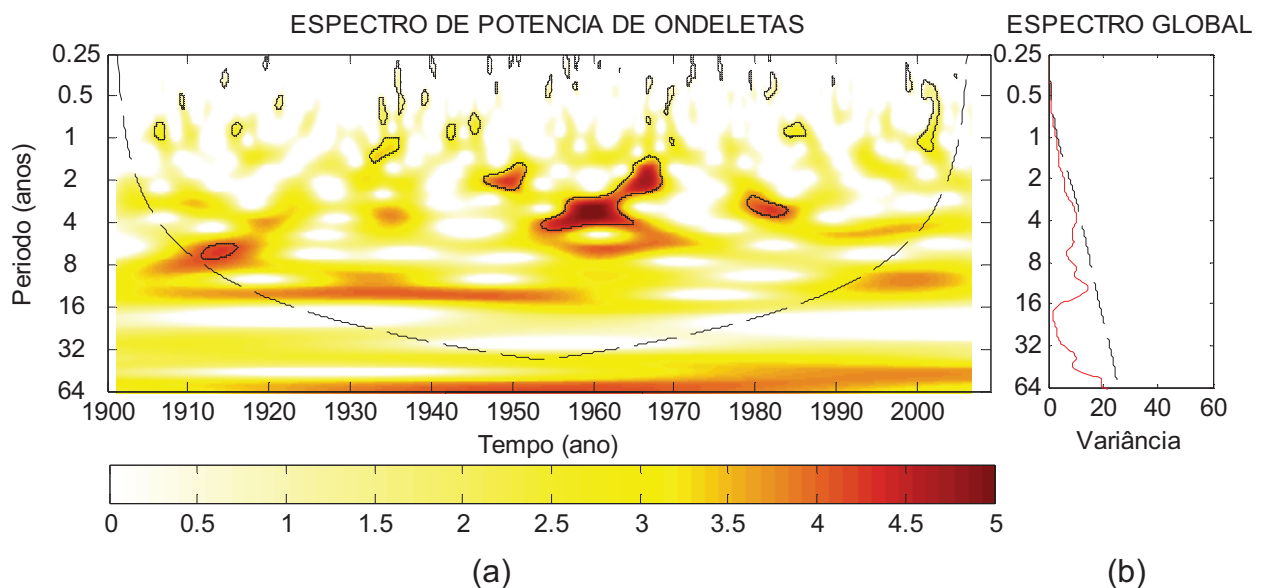


Figura 12: Espectro das ondeletas para o IAST, em (a) Valores do Espectro de Potência de Ondeletas (EPO) e (b) Espectro de Potência Global (EPG).

4.2 Análise das séries temporais dos Índices

Nas Fig.. 13, 14, 15 e 16 mostraram-se em gráficos de barra as séries temporais do IPT, IAS, IAT e IAST, respectivamente. Todos os índices estão dispostos em regime mensal e cobrem o período de janeiro de 1900 a dezembro de 2009, com uma média móvel de 11 meses, para filtrar o ciclo anual e com duas linhas de tendência, uma linear e outra polinomial com 6 termos. Desses índices os que apresentaram maior tendência linear foram IAS (Fig. 14) e IAT (Fig. 15), com tendência positiva durante todo o período. Já, os índices IPT (Fig. 13) e IAST (Fig. 16) apresentaram tendências lineares quase nulas.

A série temporal do IPT (Fig. 13) apresentou grande similaridade com a série temporal do IME (Fig. 4), no qual os números positivos (negativos) mostraram as intensidades dos El Niños (La Niñas), podendo ser confirmado no histórico dos fenômenos El Niño e La Niña no Anexo 2.

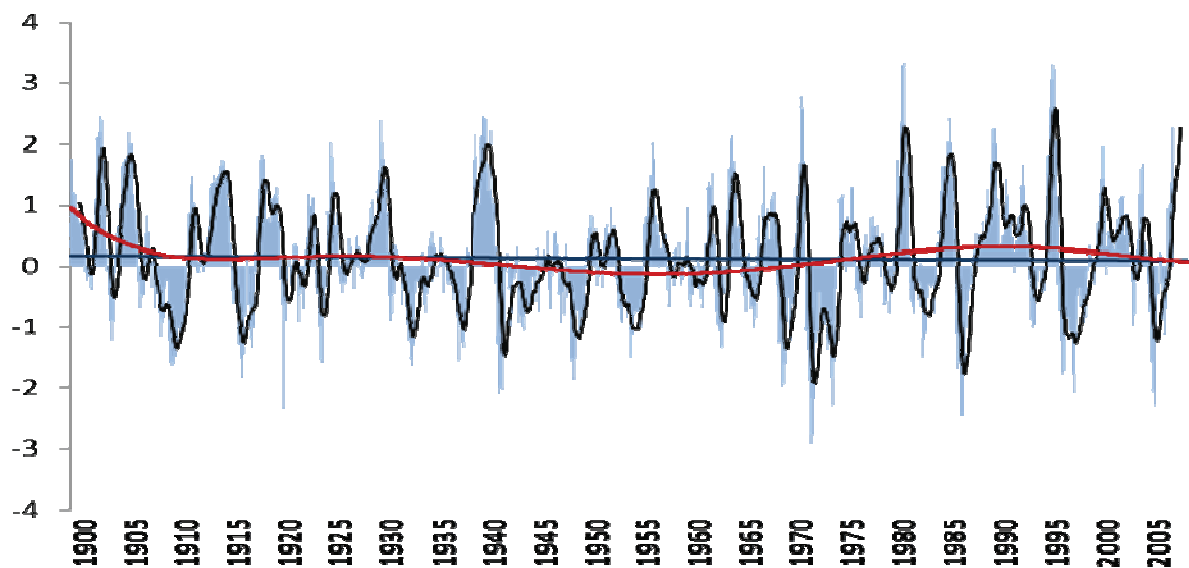


Figura 13: IPT mensal para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).

Oliveira (2010) determinou um Índice de Oscilação Interdecadal do Oceano Atlântico Sul, para o período de 1900 a 2008, utilizando uma área do Atlântico Sul entre 23°S-28°S e 27°W-32°W, ou seja, uma área dentro da região utilizada para o cálculo do IAS (20°S-30°S; 20°W-40°W). Segundo o autor, a área foi escolhida por ser uma área de grande variabilidade de TSM, isto é, uma região em que o

transporte de calor sensível apresentou grande variabilidade interanual, possivelmente devido à variabilidade do campo de ventos. Cardoso (2009), também determinou um índice do Atlântico Sul, para o período de 1900 a 2008, no domínio de $27,5^{\circ}\text{S}$ - $32,5^{\circ}\text{S}$ e 25°W - 30°W , e o estudo realizado por ele mostrou similaridade entre o índice do Atlântico Sul e a série temporal da ODP (Fig. 6), apresentando, no geral, maior frequência de valores negativos (positivos) durante a fase fria (quente) da ODP. Entretanto, mostraram períodos distintos para algumas mudanças de fase. A similaridade entre esses índices, também foi observado no estudo de Oliveira (2010), onde também foram encontrados períodos distintos para algumas mudanças de fase. As fases quentes da ODP são de 1925-1946 e 1977-1998, e, para o índice do Atlântico Sul, as fases quentes foram nos períodos 1924-1942 e 1970-1998. Para a fase fria, o período é de 1947-1976 para ODP e para o índice do Atlântico Sul de 1943-1969, sugerindo que o Atlântico Sul mudou antes do Pacífico.

Para o IAS (Fig. 14), as mudanças de fase foram praticamente as mesmas encontradas no índice do Atlântico Sul determinado por Oliveira (2010), apresentando maior frequência de valores negativos entre 1900 a 1926 e 1943 a 1969, e maior frequência de valores positivos entre 1927 a 1942 e 1970 a 2007. Os períodos de 1927 a 1942 e 1943 a 1969, mesmo apresentando maior frequência de valores positivos e negativos, respectivamente, foi observado nesses períodos uma forte variância, com forte variabilidade interanual.

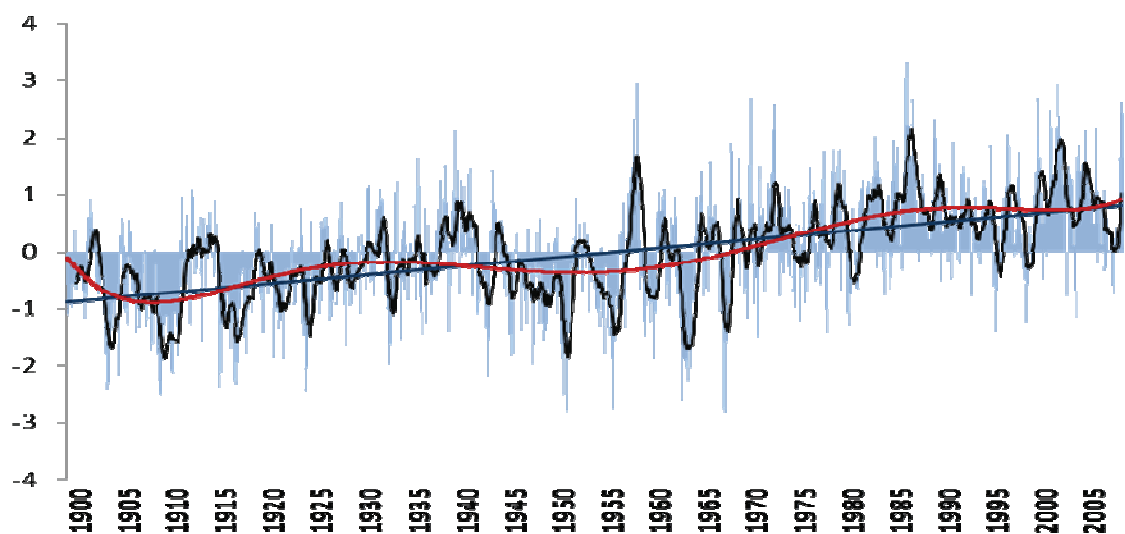


Figura 14: IAS mensal para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).

Na Fig.. 15 mostram-se a série temporal do IAT, onde foi observada maior frequência de valores negativos entre 1900 a 1921, maior frequência de valores positivos entre 1973 a 2009 e, entre 1922 a 1972, ocorreu uma forte variabilidade interanual.

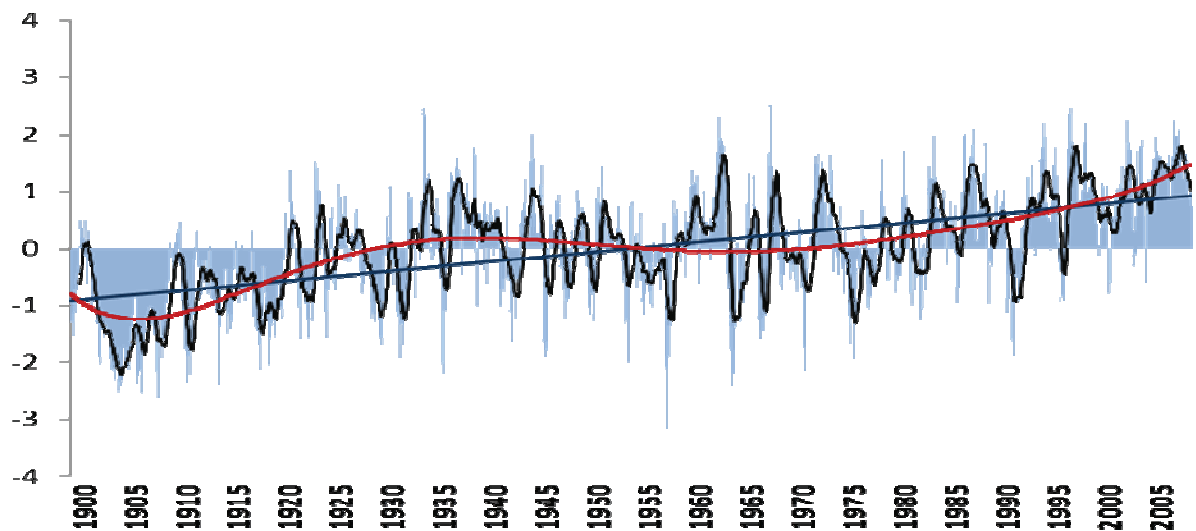


Figura 15: IAT mensal para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).

Na Fig.. 16 mostram-se a diferença entre os índices IAS e IAT, apresentando variabilidade interanual. Os índices IAS e IAT mostraram tendências positivas, com uma pequena diferença entre eles, a tendência um pouco maior para o índice IAT. Com isso, a tendência do IAST foi quase nula, com uma pequena tendência negativa.

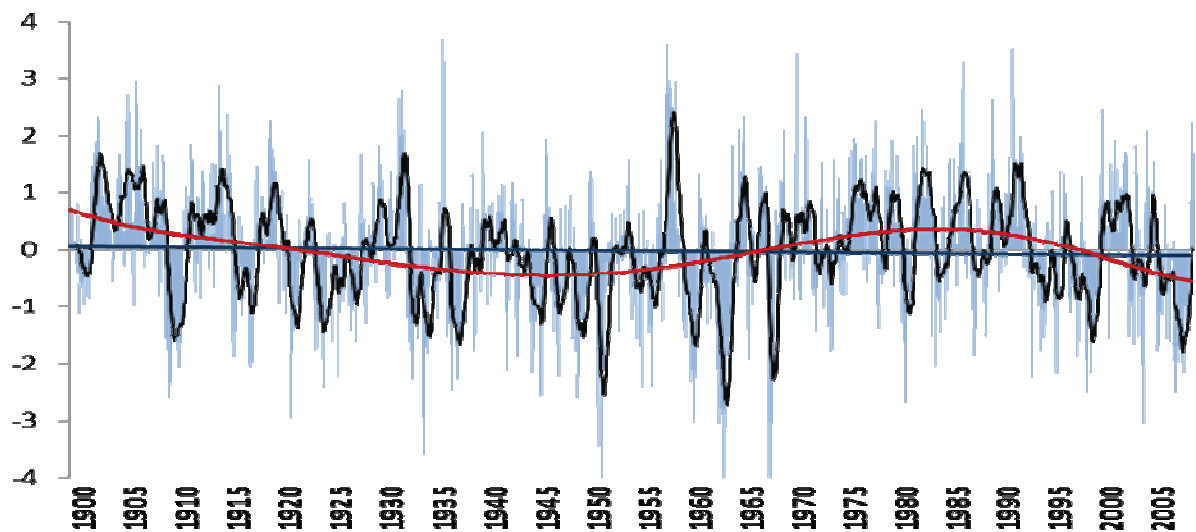


Figura 16: IAST mensal para o período de 1900 a 2009, com a média móvel de 11 meses (linha preta) e duas linhas de tendência, uma linear (linha azul) e outra polinomial com 6 termos (linha vermelha).

Oliveira (2010) citou a questão do tempo de resposta da influência do Oceano Pacífico sobre o Atlântico, ou vice-versa, sugerindo através do índice do Atlântico Sul, que as TSM do Atlântico mudem alguns anos (2 a 6 anos) antes das TSM do Pacífico. Uma possível explicação para isso seria que quando os Alísios se intensificam (enfraquecem) nos períodos próximos ao estabelecimento de uma fase fria (quente) da ODP, as correntes marinhas, geradas pelo estresse do vento, se modificam mais rapidamente no Atlântico por ser uma bacia de dimensões menores que as do Pacífico.

Analisando o IAS (Fig. 14) e IAT (Fig. 15) junto com a ODP (Fig. 6), também foi possível afirmar que as TSM do Atlântico mudem alguns anos antes das TSM do Pacífico, mostrando uma diferença de resposta entre os oceanos em torno de 2 a 7 anos.

4.3 Relação entre a precipitação pluviométrica do Rio Grande do Sul e os índices: IPT, IAS, IAT e IAST

Para obter a relação entre o total mensal da precipitação do Estado do RS e os índices IPT, IAS, IAT e IAST, foram calculados coeficientes de correlações. Utilizando-se o Teste “t” de Student, verificou-se que, para a dimensão das séries utilizadas, coeficientes de correlações $(r) \geq 0,26$ são significativos a 5% e coeficientes de correlações $(r) \geq 0,35$ são significativos a 1%.

As Fig.. 17 e 18, mostram a distribuição espacial dos coeficientes de correlações da precipitação com o índice IPT. Na Fig.. 17 estão os meses de janeiro a junho e na Fig.. 18 os meses de julho a dezembro. Notou-se uma predominância de correlações positivas, porém foram observados coeficientes negativos em muitas regiões em alguns meses, como em janeiro (Fig. 17a), março (Fig. 17c) e setembro (Fig. 18c), mas, dessas correlações negativas, somente em março na região de Ijuí foi encontrado significância, ou seja, as correlações inversas nas outras regiões e nos outros meses não foram significativas.

Nos meses de fevereiro (Fig. 17b), abril (Fig. 17d), maio (Fig. 17e), agosto (Fig. 18b), outubro (Fig. 18d), novembro (Fig. 18e) e dezembro (Fig. 18f), foram observados em algumas regiões valores de correlações positivos significativos a pelo menos 5%. Em fevereiro, como pode ser observado na Fig.. 17b, as regiões que não mostraram significância nos coeficientes de correlações foram o norte e litoral do Estado, em abril (Fig. 17d) a região que mostrou coeficientes significativos foi o sudeste, e em outubro (Fig. 18d) foi encontrado valores de correlações significativos no centro e leste do Estado. Novembro foi o mês que mostrou os maiores coeficientes de correlações, ou seja, a precipitação no RS parece ter um grau maior de associação em novembro, apresentando em quase todas as regiões valores significativos a pelo menos 1%. Também foram encontradas regiões com coeficientes significativos a pelo menos 1% em outros meses, como em fevereiro, outubro e dezembro.

A correlação positiva indica uma relação direta, ou seja, as anomalias de precipitação foram positivas (negativas) quando os valores do IPT foram positivos (negativos). Como os valores do IPT são da região do Niño 3.4, então os valores positivos e negativos do IPT são, em geral, indicadores da ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, confirmando, em princípio, que choveu mais (menos) em anos de El Niño (La Niña) nessas regiões. Porém, segundo Siqueira et al. (2006), essa afirmação não pode ser generalizada, pois vai depender da fase em que a ODP se encontra. Na fase fria da ODP, os eventos La Niña são em maior número, sendo mais intensos e longos e, durante a fase quente da ODP foram menos intensos e curtos. Já os eventos de El Niño foram em menor número, como também, foram mais curtos e com menor intensidade durante a fase fria da ODP, enquanto na fase quente são em maior número, mais intensos e longos.

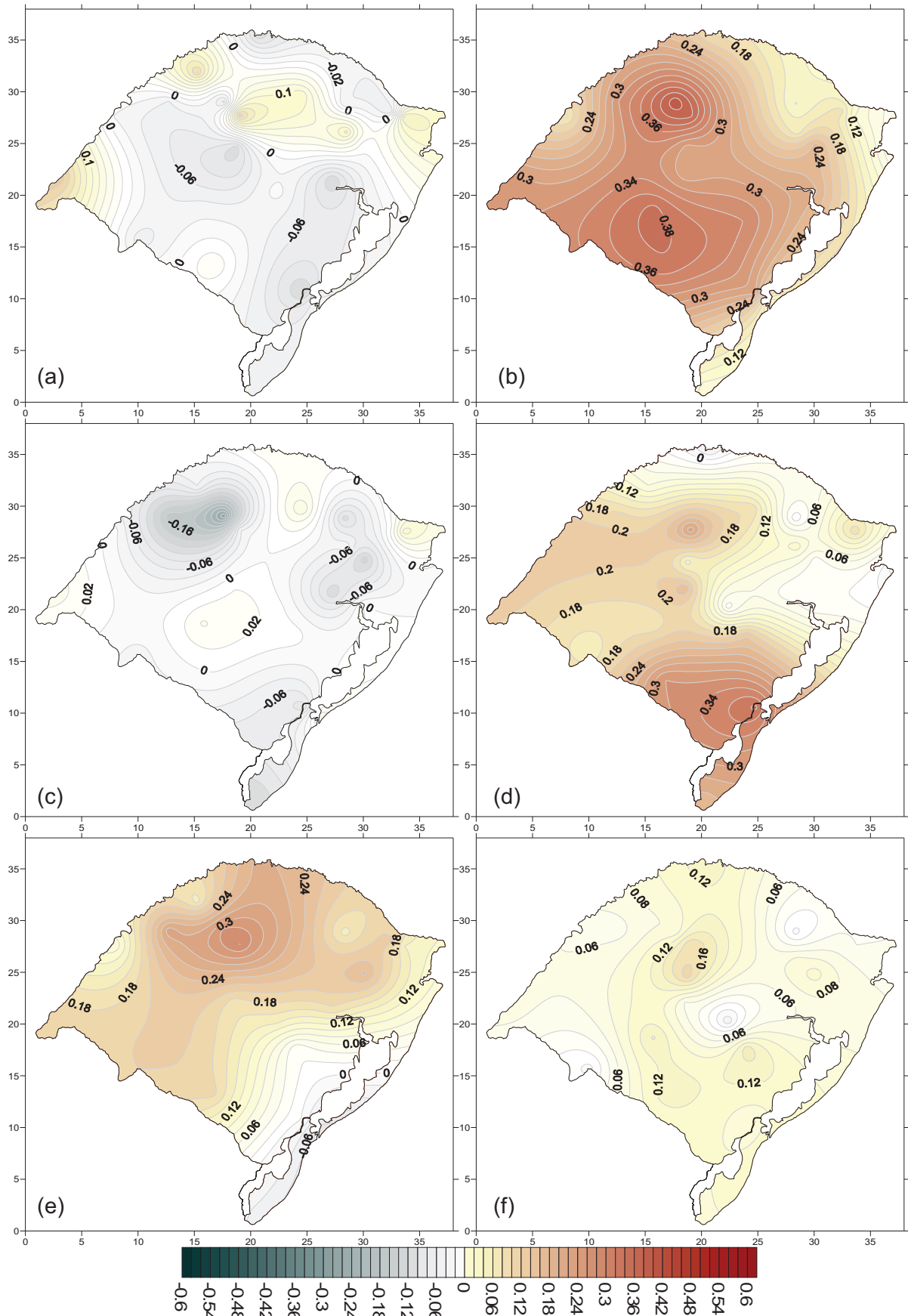


Figura 17: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.

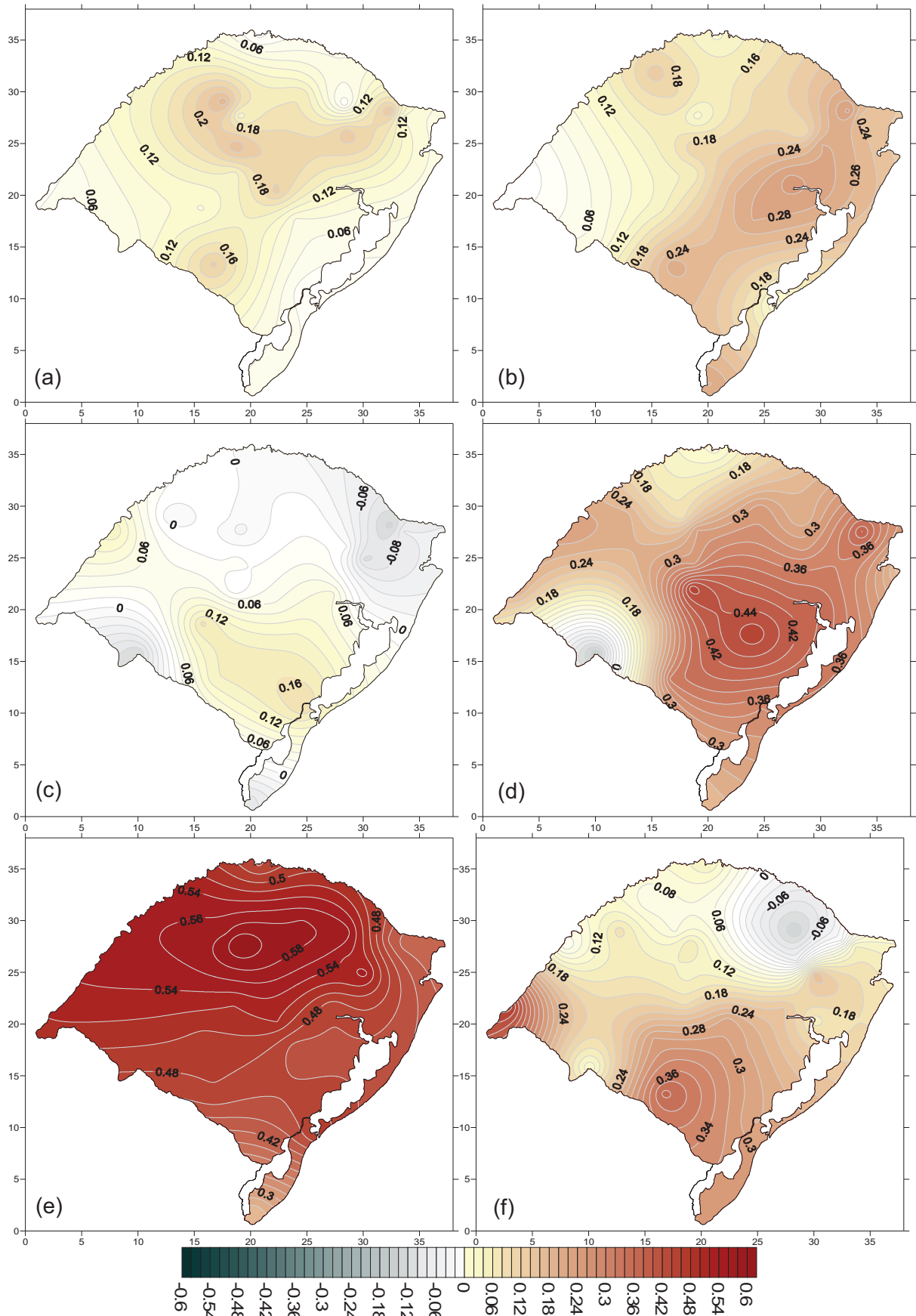


Figura 18: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.

Os resultados encontrados nas Fig.. 17 e 18 estão coerentes com os estudos realizados por alguns pesquisadores como Rao e Hada (1900) e Lopes (2006). Lopes (2006) estudou a relação entre a média bimestral da TSM da região do Niño 3.4 e os totais médios bimestrais da precipitação pluvial dos doze bimestres do ano para 6 regiões homogêneas do Estado do RS e, em todas as regiões homogêneas, ele verificou coeficientes de correlações com valores maiores nos bimestres out-nov e nov-dez, significativos a pelo menos 1%. Rao e Hada (1990) mostraram, em seus resultados, que a chuva no RS é significativamente correlacionada com o IOS e que a correlação mais alta encontrada foi na primavera.

Até o momento, foram relacionados os índices mensais com a precipitação do RS nos mesmos meses, ou seja, foram realizadas análises simultâneas, precipitação pluvial de janeiro com o índice de janeiro e, assim sucessivamente para os outros meses. Essas análises simultâneas são válidas para identificar áreas na região as quais apresentam maior relação com o índice, mas não indicam uma previsibilidade da precipitação pluvial nesses meses.

Por esse motivo, passou-se a analisar os índices adiantados, isto é, precedendo a precipitação, pois um aspecto em que ainda não existe consenso é o tempo de atraso, ou lag, na resposta que a precipitação apresentaria, uma vez que ocorressem mudanças de TSM no Pacífico e/ou Atlântico. Para tanto, foram feitas correlações espaciais entre os índices determinados (IPT, IAS, IAT e IAST) e a precipitação do RS, utilizando os índices adiantados de até 3 meses. Essas correlações foram realizadas para o mês central de cada estação do ano (fev-maio-ago-nov).

Na Fig.. 19 mostraram-se as correlações com lag 1, na qual pode-se observar que os meses de fevereiro (Fig. 19a) e novembro (Fig. 19d) apresentaram correlações com intensidade semelhante ao encontrado nas correlações com lag 0, nos seus respectivos meses (Fig. 17b e Fig. 18e). Em maio (Fig. 19b), foram encontrados em algumas regiões, valores de correlações maiores, como pode ser observado comparando as Fig. 17e e 19b. , em agosto (Fig. 19c), as correlações foram menores, e a intensidade dos coeficientes de correlações foram semelhantes para as correlações dos lags 2 (Fig. 20c) e 3 (Fig. 21c).

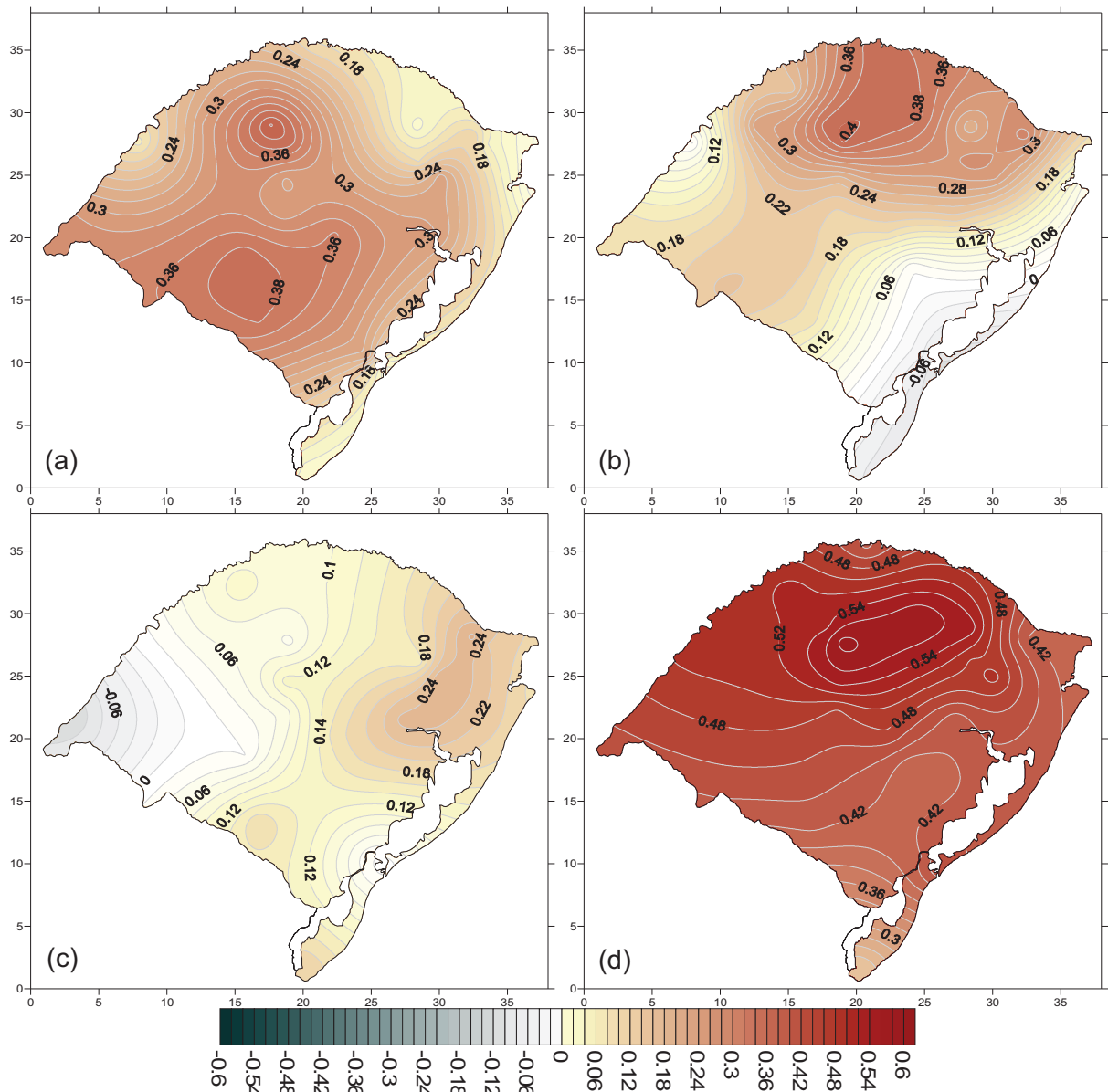


Figura 19: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.

As correlações com lag 2, foram representadas na Fig.. 20, na qual pode-se observar que em fevereiro (Fig. 20a) não foi encontrado nenhuma correlação significativa, pois todos os coeficientes de correlações significativos encontrados em fevereiro nas correlações com lag 0 (Fig. 17b), só persistiram nas correlações até o lag 1 (Fig. 19a).

O mês de maio mostrou, com lag 1 (Fig. 19b), aumento das correlações no norte do Estado em algumas regiões, porém, com lag 2 (Fig. 20b) ocorreu uma diminuição dos valores de correlação na maioria das regiões. No entanto, algumas ainda apresentaram regiões com coeficientes significativos.

As correlações com lag 2, em novembro (Fig. 20d), continuaram com a mesma intensidade das correlações encontradas com lag 0 (Fig. 18e) e lag 1 (Fig. 19d), mostrando em quase todas as regiões valores significativos a pelo menos 1%.

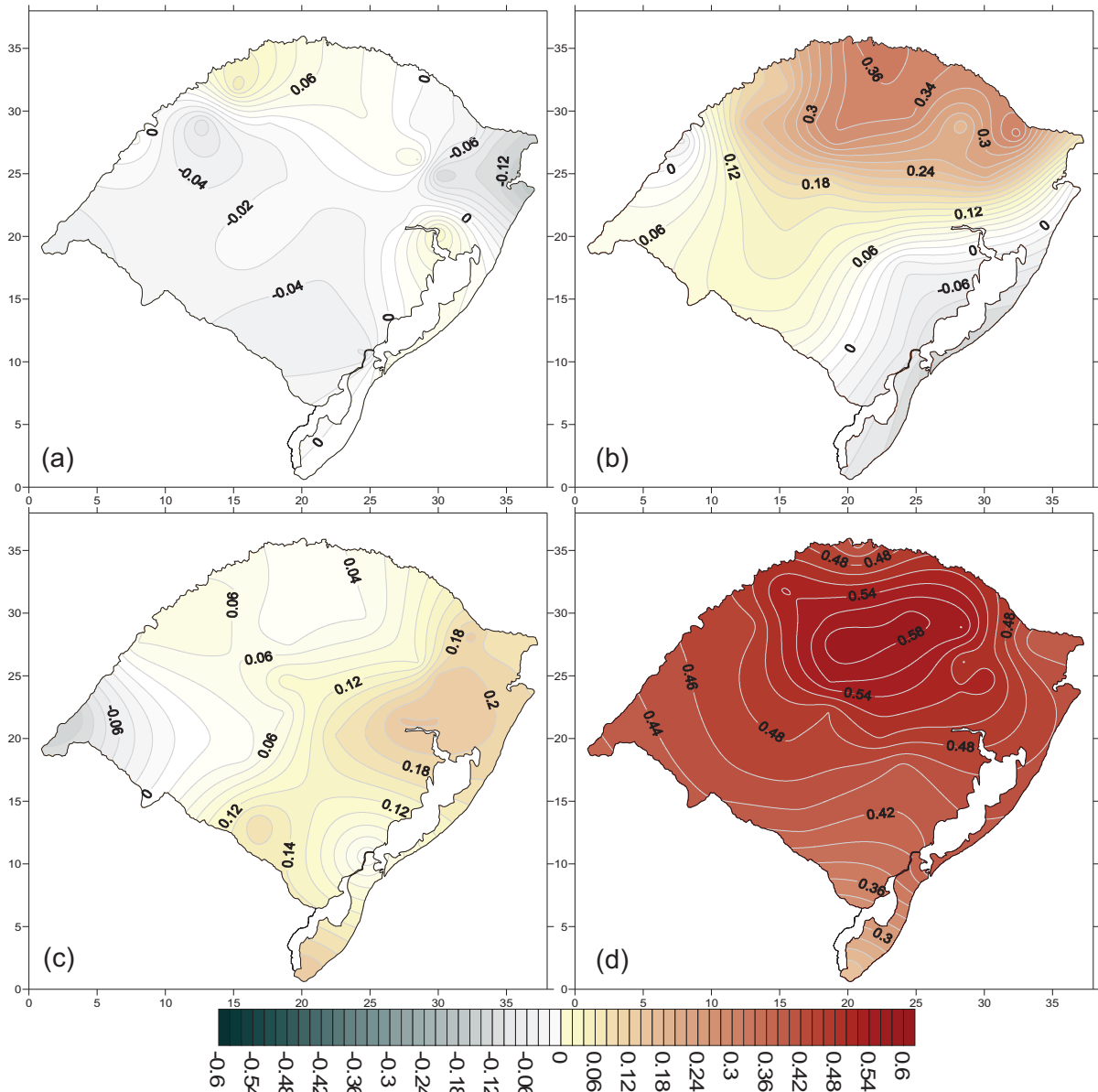


Figura 20: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 mês.

Na Fig.. 21, foram representadas as correlações com lag 3, na qual os coeficientes de correlações foram menos intensos nos quatro meses (fev-maio-ago-nov). Então, fevereiro (Fig. 21a) e agosto (Fig. 21c) os coeficientes de correlações não foram significativos, assim como nas correlações com lag 2 (Fig. 20). Em maio (Fig. 21b) os maiores coeficientes estiveram no nordeste do Estado com

confiabilidade ao nível de 5% e, em novembro (Fig. 21d), mesmo as coeficientes sendo valores menores, foram encontrados em quase todas as regiões correlações significativas ao nível de 1%.

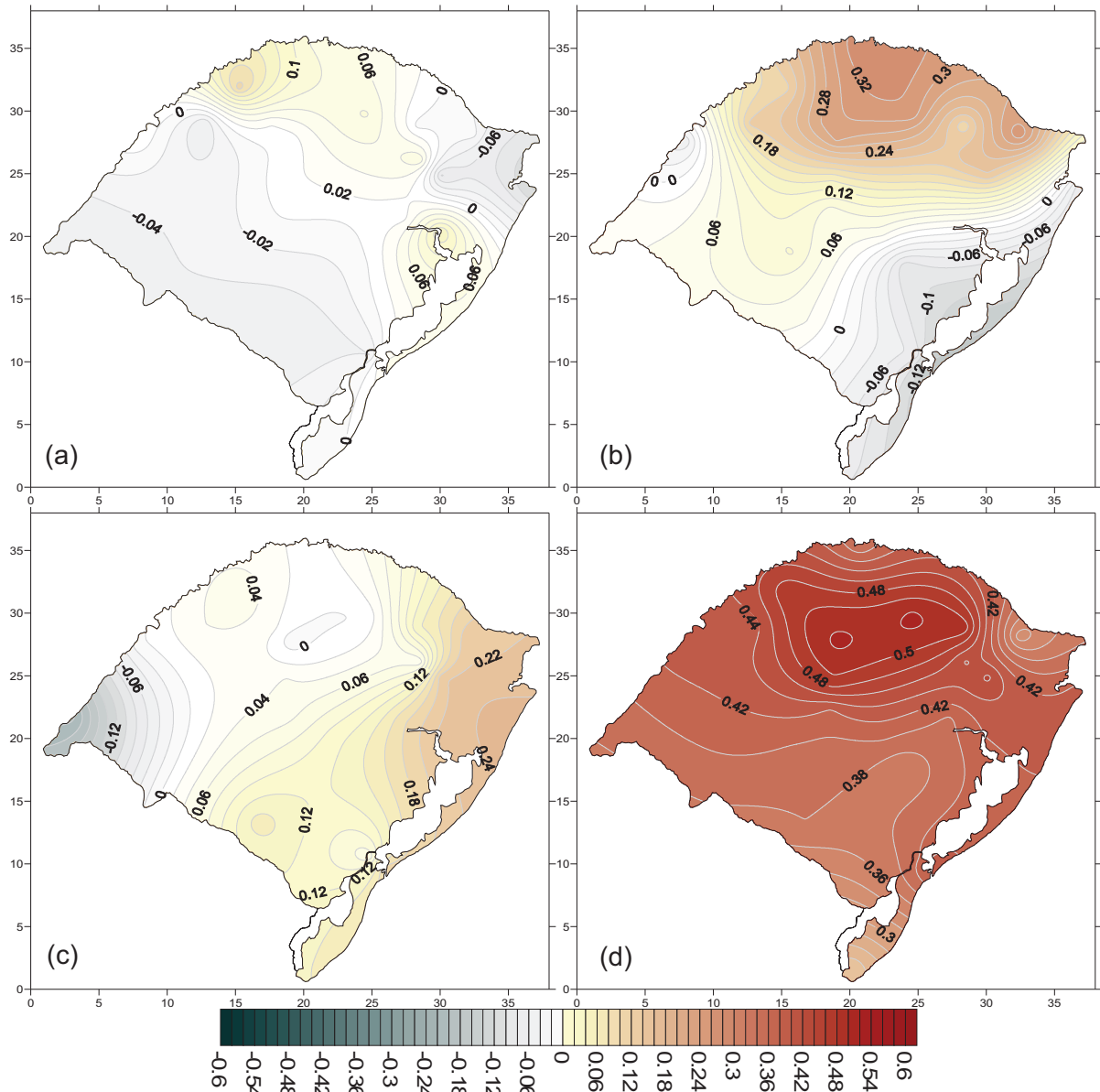


Figura 21: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IPT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 mês.

Os coeficientes de correlações entre o IAS e a precipitação foram bem representativos, mostrando significância de pelo menos 5 % em muitas regiões em quase todos os meses. Só não apresentou regiões com significância em setembro (Fig. 23c). Na Fig.. 22 mostraram-se os coeficientes de janeiro a junho e, na Fig.. 23, de julho a dezembro.

Assim como as correlações realizadas com o IPT, o IAS também mostrou coeficientes maiores em novembro (Fig. 23e), apresentando significância em quase todas as regiões, com exceção da região de Santa Vitória do Palmar. Além de novembro, foram encontrados, nos meses de janeiro, abril, maio, julho e dezembro, muitas regiões com coeficientes significativos a 1%, ou seja, significativas ao nível de confiança de 99%. O IAS foi bem representativo, com coeficientes de correlações positivos, mostrando uma relação direta, indicando que, quando o IAS foi positivo (negativo), os totais pluviométricos foram mais (menos) elevados nessas regiões.

As análises realizadas com o IAS, confirmaram o estudo feito por Diaz et al. (1998), que mostrou a existência de relações significativas entre anomalias de precipitação sobre o Estado do RS e a TSM do Atlântico. Diaz et al. (1998) realizaram o estudo para o período de 1917 a 1980, utilizando análises de componentes principais. Esses autores destacaram a ligação entre as anomalias positivas de TSM no sudoeste do Atlântico Sul e a precipitação acima do normal sobre a região nos períodos de outubro a dezembro e abril a junho. Os coeficientes positivos da correlação com IAS também indicaram forte relação de precipitação com as TSMs nos meses de novembro (Fig. 23e), dezembro (Fig. 23f) e janeiro (Fig. 23a) no Estado como um todo, no mês de abril (Fig. 22d) no sul e, em maio (Fig. 22e), no norte e centro do Estado.

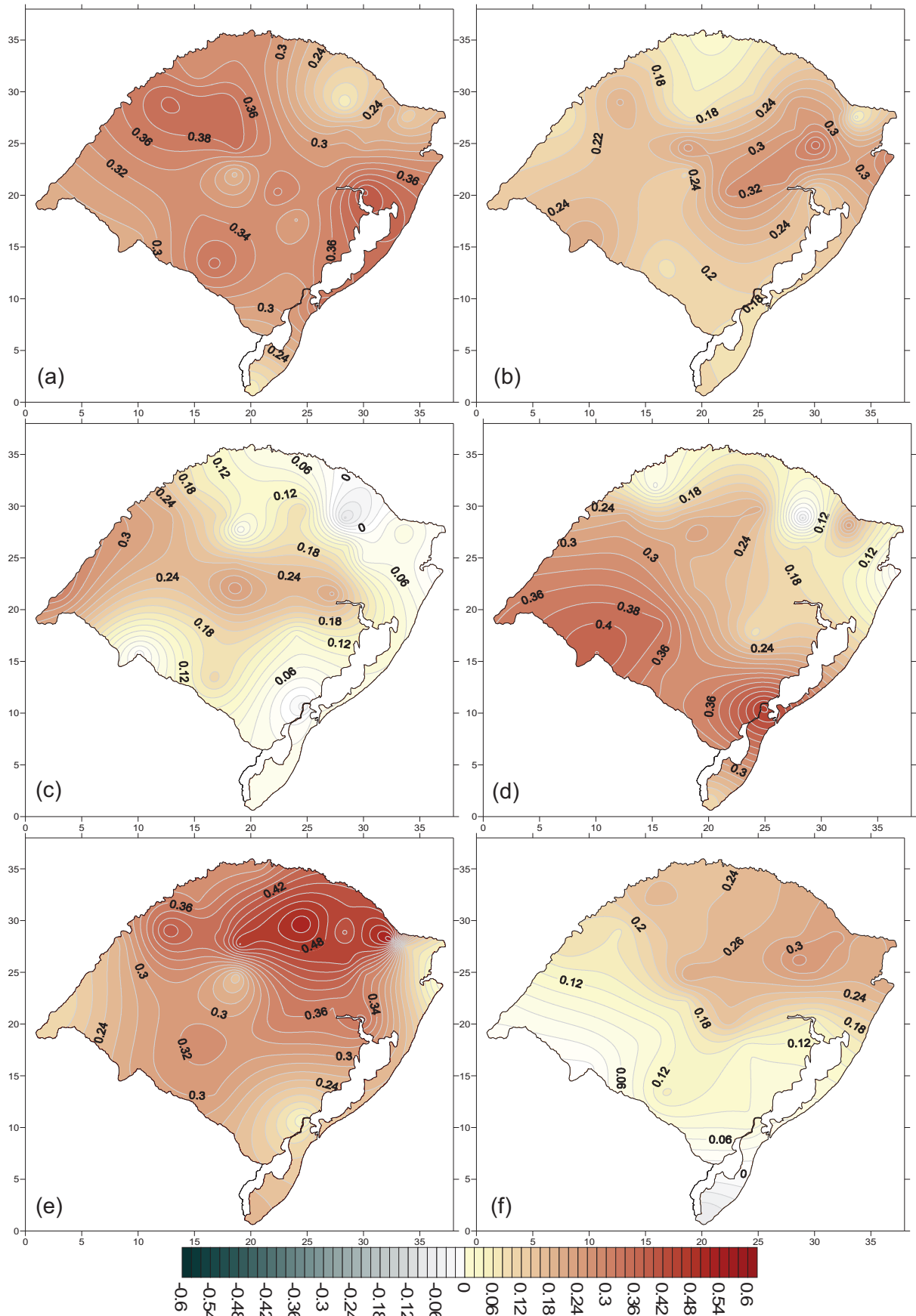


Figura 22: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.

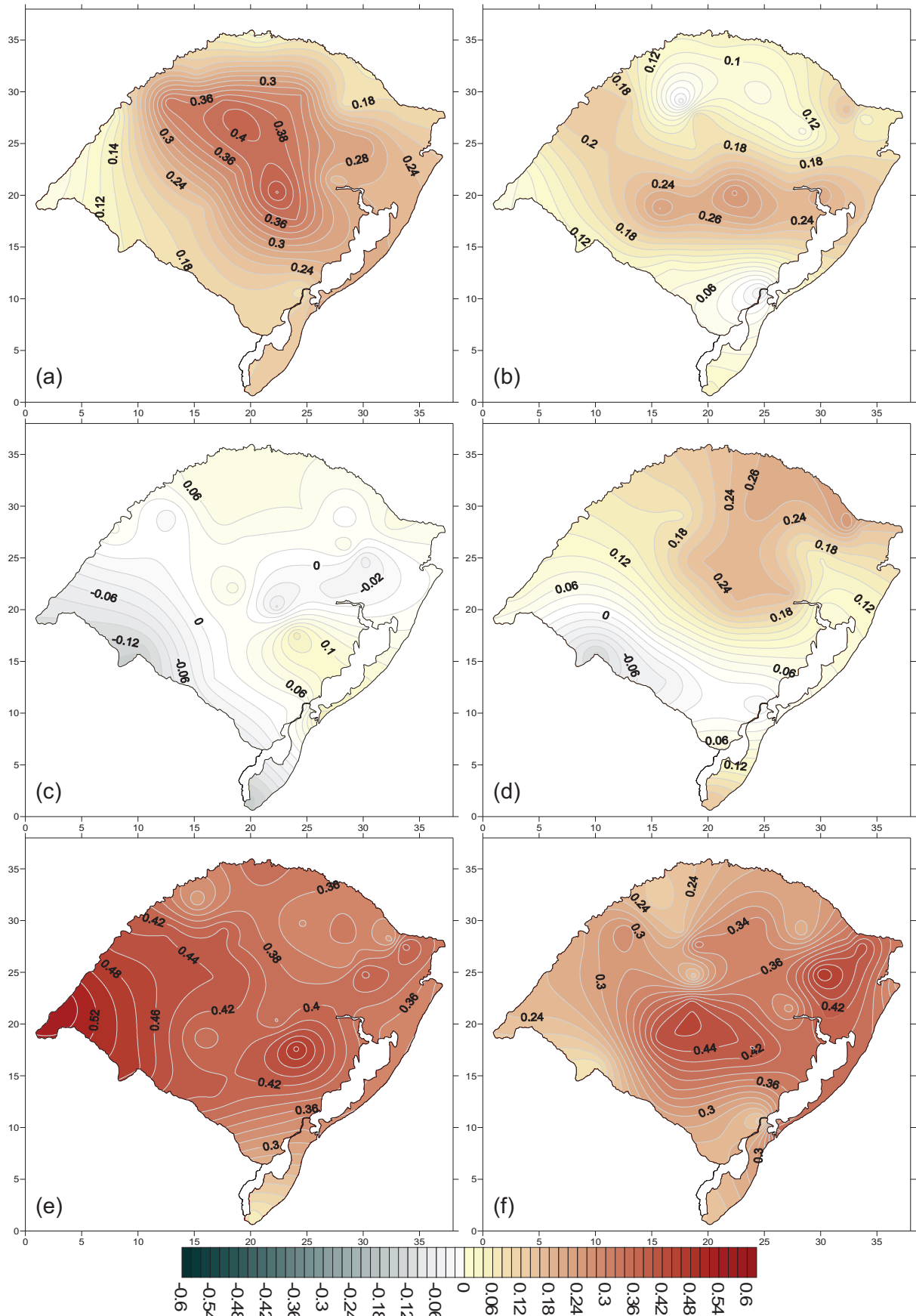


Figura 23: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.

As correlações com lag 1, para o IAS, foram representadas na Fig.. 24. Nos quatro meses em estudo (fev-maio-ago-nov) as correlações mostraram configurações semelhantes às encontradas nas Fig.. 22 e 23, porém com coeficientes de menor valor com relação às correlações com lag 0, mas significativos na maioria das regiões.

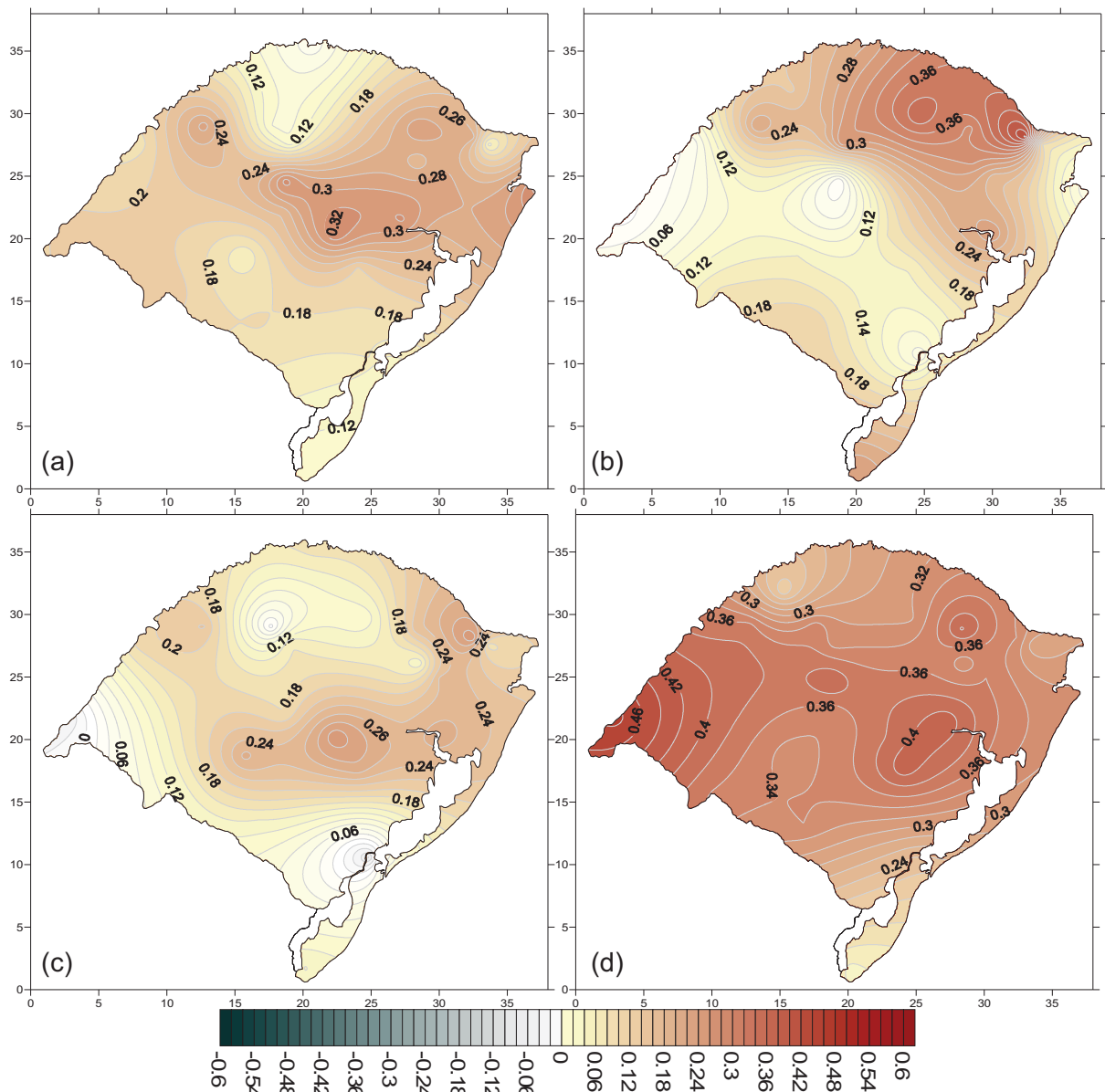


Figura 24: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.

Nos demais lags, os módulos dos coeficientes de correlação foram diminuindo de acordo com o aumento do lag, como pode ser observado nas Fig.. 25 e 26. Os coeficientes foram significativos no mês de novembro com lag 2 para todo Estado praticamente e, no mês de fevereiro, com lag 3 apenas para o centro-sul.

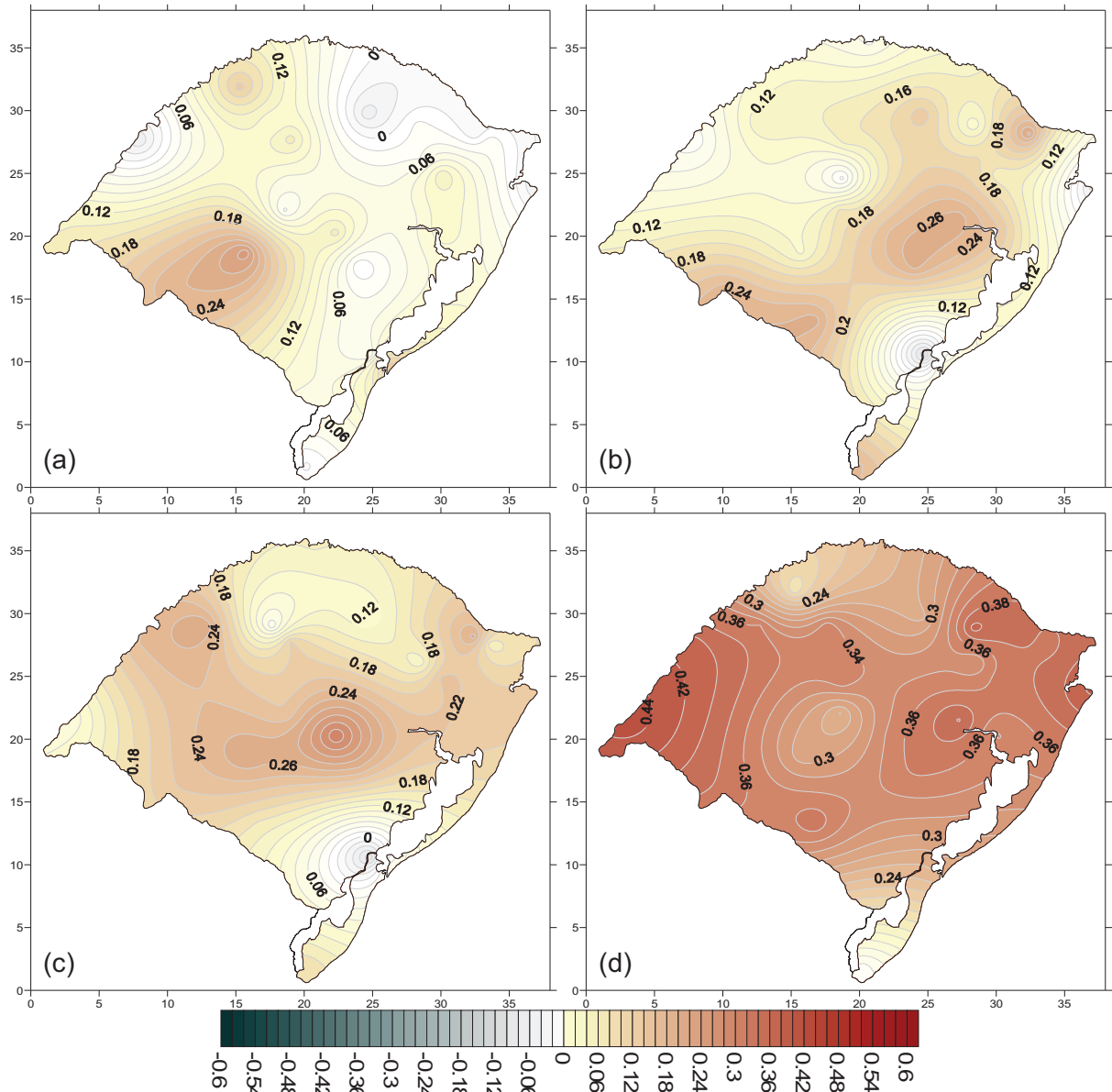


Figura 25: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 mês.

Tanto com o IAS, como com o IPT, os coeficientes foram mais representativos no mês de novembro, em todos os lags, sendo que os valores dos coeficientes foram diminuindo de acordo com o aumento dos lags. Nas correlações com o IPT em novembro, foi encontrado em todos os lags coeficientes significativos

em quase todas as regiões. Com o IAS, só coeficientes também foram significativas para todos os lags, porém só mostrou significância de 1% na maioria das regiões até o lag 2, pois no lag 3 (Fig. 26d), a maioria dos coeficientes foram menores, sem significância estatística para a maior parte das regiões.

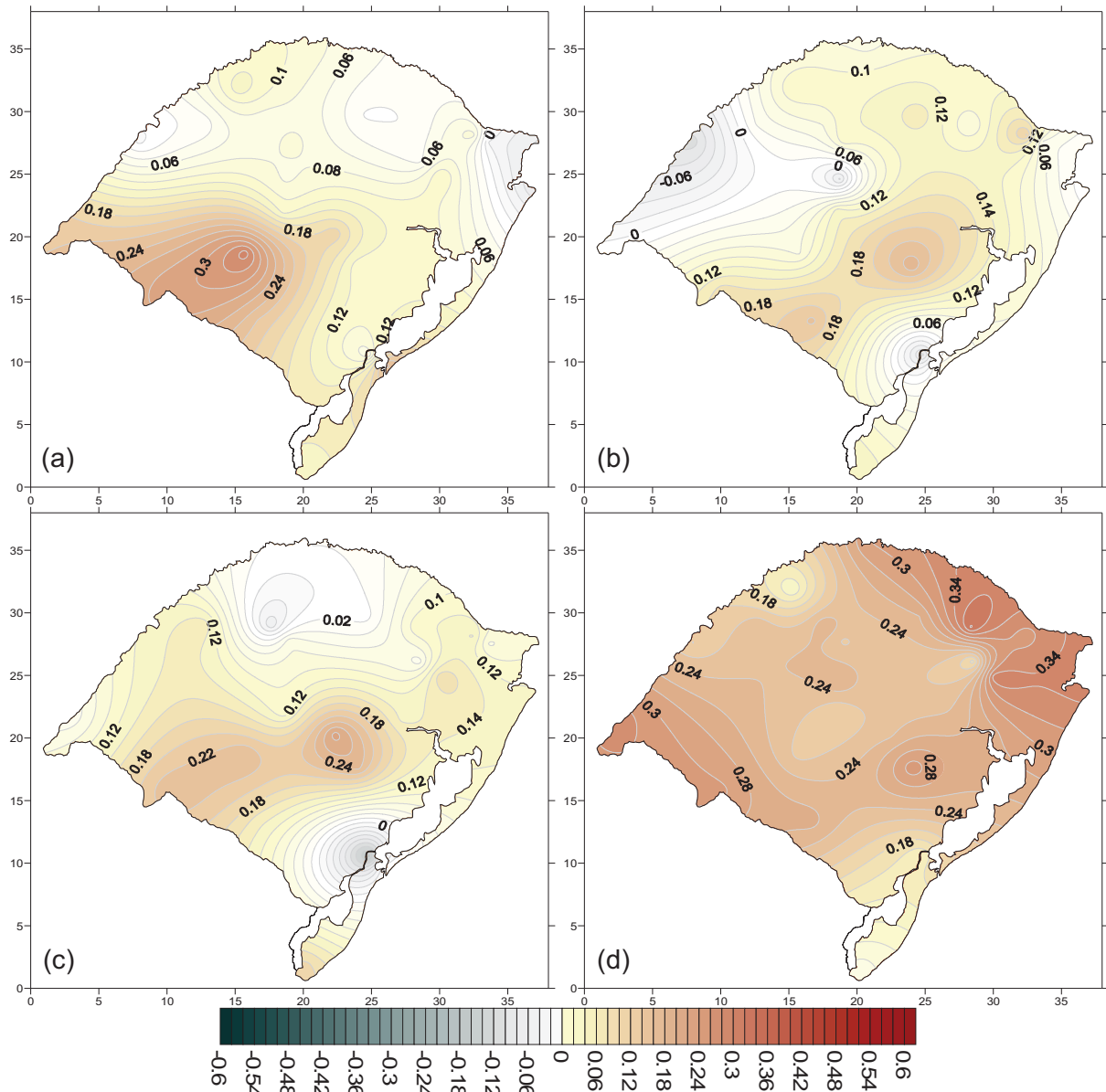


Figura 26: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAS, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 mês.

Portanto, para o mês de novembro, os índices IPT e IAS podem ser bons previsores da qualidade da chuva para o Estado do RS, com até 3 meses de antecedência. Os resultados obtidos confirmaram que as variações das TSMs no Oceano Pacífico e Atlântico produzem impactos sensíveis na precipitação das

regiões do RS, mostrando coeficientes que excederam o nível de 95% e 99% de confiança em muitas estações.

No entanto, as TSM do Oceano Atlântico Tropical não mostraram uma relação significativa com a precipitação do Estado do RS, pois os coeficientes de correlações do IAT com a precipitação do RS foram baixos, não apresentando significância em quase todas as estações, como pode ser observado nas Fig.. 27 e 28.

Na Fig.. 27 mostraram-se coeficientes de correlações de janeiro a junho e, na Fig. 28, de julho a dezembro. Os coeficientes de correlações encontrados foram negativos e positivos, sendo que relações inversas significativas só foram encontradas em julho (Fig. 28a) na região de Lagoa Vermelha. Relações diretas significativas foram encontradas em algumas regiões nos meses de outubro (Fig. 28d) e dezembro (Fig. 28f), e os outros meses não mostraram região com coeficientes significativas. Não foram encontradas coeficientes de correlações com confiabilidade ao nível de 99%. Algumas estações atingiram o nível de 95% de confiabilidade.

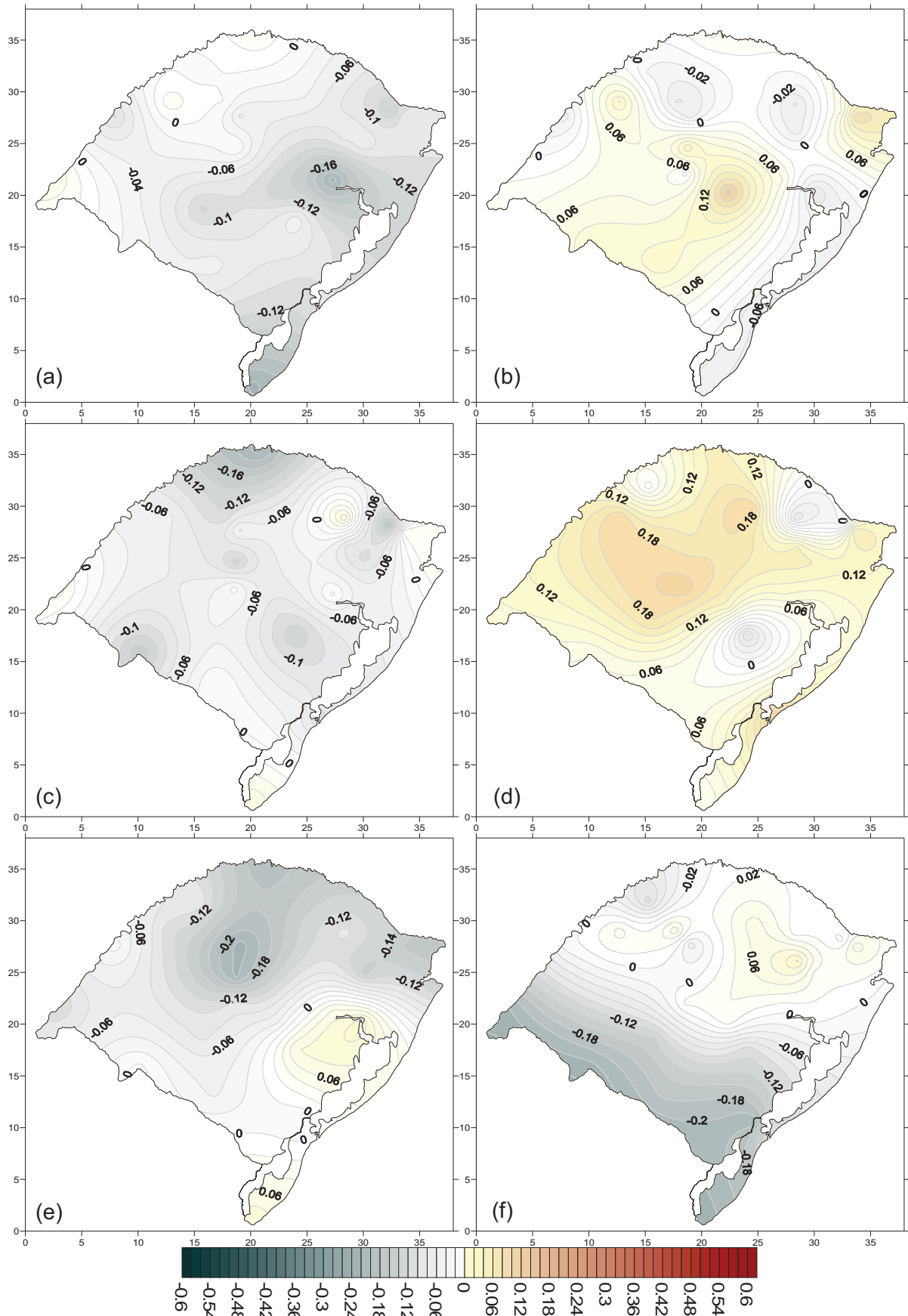


Figura 27: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.

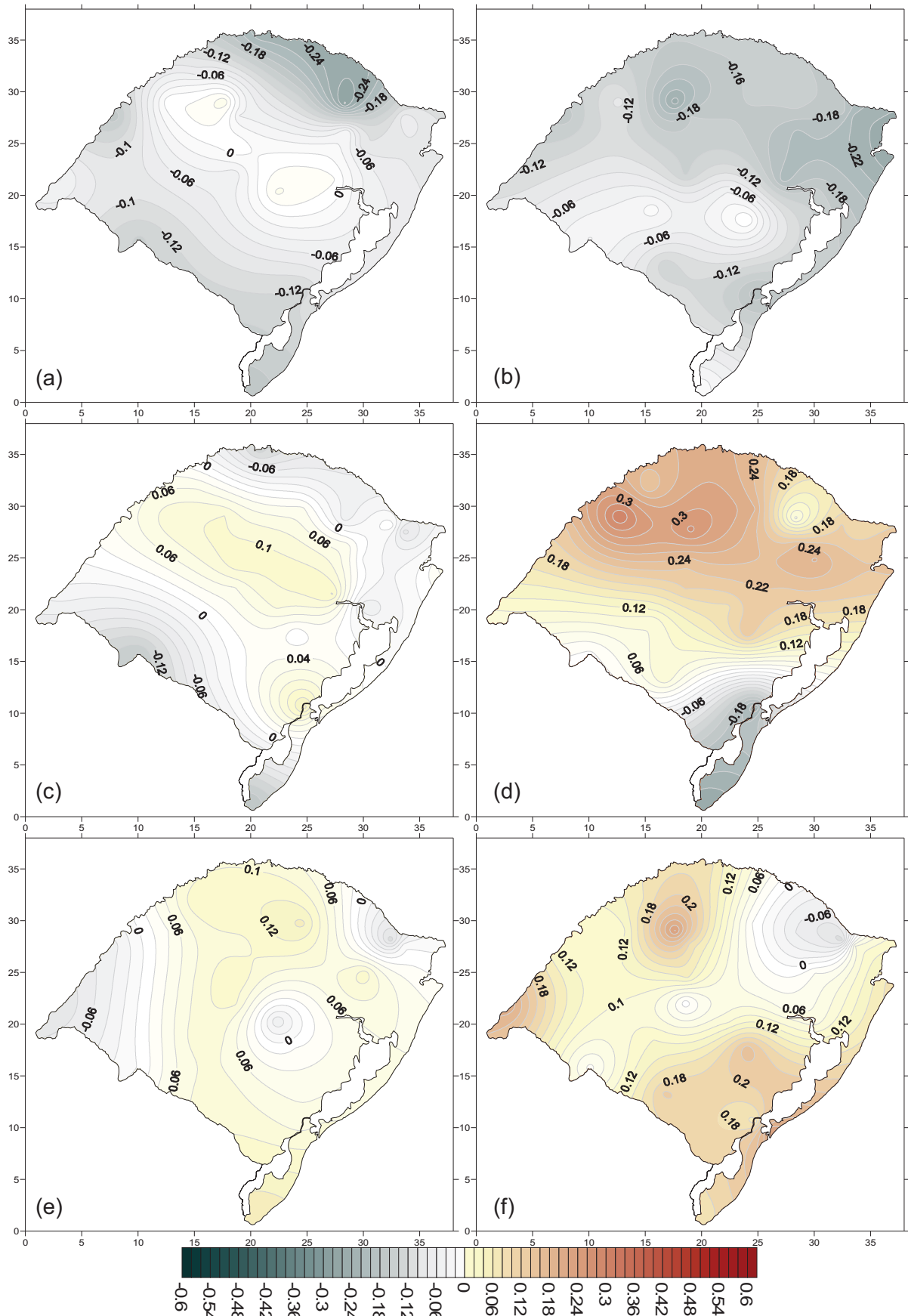


Figura 28: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.

As correlações utilizando os índices precedendo a precipitação foram realizadas para o mês central de cada estação (fev-maio-ago-nov), e como foi visto nas Fig.. 27 e 28, as correlações nesses meses não mostraram nenhuma região com coeficientes significativos. O mesmo ocorreu com as correlações, utilizando o lag 1 (Fig. 29).

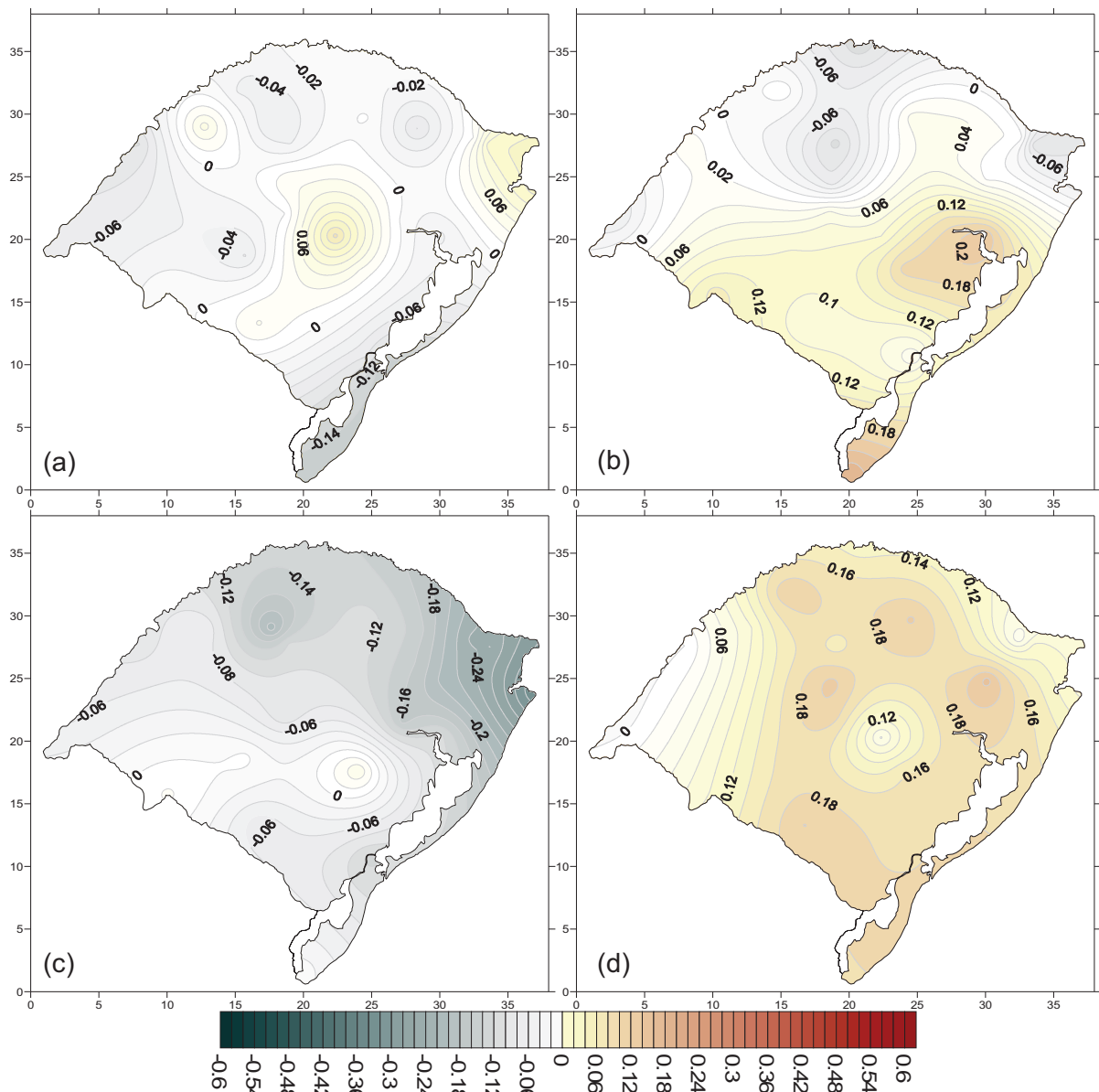


Figura 29: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.

Para as correlações com lag 2, nos meses de maio e agosto foram encontrados pequenas regiões que mostraram significância ao nível de 95%, como pode ser notado em maio em Santa Vitória (Fig. 30b) e em agosto em Torres (Fig. 30c). Nos demais meses (fev-nov), não foi encontrada nenhuma região com coeficientes significativos.

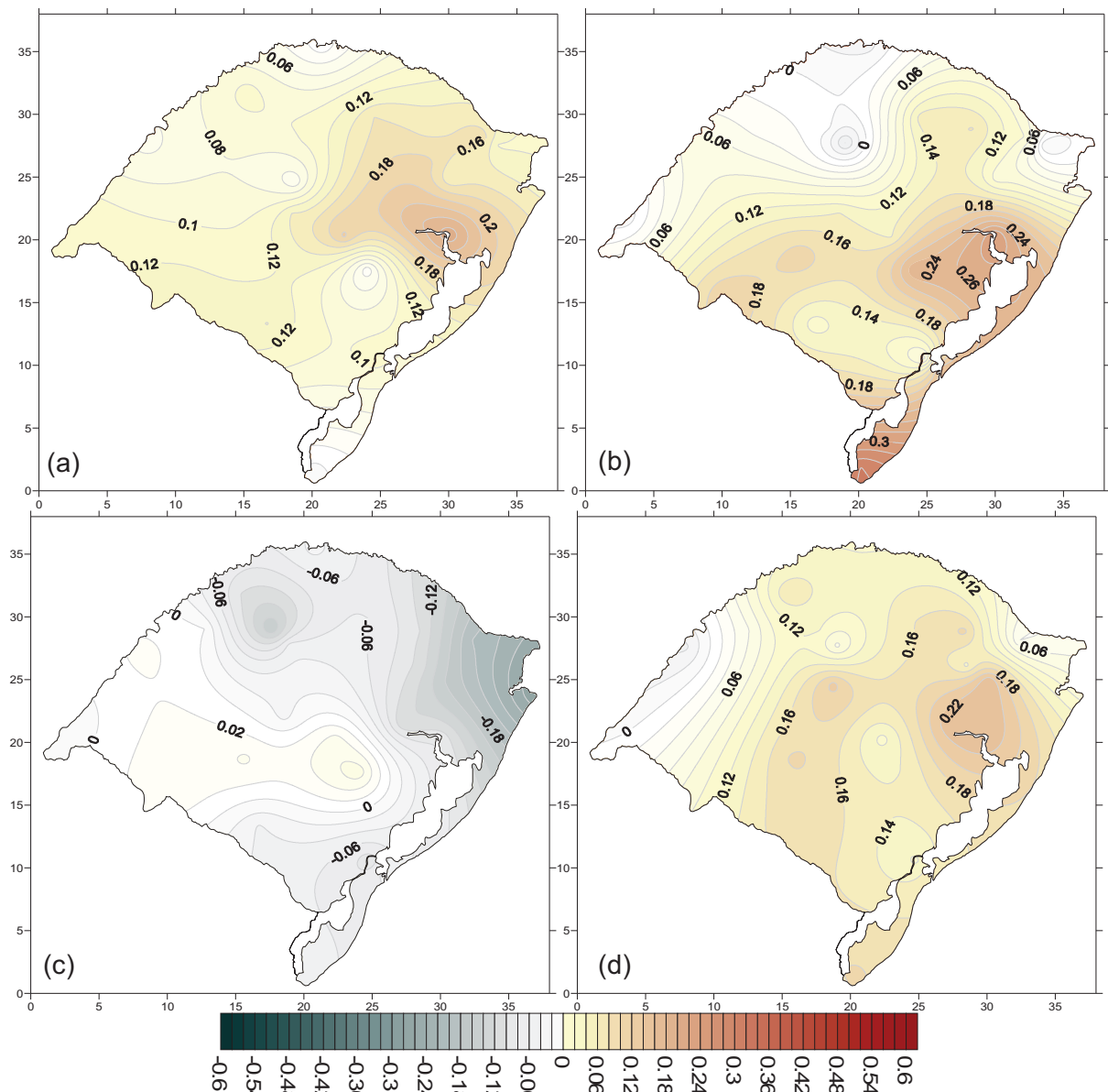


Figura 30: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 mês.

As correlações com lag 3, mostraram a mesma configuração dos coeficientes de correlações com lag 2, onde também só mostrou significancia nas regiões de Santa Vitória em maio (Fig. 31b) e em Torres no mês de agosto (Fig. 31c).

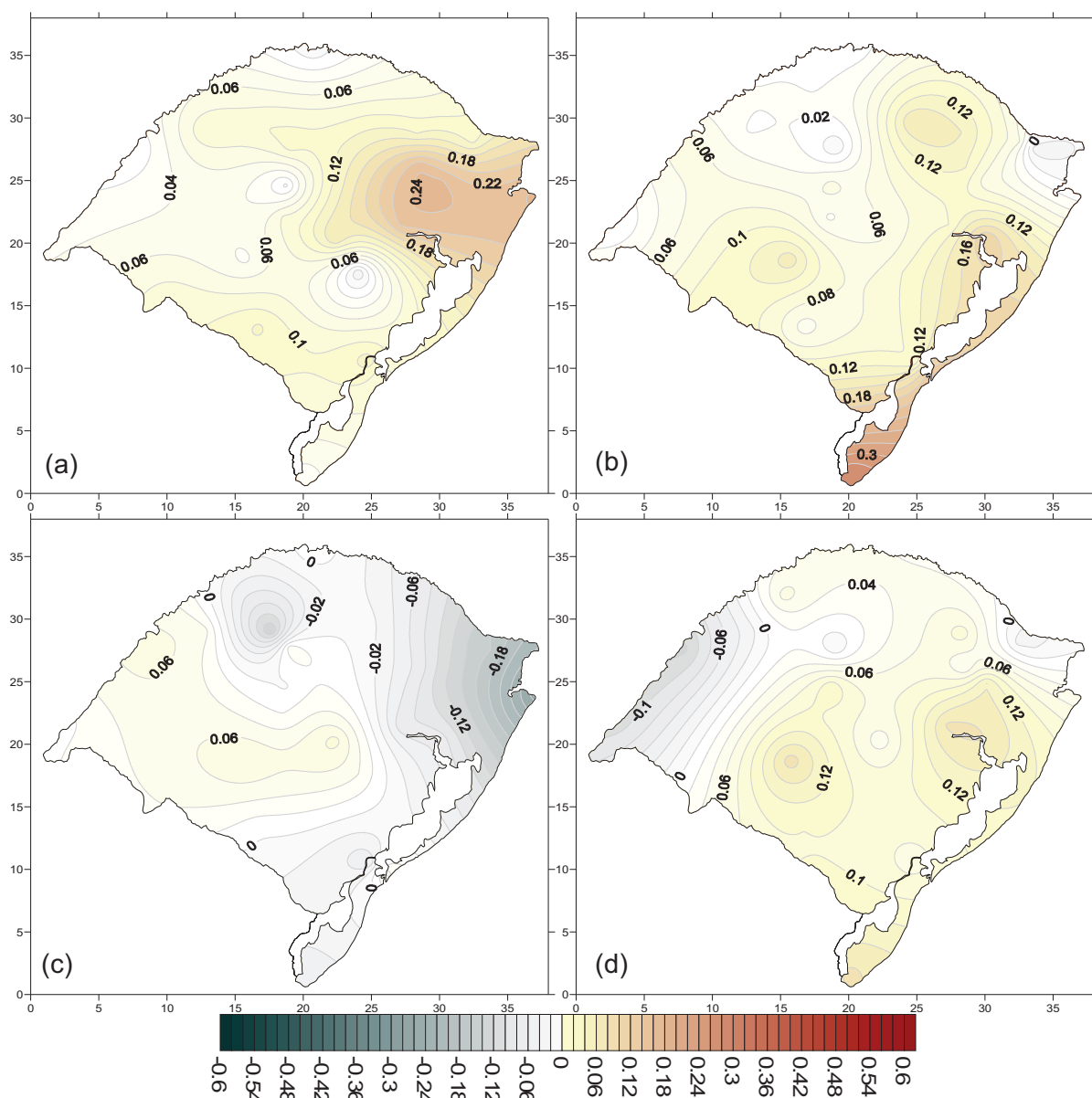


Figura 31: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAT, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 mês.

O índice obtido das TSMs do Oceano Atlântico Tropical não apresentou relação significativa para a precipitação do RS, porém o índice obtido das TSM do Oceano Atlântico Sul foi bem representativo, mostrando valores significativos em muitas regiões em quase todos os meses. Também foram realizadas correlações da diferença entre os índices do Atlântico Tropical e Sul, que foi denominado de IAST. Essas correlações foram representadas de janeiro a junho, na Fig. 32 e, na Fig.. 33, as correlações de julho a dezembro.

O IAST, assim como o IAS, apresentou boa relação com a precipitação do RS, mostrando coeficientes positivos significativos em todas as correlações. A configuração espacial dos coeficientes de correlações entre a precipitação e o IAST foi semelhante à do IAS, com exceção dos meses de julho (Fig. 33a) e agosto (Fig.b). Os coeficientes de correlações com IAST apresentaram módulo menor, mas a maioria das regiões que apresentaram significância nas correlações com o IAS, continuou mostrando significância com o IAST, como pode ser observado comparando as Fig.. 22 e 23 com as Fig.. 32 e 33.

Nas correlações com o IAS, foram encontrados valores maiores com maior frequência em janeiro, abril, maio, julho, novembro e dezembro. Com o IAST, esses meses também apresentaram coeficientes com maiores valores relativos, porém menores e com áreas menores de correlações significativas, quando comparado com o IAS.

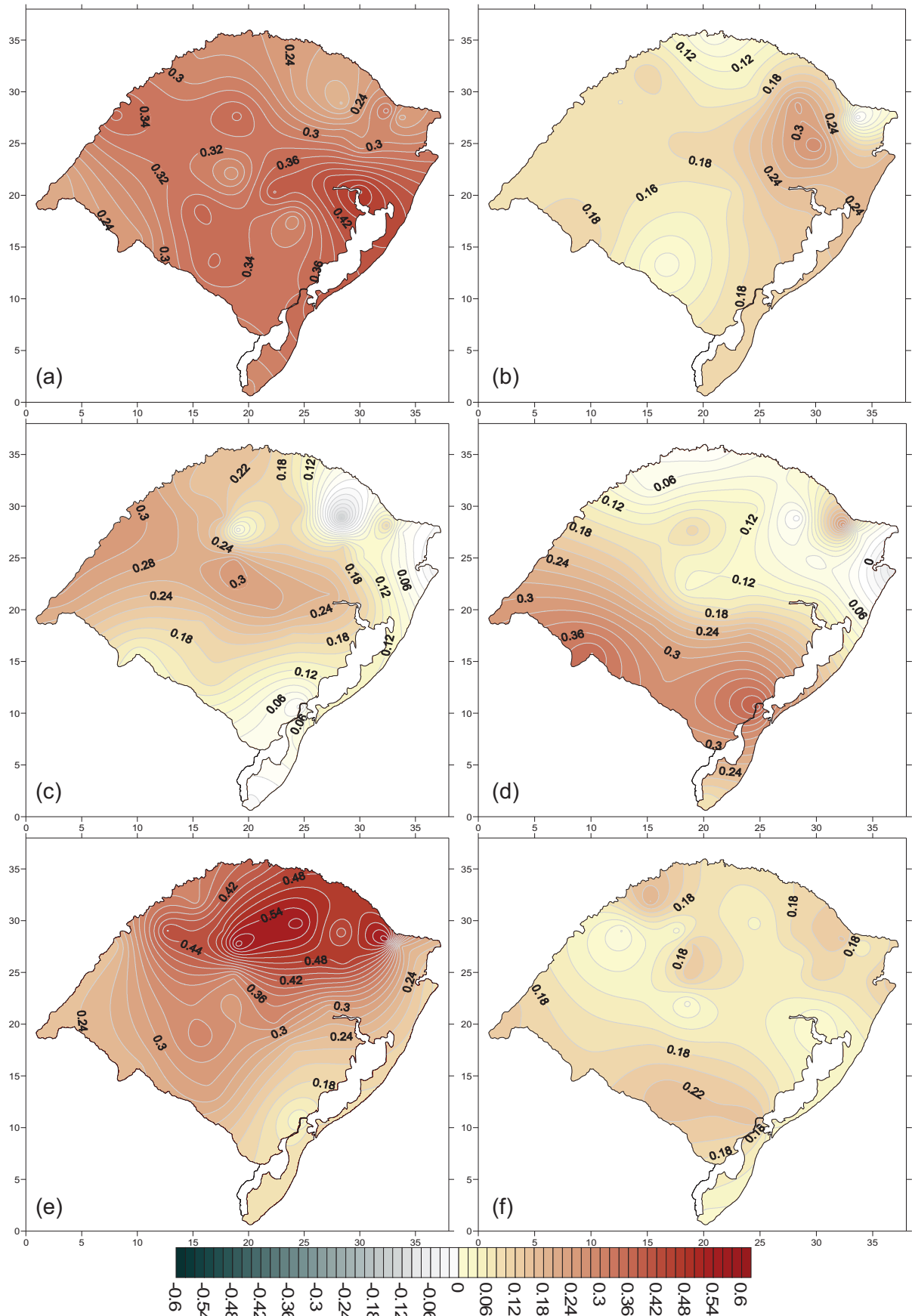


Figura 32: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Janeiro (b) Fevereiro (c) Março (d) Abril (e) Maio e (f) Junho.

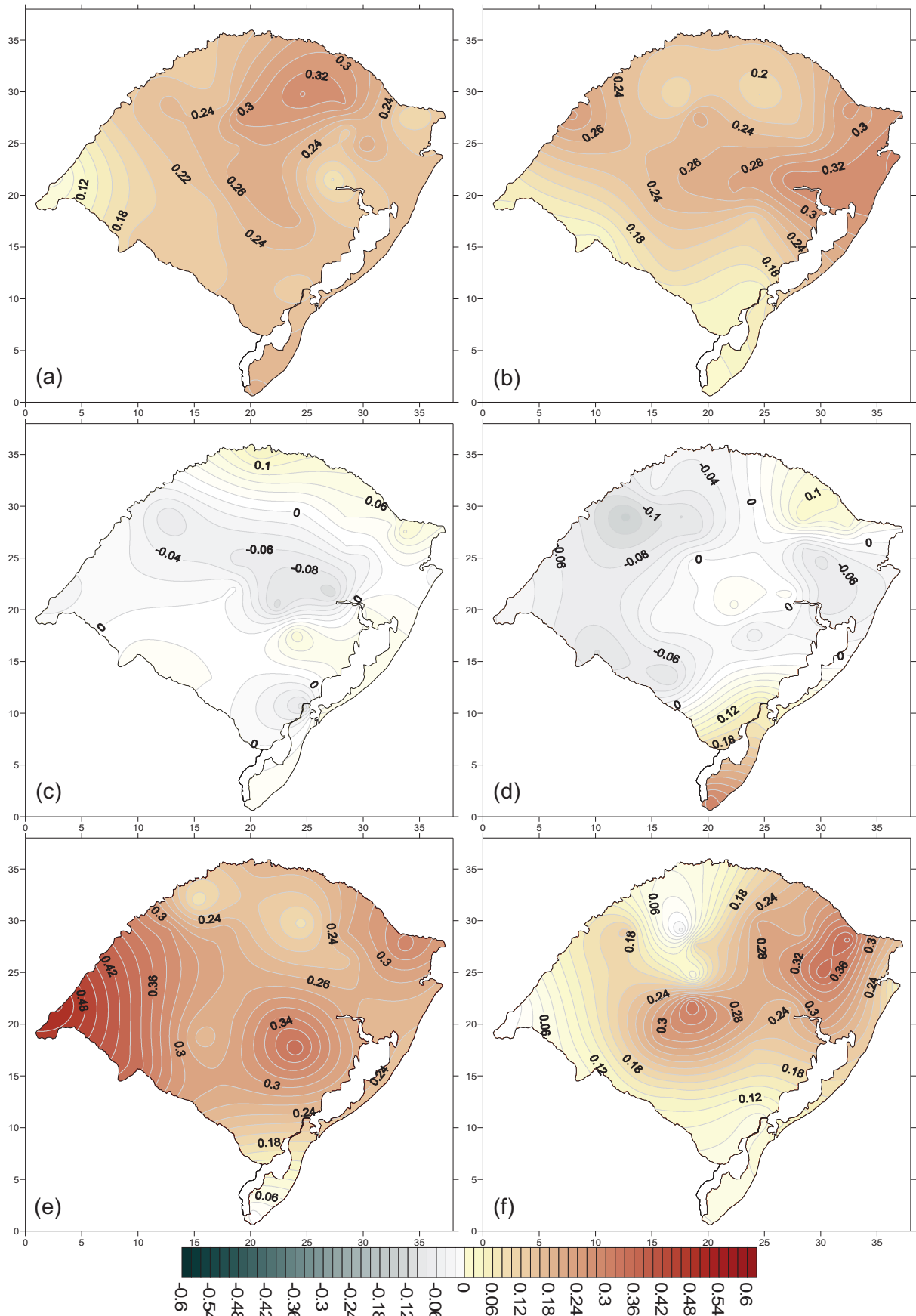


Figura 33: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Julho (b) Agosto (c) Setembro (d) Outubro (e) Novembro e (f) Dezembro.

Nas correlações do IAST, utilizando o índice precedendo a precipitação, foi observado que de acordo com o aumento do lag, os valores dos coeficientes foram diminuindo. Na Fig.. 34 mostraram-se a distribuição espacial dos coeficientes das correlações com lag 1, cujos valores significativos ocorreram na maioria das regiões já apresentadas nas correlações simultâneas.

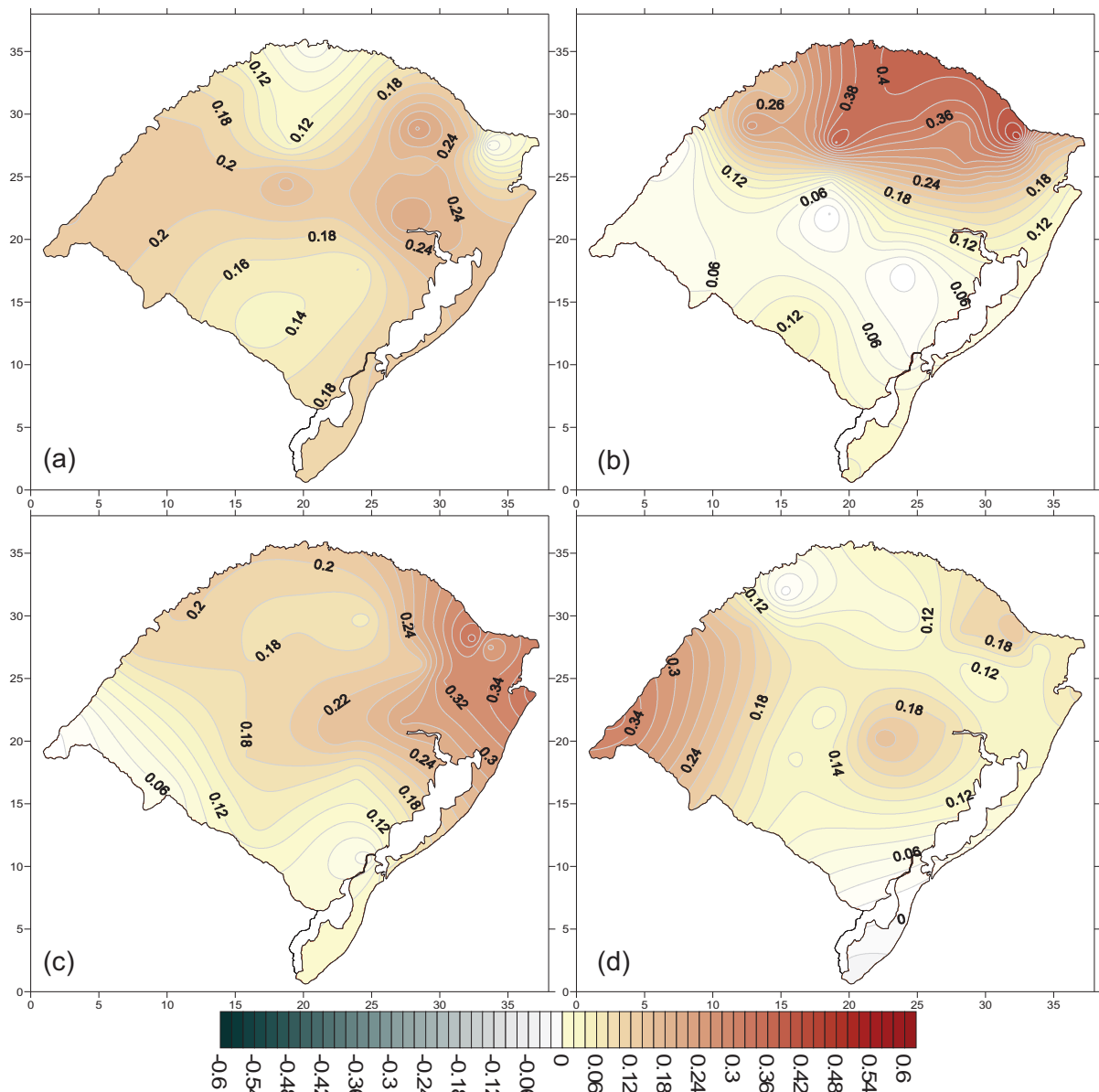


Figura 34: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 1 mês.

Para as correlações com lag 2, em fevereiro (Fig. 35a) e maio (Fig. 35b) não foram encontrados nenhuma região com correlações significativas, e em agosto (Fig. 35c) e novembro (Fig. 35d) pequenas áreas continuaram mostrando significância. Como, por exemplo, parte do sudoeste do Estado.

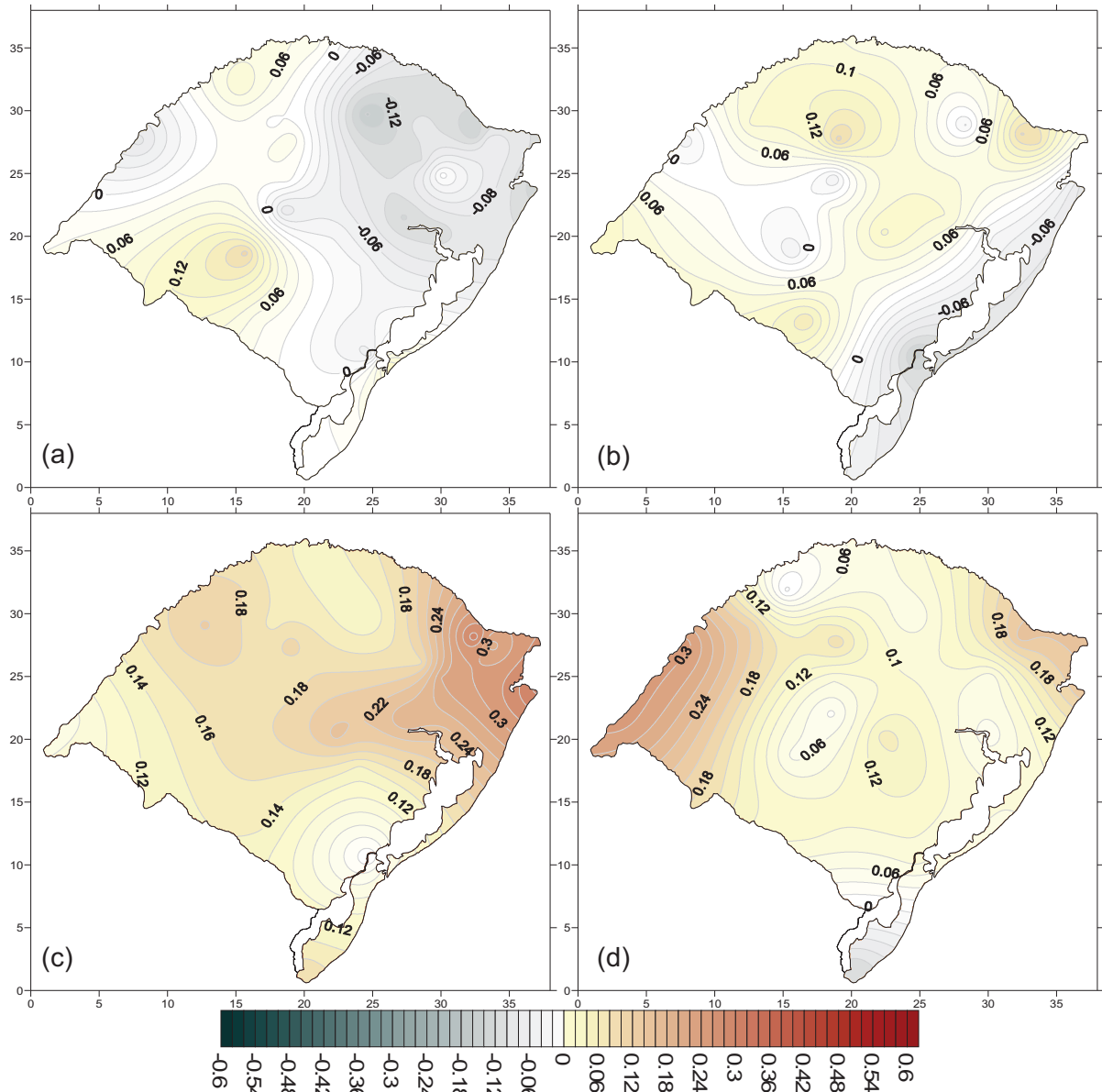


Figura 35: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 2 mês.

As correlações foram perdendo significância de acordo com o aumento dos lags. Com isso, as áreas que apresentaram significância também foram diminuindo, e nas correlações com lag 3 (Fig. 36), em fevereiro, maio e agosto não foram encontrado valores de correlações significativo, pois só apresentou

significância em uma pequena área no mês de novembro, extremo sudoeste do Estado.

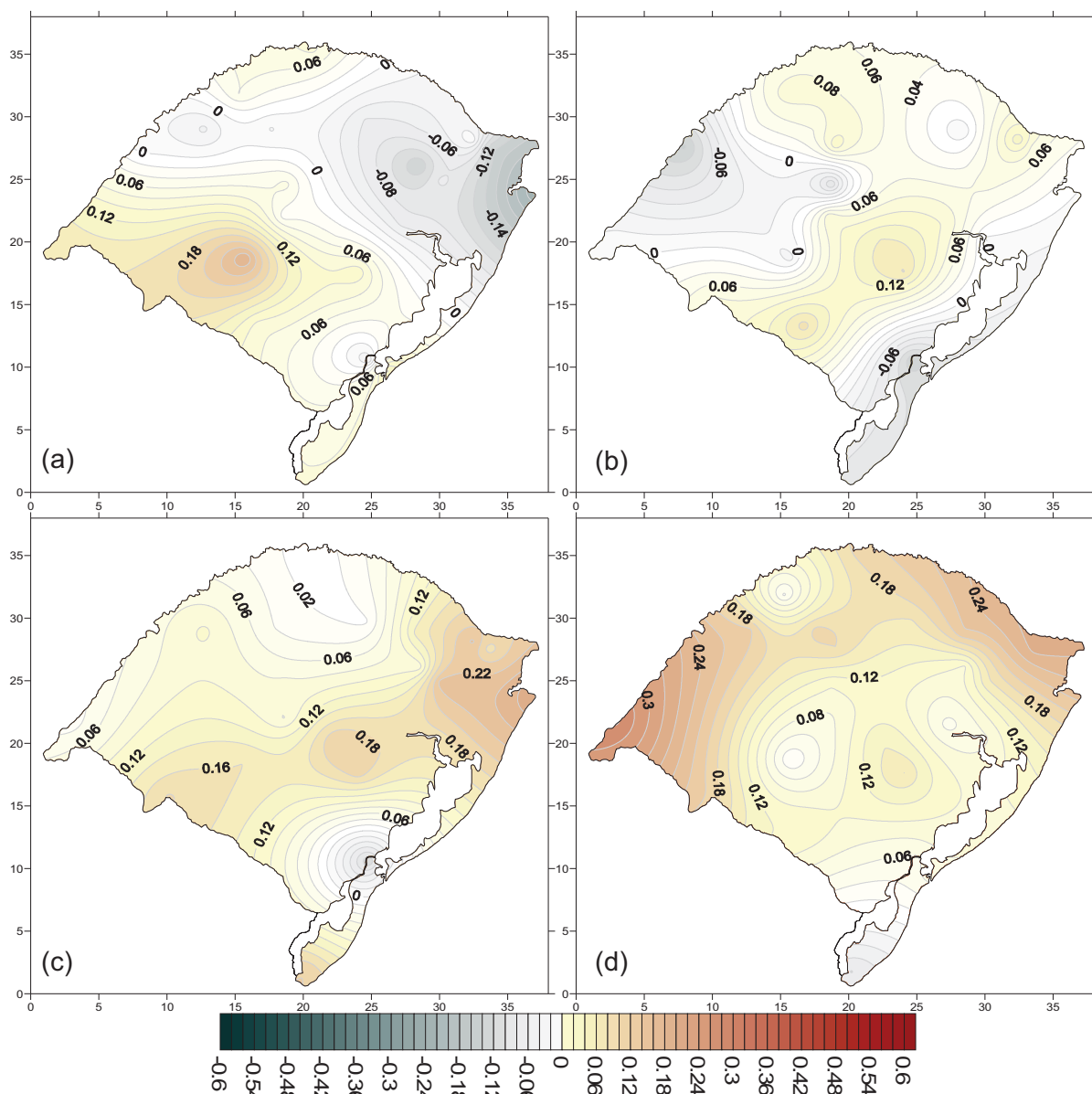


Figura 36: Correlação entre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul e o IAST, para os meses (a) Fevereiro (b) Maio (c) Agosto e (d) Novembro, com o índice adiantado em 3 mês.

CONCLUSÃO

Por meio das análises dos resultados obtidos, verificou-se que a transformada de ondeleta é uma excelente técnica de decomposição, pois permitiu detectar tanto a periodicidade, quanto a localização temporal das componentes do sinal, onde as séries temporais dos índices IAS, IAT e IAST mostram variações interanuais, mas não são predominantes como as observadas nas séries temporais do IPT.

As correlações realizadas com o índice IAT mostraram que as TSMs do Atlântico Tropical não explicam ou vão se relacionar com a precipitação do Estado do RS, pois seus coeficientes apresentaram baixa significância, ocorrendo o mesmo nas correlações realizadas com o IAT adiantado para os meses centrais das estações (fev-maio-ago-nov). No entanto, o índice obtido das TSMs do Atlântico Sul mostrou valores de correlações bastante significativos, com muitas regiões do RS obtiveram coeficientes com significância a 1%. As relações significativas entre o IAS e a precipitação do RS foram positivas, indicando que quando os valores de IAS são positivos (negativos), os totais pluviométricos foram mais (menos) elevados. Os meses que apresentaram maiores intensidades foram janeiro, abril, maio, julho, novembro e dezembro, sendo novembro o mês que apresentou as maiores correlações. Nas correlações com lag, ou seja, adiantando o IAS, a intensidade das correlações foram diminuindo de acordo com o aumento do lag, mas continuou apresentando coeficientes significativos na maioria das regiões que apresentaram significância nas correlações simultâneas.

Nas correlações com o IAST, foi encontrada configuração semelhante com a correlação espacial do IAS, mostrando coeficientes com maiores intensidades nas mesmas regiões e mesmos meses que foram encontrados nas correlações com o IAS, porém com valores menores e áreas menores. Já, nas correlações do IAST,

com o índice precedendo a precipitação, as correlações também foram diminuindo de acordo com o aumento do lag, mas continuou apresentando coeficientes significativos.

A região do Niño 3.4 é muito influente para a precipitação do RS, principalmente em novembro, pois, no mês de novembro, o IPT apresentou seu maior grau de associação, com seus maiores coeficientes de correlações apresentando em quase todas as regiões valores significativos a pelo menos 1%. Além de novembro, também foram encontradas regiões com coeficientes significativos a 1% nos meses de fevereiro, outubro e dezembro. As correlações com lag 1 para o IPT, continuaram apresentando significância nas mesmas regiões que foram encontradas nas correlações simultâneas, para os quatro meses em estudo. Porém, nos demais lags, 2 e 3, as áreas com significância diminuíram muito, com exceção do mês de novembro, que permaneceu mostrando significância em todas as regiões.

Os coeficientes de correlações significativos do IPT com a precipitação foram positivos, ou seja, existe uma associação direta. Como os valores positivos e negativos do IPT são, em geral, indicadores da ocorrência de eventos El Niño e La Niña, respectivamente, confirmou-se, em princípio, que choveu mais (menos) em anos de El Niño (La Niña) nessas regiões.

Os resultados obtidos confirmaram que as variações das TSMs no Oceano Pacífico e Atlântico produzem impactos sensíveis na precipitação do RS, mostrando correlações que excedem o nível de 95 e 99% de confiança em muitas regiões. Os índices IPT e IAS podem ser bons previsores da qualidade da chuva para o Estado do RS, com até 3 meses de antecedência. E qualquer índice que seja representativo das variações de TSMs pode ser utilizado como previsor potencial.

Ao verificar-se que o índice IAT não explica as chuvas no Estado do RS, e que os índices IPT, IAS e IAST foram mais representativos para o RS na primavera, há a necessidade de serem identificadas outras áreas oceânicas, tanto no oceano Atlântico como no oceano Pacífico, que possam explicar melhor esta relação conjunta dos oceanos e a variação da precipitação pluvial nos demais meses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA, A. M. H. et al. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior do que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p.149-154, 1996.

BARROS, V. R. et al. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on in summer rainfall variability in Southeastern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v.67, n.3, p. 123-133, 2000.

BERLATO, M. A; FONTANA, D. C.; BONO, L. Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p. 111-113, 1995.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 110 p.

BEZERRA, A. C. N. **Aspectos da Circulação Atmosférica de grande escala sobre o Norte e Nordeste do Brasil relacionado com a Temperatura da Superfície do Mar**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

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.

BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, p. 163-172, Mar. 1969.

CARDOSO,C. da S. Precipitação do Sahel e a Oscilação Decadal do Pacífico. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, Brasil. 2009.

CARTON, J. A. et al. Decadal and interannual SST variability in the tropical Atlantic Ocean, **Journal of Physical Oceanography**, v. 26, p.1165-1175, July 1996.

CHANG, P.; JI, L.; LI, H. A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions. **Nature**, v. 385, p. 516-518, Feb. 1997.

COELHO, C. A. S. **Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico durante períodos de extremos de El Niño/Oscilação Sul**. 2001. Dissertação (Mestrado)-Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG/USP, SP.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-<http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: Maio de 2010.

CUNHA, G. R. El Niño Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n.2, p. 277-284, Jul – Dez, 1999.

DAUBECHIES, I.: Ten Lectures on Wavelets. SIAM, 357pp, 1992.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. **J. Clim.**, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.

DINIZ, G. B. **Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 196 f. Tese (Doutorado Agrometeorologia) - Curso de Pós graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ENFIELD, D. B.; MAYER D. A. Tropical Atlantic SST and its relation to El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. C1, p. 929-945, Jan. 1997.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 39-46, 1996.

FOUFOULA-GEORGIOU, E.; KUMAR, P.: Wavelets in Geophysics: Wavelet analysis and its applications. San Diego, Academic Press, 1994, 372p.

GABOR, D. **Theory of communications**. *J. Inst. Elec. Eng.*, London, v. 3, n. 93, p. 429-457, 1946.

GRIMM, A. M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Nino and La Nina events. **Journal of Climate, Boston**, v.13, n.1, p. 35-58, 2000.

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

GRIMM, A. M. How do La-Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, n. 2-3, p. 123-138, Mar 2004.

GROSSMAN, A.; MORLET, J. 1984. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. **Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Mathematical Analysis**, 15:732-736.

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. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

HAMEED, S.; SPERBER, K. R.; MEINSTER, A. 1993: Teleconnections of the Southern Oscillation in the tropical Atlantic sector in the OSU coupled upper ocean-atmosphere GCM. **Journal of Climate** 6, 487-498.

HARTER, I. B. **Análise de precipitação em Pelotas-RS utilizando transformada wavelet de Morlet**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

HASTENRATH, S. On modes of tropical circulation and climate anomalies. **Journal Atmospheric Sciences**, v. 35, n. 12, p. 2222-2231, Dec. 1978.

HASTENRATH, S.; HELLER L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, Jan. 1977.

HASTENRATH, S. Variations in low- latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 33, n. 2, p. 202-215, Fev. 1976.

HENRIQUE, D. Um susto com data marcada. **Revista Superinteressante**, Ano 7, n.3, 1993.

HOUGHTON, R. W.; TOURRE, Y. M. Characteristics of low frequency sea surface fluctuations in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v. 5, n. 7, p. 765-771, July 1992.

IRI - INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE PREDICTION. **The Niño Regions**. Disponível em:

<<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soj>> Acesso em: 3 de Maio de 2010.

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two constrating years. **Journal of Climatology**, v. 8, n. 5, p. 477-488, Sep-Oct 1988.

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, n. 2, p. 351-363, 1989.

LAU, K.M.; WENG, H. Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to make a Time Series Sing. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.76, n.12, p.2391-2402, 1995.

LOPES, F. Z. **Relação entre o MEI (Multivariate ENSO Index) e a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 122 p.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78, pp. 1069-1079. 1997

MARQUES, J. R. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos**. 2005. 209f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, **Climanálise 8 (agosto)**, CPTEC/INPE, 2005. Disponível em http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 4, p. 2653-2675, 1981.

MORLET, J.: Wave propagation and sampling theory. **Geophys.**, 47, 222-236, 1982.

NEELIN, J. D. et al. ENSO. **Theory. J. Geophys. Res.**, 103, 14 261–14 290. 1998.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. São José dos Campos. 139p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.

OLIVEIRA; V. Influência do Oceano Atlântico Sul na precipitação do Brasil, 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. Alagoas.

OMENA, J. C. R. **A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e sua influência nas temperaturas máximas e mínimas do Rio Grande do Sul**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PHILANDER, S. G. H. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**, Academic Press, San Diego, CA. 1990.

PHILANDER, S. G. H. **El Niño, La Niña, and the Oscillation**. New York: Academic Press, v. 46 International Geophysics Series, 1989. 239p.

QUADRO, M. F. L. **Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillations. **Theor. Appl.Climatol.**, v. 42, p. 81-91, 1990.

RAO, V. B.; SATYAMURTY, P.; DE BRITO, J. I. B. On the 1983 drought in Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 6, n. 1, p. 43-51, Jan-Feb 1986.

RASMUSSEN, F. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review**, v.110, n.5, p.354-384. 1982.

REBELLO, E. R. G. **A Oscilação Decadal do Pacífico e sua possível influência no clima do sul do Brasil**, 23.03.2005, INMET, Brasília-DF,2005.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, n.8, p. 1606-1626, Aug. 1987.

SANTOS, E. B. **Um índice de temperatura do Oceano Pacífico e a variabilidade da precipitação no Nordeste do Brasil com ênfase em Alagoas**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL.

SARAVANAN, R.; CHANG, P. Interaction between tropical Atlantic variability and El Niño- Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 13, n. 13, p. 2177-2194, July 2000.

SERVAIN J. Simple climatic indexes for the tropical Atlantic-Ocean and some applications. **Journal of Geophysical Research - Oceans**, v. 96, n. C8, p. 15137-15146, Aug. 1991.

SILVA, L. F. **Precipitação do Norte do Nordeste Brasileiro e Padrões de Temperatura da superfície do Mar e Pressão ao Nível do Mar: Relações com as Fases do El Niño/Oscilação Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP.

SIQUEIRA, A. H. B. et al. Impactos do ENOS no Norte e Nordeste Brasileiros e sua relação com a Oscilação Decadal Do Pacífico, XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Anais - XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

SOUSA, E. P. P. **Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental.** 2003. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos - SP.

SOUZA, B. de S. **Variabilidade pluviométrica intrasazonal sobre a Amazônia oriental e nordeste brasileiro durante o outono austral: mecanismos atmosféricos de baixa e alta frequência.** Tese de Doutorado em Meteorologia. Universidade de São Paulo – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência Atmosféricas – Departamento de Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2003.

STUDZINSKI, C. D. S. **Um estudo da precipitação na região sul do Brasil e sua relação com os oceanos Pacífico e Atlântico Tropical e sul.** 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP.

SUTTON, R. T.; JEWSON S. P.; ROWELL, D. P. The elements of climate variability in the tropical Atlantic region, **Journal of Climate**, v. 13, n. 18, p. 3261-3284, Sept. 2000.

TAO, W. K., and J. Simpson, 1991: Numerical simulation of a subtropical squall line over Taiwan Strait. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2699-2723.

TORRENCE C, COMPO GP. 1998. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 79(1): 61-78.

TOURRE, Y. M.; RAJAGOPALAN, B.; KUSHNIR, B. Dominant patterns of climate variability in the Atlantic Ocean during the last 136 years. **Journal of Climate**, v. 12, n. 8, p. 2285-2299, Aug. 1999.

VEIGA, J. A. P. **A influência das TSMS dos oceanos Pacífico e Atlântico nas chuvas de monção na América do Sul.** 2000. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP.

VITORINO, M. I. **Análise das Oscilações Intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes utilizando a Análise de Ondeletas.** Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, 2002.

VITORINO M. I., SILVA DIAS P.L., FERREIRA N.J. 2006. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 93: 17-35.

WENG, H.; LAU, K.M., 1994. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. **J. Atmos. Sci.**, 51: 2523-2541.

WILLES, D. S. *Statistical methods in atmospheric sciences.* New York: Academic press, 1995. 466 p.

WOLTER, K.; TIMLIN, M.S. Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? **Weather**, v. 53, n. 9, p. 315-324, 1998.

ZEBIAK, S. E. Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region. **Journal of Climate**, v. 6, n. 8, p. 1567-1586, Aug. 1993.

ANEXOS

Anexo 1: Valores de t para os níveis de probabilidade de 0,05; 0,01 e 0,001 e para N de 1 a 90.

	95%	99%	99,90%
N	P=0,05	P=0,01	P=0,001
1	12.71	63.66	636.61
2	4.30	9.92	31.60
3	3.18	5.84	12.92
4	2.78	4.60	8.61
5	2.57	4.03	6.87
6	2.45	3.71	5.96
7	2.36	3.50	5.41
8	2.31	3.36	5.04
9	2.26	3.25	4.78
10	2.23	3.17	4.59
11	2.20	3.11	4.44
12	2.18	3.05	4.32
13	2.16	3.01	4.22
14	2.14	2.98	4.14
15	2.13	2.95	4.07
16	2.12	2.92	4.02
17	2.11	2.90	3.97
18	2.10	2.88	3.92
19	2.09	2.86	3.88
20	2.09	2.85	3.85
21	2.08	2.83	3.82
22	2.07	2.82	3.79
23	2.07	2.81	3.77
24	2.06	2.80	3.75
25	2.06	2.79	3.73
26	2.06	2.78	3.71
27	2.05	2.77	3.69
28	2.05	2.76	3.67
29	2.05	2.76	3.66
30	2.04	2.75	3.65
31	2.04	2.74	3.63
32	2.04	2.74	3.62
33	2.03	2.73	3.61
34	2.03	2.73	3.60
35	2.03	2.72	3.59
36	2.03	2.72	3.58
37	2.03	2.72	3.57
38	2.02	2.71	3.57
39	2.02	2.71	3.56
40	2.02	2.70	3.55
41	2.02	2.70	3.54
42	2.02	2.70	3.54
43	2.02	2.70	3.53
44	2.02	2.69	3.53
45	2.01	2.69	3.52

	95%	99%	99,90%
N	P=0,05	P=0,01	P=0,001
46	2.01	2.69	3.52
47	2.01	2.68	3.51
48	2.01	2.68	3.51
49	2.01	2.68	3.50
50	2.01	2.68	3.50
51	2.01	2.68	3.49
52	2.01	2.67	3.49
53	2.01	2.67	3.48
54	2.00	2.67	3.48
55	2.00	2.67	3.48
56	2.00	2.67	3.47
57	2.00	2.66	3.47
58	2.00	2.66	3.47
59	2.00	2.66	3.46
60	2.00	2.66	3.46
61	2.00	2.66	3.46
62	2.00	2.66	3.46
63	2.00	2.66	3.45
64	2.00	2.65	3.45
65	2.00	2.65	3.45
66	2.00	2.65	3.44
67	2.00	2.65	3.44
68	2.00	2.65	3.44
69	2.00	2.65	3.44
70	1.99	2.65	3.44
71	1.99	2.65	3.43
72	1.99	2.65	3.43
73	1.99	2.64	3.43
74	1.99	2.64	3.43
75	1.99	2.64	3.43
76	1.99	2.64	3.42
77	1.99	2.64	3.42
78	1.99	2.64	3.42
79	1.99	2.64	3.42
80	1.99	2.64	3.42
81	1.99	2.64	3.42
82	1.99	2.64	3.41
83	1.99	2.64	3.41
84	1.99	2.64	3.41
85	1.99	2.63	3.41
86	1.99	2.63	3.41
87	1.99	2.63	3.41
88	1.99	2.63	3.41
89	1.99	2.63	3.40
90	1.99	2.63	3.40

Fonte: HARTER, 2004.

Anexo 2: Histórico dos fenômenos El Niño e La Niña a partir de 1900, com suas respectivas intensidade.

El Niño	La Niña
1902 – 1903 ***	1903 – 1904 ***
1905 – 1906 ***	1906 – 1908 ***
1911 – 1912 ***	1909 – 1910 ***
1913 – 1914 **	1916 – 1918 ***
1918 – 1919 ***	1924 – 1925 **
1923 **	1928 – 1929 *
1925 – 1926 ***	1938 – 1939 ***
1932 **	1949 – 1951 ***
1939 – 1941 ***	1954 – 1956 ***
1946 – 1947 **	1964 – 1965 **
1951 *	1970 – 1971 **
1953 *	1973 – 1976 ***
1957 – 1959 ***	1983 – 1984 *
1963 *	1984 – 1985 *
1965 – 1966 **	1988 – 1989 ***
1968 – 1970 **	1995 – 1996 *
1972 – 1973 ***	1998 – 2001 **
1976 – 1977 *	2007 – 2008 ***
1977 – 1978 *	—
1979 – 1980 *	—
1982 – 1983 ***	—
1986 – 1988 **	—
1990 – 1993 ***	—
1994 – 1995 **	—
1997 – 1998 ***	—
2002 – 2003 **	—
2004 – 2005 *	—
2006 – 2007 *	—
2009 – 2010 *	—
*Fraco, ** Moderado e ***Forte	

Fonte: CPTEC/INPE.