

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas

Marcos Leitão Chamis

CLIMATOLOGIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL: HOLOCENO MÉDIO, PRESENTE E FUTURO

Dissertação apresentada ao Departamento
Ciências Atmosféricas do Instituto de
Astronomia, Geofísica e Ciências
Atmosféricas da Universidade de São Paulo
como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre/Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Estudo e Aplicações
em Tempo e Clima

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Tércio mbrizzi

São Paulo

2015

Marcos Leitão Chamis

**Climatologia da zona de convergência do atlântico sul:
holoceno médio, presente e futuro**

Dissertação apresentada ao
Instituto de Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Mestre em Meteorologia

Área de concentração:
Estudos e Aplicações em Tempo e Clima

Orientação: Tercio Ambrizzi

São Paulo

2015

Para meu avo Raymundo José Dias de Carvalho Leitão pelos valores e exemplos ensinados.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, Cláudia Lorentz de Carvalho Leitão e Roberto Chamis, e minha família pelo apoio e incentivo.

Principalmente aos primos Vinícius Leitão Nogueira, Lana Secchi, Rodrigo Leitão Nogueira, Diandra Araujo e Gisele Leitão Perlingeiro, e aos tios Belinda Leitão e Firmiano Perlingeiro por me receberem em suas casa muitas vezes ao longo desses dois anos.

Agradeço a família Vescovi pelo auxílio prestado durante a minha estadia em São Paulo.

Agradeço ao meu orientador Tércio Ambrizzi pela paciência e pelo tempo disponibilizado.

Agradeço aos demais professores pelos conselhos e por fazerem de tudo para me ajudar a sanar minhas dúvidas.

Agradeço aos colegas Mercél José dos Santos, Álton Oliveira da Silva e José Luis Flores Rojas por me acolherem e me aceitarem como colega de apartamento.

Agradeço aos amigos e colegas, Ana Maria Pereira Nunes, Franciane Rodrigues, Nathalia Machado Crespo, Mario Gavidia, Elisa Glitzenhirn, Alexandre Tomo Tique, Sérgio Mendez, Carolina Grancianinov e Caio Ruman por me apoiarem, pelos momentos de diversão e emprestarem um ombro amigo sempre que necessário.

Agradeço aos colegas Luana Albertani Pampuch, Glauber Camponogara e, em especial, Cristiano Prestrelo pela ajuda e paciência em diversos momentos de minha pesquisa.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo apoio financeiro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estações utilizadas por Liebman e Allured para montar sua base de dados. (retirada de Liebman Allured 2005)	22
Figura 2: Exemplo dos dados de precipitação originais a) antes e b) depois do preenchimento para o dia 01 de março de 1999.....	26
Figura 3: Exemplo de um evento com oito dias de duração.....	30
Figura 4: Três primeiros modos de precipitação diária para os dados observados.....	31
Figura 5: Região na qual os dados originais de precipitação diária estão completos dentro do período utilizado com a região escolhida para as análises em destaque.....	33
Figura 6: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise registrou e o critério detectou (mm/dia).....	34
Figura 7: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise não registrou mas o critério detectou (mm/dia).....	35
Figura 8: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise registrou mas o critério não detectou (mm/dia).....	36
Figura 9: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-Pre.....	38
Figura 10: Igual a figura 8 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.....	39
Figura 11: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise registrou e o critério detectou com o Mod-Pre (mm/dia).....	41
Figura 12: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise não registrou mas o critério detectou para o Mod-Pre (mm/dia).....	42

Figura 13: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise registrou mas o critério não detectou com o Mod-Pre (mm/dia).....	43
Figura 14: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-HM1.....	45
Figura 15: Igual a figura 13 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.....	46
Figura 16: Média de precipitação diária dos casos detectados para o Mod-HM1 a cada 5 anos (mm/dia).....	47
Figura 17: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-HM2.....	48
Figura 18: Igual a figura 16 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.....	49
Figura 19: Média de precipitação diária dos casos detectados para o Mod-HM2 a cada 5 anos (mm/dia).....	50
Figura 20: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-4.5.....	51
Figura 21: Igual a figura 19 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização O retângulo representa a região selecionada.....	52
Figura 22: Média de precipitação diária dos casos detectados para o Mod-4.5 do ano a) 2070 a 2075, b) 2076 a 2080, c) 2081 a 2085, d) 2086 a 2090, e) 2091 a 2095 e f) 2096 a 2100 a partir do início do modelo (mm/dia).....	53
Figura 23: Valores das climatologias mensais de precipitação diária na região de máximos valores para os meses de outubro a março para todas as bases de dados utilizadas (mm/mês).....	54

Figura 24: Esquema de matriz formada no passo 1 (retirada de Bjornsson e Venegas 1997).....58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Método da ponderação espacial.....	24
Equação 2: Descrição do critério utilizado.....	28
Equação 3: Equação da correlação.....	59

LISTA DE SIGLAS

ACP – Analise de Componentes Principais

CMIP – Coupled Modeling Intercomparison Project

IPSL – Institute Pierre Simon Laplace

JBN – Jato de Baixos Niveis

LEA – Base de dados observados de Liebman e Allured

MOD-PRE – Saída do modelo para o clima atual

MOD-HM1 – Saída do modelo para os primeiros 30 anos do holoceno médio

MOD-HM2 – Saída do modelo para os últimos 30 anos do holoceno médio

MOD-4.5 – Saída do modelo para o clima futuro com RCP 4.5

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

PMIP – Paleoclimate Modeling Intercomparison Project

RCP – Representative Concentration Pathways

ROL – Radiação de Onda Longa

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

RESUMO

CHAMIS, M. L. **Climatologia da Zona de Convergência do Atlântico Sul: Holoceno Médio, Presente e Futuro.** 2015 65 f. Dissertação

(Mestrado) – Departamento de Ciencias Atmosfericas, Instituto de Astronomia Geofisica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Neste trabalho, o posicionamento, intensidade e média de ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foram analisados. Para isso, foram utilizados dados diários de precipitação sobre a América do Sul, para caracterizar o clima recente, e dados de um modelo numérico acoplado oceano-atmosfera para avaliar o clima presente e para os períodos do holoceno médio (6Ka) e clima futuro. Foi utilizado um critério baseado exclusivamente na variável precipitação para a detecção de eventos ZCAS. Esse critério foi inicialmente testado nos dados observacionais, a fim de analisar a sua eficiência na detecção de ZCAS. O mesmo processo foi aplicado aos dados simulados do tempo recente, e para o holoceno médio e clima futuro. Foi aplicado a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP), para caracterizar a ZCAS e selecionar a região de máximos valores. Os resultados mostram que o critério utilizado é eficiente para a detecção de casos ZCAS e que a média de eventos/ano obtida com os dados de simulação do clima presente foi similar aos obtidos com os dados observacionais. Para o holoceno médio encontramos uma média maior de eventos/ano, porém com uma média menor de dias/evento o que apresentou um valor menor de dias de ZCAS/ano quando comparado com o clima presente. O clima futuro apresentou um valor mais próximo do número de eventos/ano, porém com um valor de

dias de ZCAS/ano também menor. Os valores climatológicos de precipitação mensal foram menores no período do holoceno médio e maiores para o cenário de clima futuro, o que, combinado com os valores de dias de ZCAS/ano, sugerem uma anomalia negativa de precipitação sobre a região de ZCAS no holoceno médio.

Palavras Chave: ZCAS, Critério, Precipitação, Holoceno

ABSTRACT

CHAMIS, M. L. Climatology of the South Atlantic Convergence Zone: Mid Holocene, Present and Future. 2015 65 f. Dissertação

(Mestrado) – Departamento de Ciencias Atmosfericas, Instituto de Astronomia Geofisica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

This work analyzes the positioning, intensity and number of occurrence rate of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ). Daily precipitation data over South America, was used to characterize the present climate, as well as simulations from a Coupled Ocean-Atmosphere model that produced present climate, mid-Holocene (6Ka) and the future climate data. A criteria only based on precipitation was the tool for the detection of the SACZ occurrences. This criterion was first tested whit observational data in order to verify its efficiency. After that, it was used with the model output for the present climate, the mid-Holocene and future climate. The results showed that the criterion is efficient to detect SACZ events. For the mid-Holocene it was found that the number of events/year is high, but the days/event is lower also showing a lower value of days of SACZ/year than the model output for the present. The model output for the future showed similar number of events/year when compared to the output for the present climate, but with a lower number of the days of SACZ/year. The monthly values of climatology were lower on the mid holocene cenario, and greater on the future climate cenario, what sugest, when combined with de days of SACZ/year value, a negative annomaly of precipitation on the SACZ region durring the mid holocene period.

Key Words: SACZ, Criteria, Precipitation, Holocene

INDICE

Lista de Figuras.....	Pág 5
Lista de Equações.....	Pág 8
Lista de Siglas.....	Pág 9
Resumo.....	Pág 10
Abstract.....	Pág 12
1.0 Introdução.....	Pág 15
2.0 Revisão Bibliográfica.....	Pág 17
3.0 Dados.....	Pág 21
3.1 Descrição dos Dados.....	Pág 21
3.2 Preenchimento de Falhas.....	Pág 24
4.0 Metodologia.....	Pág 27
4.1 Descrição do Critério.....	Pág 28
5.0 Resultados.....	Pág 31
5.1 Dados Observados.....	Pág 31
5.2 Modelo para o Clima Presente.....	Pág 37
5.3 Holoceno Médio.....	Pág 44
5.4 Clima Futuro.....	Pág 51
5.5 Climatologias.....	Pág 54

5.6 Duração dos Eventos.....	Pág 55
6.0 Conclusões.....	Pág 56
Anexo A.....	Pág 58
7.0 Referências Bibliográficas.....	Pág 60

1.0 INTRODUCAO

A precipitação é provavelmente a variável meteorológica de maior interesse do público em geral. A sociedade tem diversos interesses relacionados a chuva, desde agricultores, que desejam planejar suas próximas plantações, passando por cidadãos comuns, que querem planejar o melhor momento para sair de casa, organizadores de eventos, que precisam decidir quais os melhores dias para o evento que estão organizando, chegando até a forças de segurança pública, que precisam ficar atentos para os riscos que a precipitação pode trazer a população. Por isso seu estudo é bastante justificado.

Dentre os fenômenos que afetam a precipitação, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que é o principal sistema regulador da precipitação ao longo do verão na América do Sul.

Estudar o comportamento desse sistema no passado e presente, nos ajudará a compreender melhor o mesmo no futuro, por isso é importante analisar ZCAS ao longo do holoceno médio, uma vez que esse período possui um considerável suprimento de informações que podem ser retiradas de registros físicos, tais como espelhotemas, testemunhos de gelo, anéis de árvores entre outros.

A ZCAS é caracterizada por uma banda persistente de nebulosidade, orientada no sentido NW-SE, desde a região amazônica até o Oceano Atlântico sul. É uma região de forte gradiente de temperatura potencial, sendo uma “divisória” entre o ar quente e seco a nordeste com o ar frio e úmido a sudoeste.

A ZCAS, normalmente é analisada utilizando a radiação de onda longa (ROL) para aferir seu posicionamento.

Quadro(1994) e Sanches e Silva Dias(1996) definiram os quatro critérios a seguir como a melhor forma para caracterizar um evento de ZCAS:

- convergência de umidade em 850hPa
- ventos de sul a oeste da zona de convergência
- cavado em 500 hPa a oeste da região de convergência
- nebulosidade persistente em imagens de satélite

Esses critérios, além do uso de ROL, são eficientes para determinar a localização da ZCAS em um primeiro momento, porém para uma melhor análise quantitativa, além de um estudo para o clima futuro e passado, o uso de precipitação se faz indispensável.

O seguinte trabalho tem por objetivos:

1-utilizar e testar a eficácia de um critério para detecção de eventos de ZCAS baseado exclusivamente na precipitação.

2 – Utilizar o critério para dados de saída de modelo para o período referente ao holoceno médio.

3 – Utilizar o critério para dados de saída de modelo para o período referente ao clima futuro.

2.0 REVISAO BIBLIOGRAFICA

As primeiras referências citando uma banda de nebulosidade persistente sobre a América do Sul remetem a década de 70. Um dos primeiros a associar essa banda de nuvens com a atividade convectiva na Amazônia foi Taljaard 1972.

Streten (1973) estudou a localização e movimento dessa banda de nebulosidade utilizando campos médios de 5 dias de dados de satélite, além de discutir a relação entre a nebulosidade e padrões de onda longa. Analisando valores médios de três anos ele sugeriu que a localização da banda de nebulosidade sobre o Atlântico era bastante estável, o mesmo acontecia sobre o Pacífico, enquanto que no o Oceano Índico havia um deslocamento para oeste no verão e para leste no inverno. Utilizando técnicas de suavização para um período de cinco dias, a fim de filtrar apenas onda longas, ele mostrou a presença de ondas quase estacionárias a leste das regiões de convecção intensa, sugerindo que há uma forte ligação entre ambas.

Krishnamurty et al (1973) analisaram o comportamento e a intensidade do movimento zonal na alta troposfera ao longo do verão no Hemisfério Sul. Eles mostraram a existência de regiões de divergência de massa coincidindo com as regiões convectiva sobre o nordeste da América do Sul e Indonésia. Eles sugerem também que a forte correlação entre as regiões de intensa atividade convectiva no verão do Hemisfério Sul com os máximos de velocidade potencial na alta troposfera não era uma simples coincidência.

Através da análise do fluxo médio para dezembro de 1969 para os trópicos, eles mostraram a existência de três grandes cavados sobre os oceanos ao longo do Hemisfério Sul próximos as regiões de convecção intensa.

Yassunary 1997, com o auxílio de imagens de satélite, foi um dos primeiros a mostrar a existência de três bandas persistentes de nebulosidade no verão do Hemisfério Sul com inclinação NW-SE, as quais hoje são chamadas de Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), ZCAS e Zona de Convergência do Índico.

Kodama (1992) fez uma análise sobre essas três regiões utilizando valores médios para dez dias. Ele encontrou que elas apresentam uma série de características em comum como o fato destas se formarem a partir de uma região de intensa convecção, como a região amazônica no caso da ZCAS, e se estenderem a leste e em direção ao polo.

Outra característica em comum encontrada foi o fato delas estarem associadas a um jato subtropical e surgirem a leste de um cavado quase estacionário que por sua vez se encontra a sudoeste da região de convecção. Percebeu-se também o fato de todas elas serem regiões de convergência de umidade, proveniente da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no lado nordeste e da monção no lado sudoeste.

Kodama (1993) continuou as análises feitas no trabalho anterior, mas com mais ênfase na circulação de grande escala que daria suporte para a formação das zonas de convecções. Analisando as condições sinóticas em momentos nos quais essas zonas estão ativas, e comparando com as condições em momentos nos quais elas não estão ativas, ele concluiu que

duas condições quase estacionárias são satisfeitas. São elas, um fluxo para o polo no limite oeste da alta subtropical em baixos níveis e a presença do jato subtropical em latitudes subtropicais.

Figuerola et al (1995) Utilizaram um modelo de coordenadas ETA para analisar os efeitos da topografia da cordilheira dos Andes e da fonte de calor latente referente a convecção na Amazônia. Eles foram capazes de reproduzir a convergência em baixos níveis da ZCAS, mas somente com a utilização de um campo de vento adequado e de uma orografia realista. Eles mostraram também que para o resultado da simulação ser satisfatório, foi necessária a utilização de uma fonte de calor latente com variação ao longo do dia.

Lenters e Cook (1999) estudaram o papel da circulação de grande escala sobre a variação da precipitação sobre a América do Sul no verão, com ênfase no papel da Alta da Bolívia. Eles perceberam que esse sistema se desloca para sul e se intensifica em épocas com precipitação mais intensa. Eles também conseguiram reproduzir um evento de ZCAS utilizando um modelo de circulação global, sem utilizar uma fonte de calor latente que varia-se ao longo do dia, além de mostrar a importância de um transporte de umidade a partir da Amazônia e de frente e ciclones para dar suporte a ZCAS.

A relação entre o posicionamento e intensidade da ZCAS com fenômenos remotos, também foi alvo de muitos estudos. Entre eles destaca-se Chaves e Nobre (2004) que pesquisou a relação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a ZCAS. Para isso eles utilizaram um modelo de circulação geral da atmosfera e um modelo de circulação geral oceânico.

Eles concluíram que anomalias quentes de TSM no Atlântico sul tendem a intensificar e deslocar para norte a ZCAS, enquanto que anomalias frias tendem a enfraquecê-la. Concluíram também, que uma ZCAS mais intensa, tende a enfraquecer a anomalia positiva original, por causa da sua maior cobertura de nuvens, em um processo de feedback negativo.

Outros trabalhos, como Nogués-Peagle e Mo (1997) e Liebmann et al (1999), analisaram a relação entre as anomalias de precipitação na região da ZCAS e o transporte de umidade sobre o continente, principalmente pelo jato de baixos níveis (JBN).

Eles mostraram que quando o fluxo de umidade através do JBN é forte, a convecção na ZCAS é fraca.

Melo e Marengo (2008) realizaram simulações para estudar o clima ao longo do holoceno médio (6Ka). Para isso utilizaram um modelo com variações nos parâmetros orbitais e de concentração de CO₂ para valores coincidentes com os de 6 mil anos atrás. Eles perceberam um enfraquecimento da intensidade dos ventos de norte a leste da cordilheira dos andes e, conseqüentemente, uma menor transporte de umidade da bacia amazônica para a bacia do prata, o que por fim resulta em menores taxas de precipitação sobre boa parte da América do Sul.

Outro trabalho que estudou a ZCAS ao longo do holoceno médio é de Cruz et. al (2009), onde eles compararam registros de isótopos de oxigênio, oriundos de espelhotemas dos últimos 26 mil anos do nordeste do Brasil, com reconstruções de precipitação sobre a América do Sul para o presente. Eles encontraram que na região da ZCAS, a precipitação era menos intensa durante o holoceno médio em relação ao tempo atual.

3.0 DADOS

Para realizar uma análise sobre o fenômeno da ZCAS em diversos momentos, é necessário a utilização de dados observados de tempo presente, para que possa ser feita uma validação da saída do modelo comparando a mesma época. Uma vez feito isso, serão utilizados a saída desse modelo para outros períodos e cenários para realizar a análise.

3.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para realizar este trabalho, foram utilizados dados observados e saídas de modelo da variável precipitação. Para o tempo presente (out – mar de 1995 a 2001), foram utilizados dados disponibilizados por Liebman e Allured (2005). Este conjunto de dados pode ser obtido no site do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.south_america_precip.html) existindo duas resoluções espaciais disponíveis, 1 grau e 2,5 graus.

Para montar esta base de dados, Liebman e Allured utilizaram mais de 1900 estações sobre a América do Sul, as quais estão mostradas na figura 1. Após isso, eles realizaram um controle de qualidade, removendo casos suspeitos, como um ano completo apenas com valores zero ou um valor faltante seguido de um valor acima de 20 mm. Então foi calculada uma média dos valores das estações em um círculo com raio igual a 0,75 vezes o valor da resolução.

Para este trabalho, optou-se pela utilização dos dados com 1 grau de resolução.

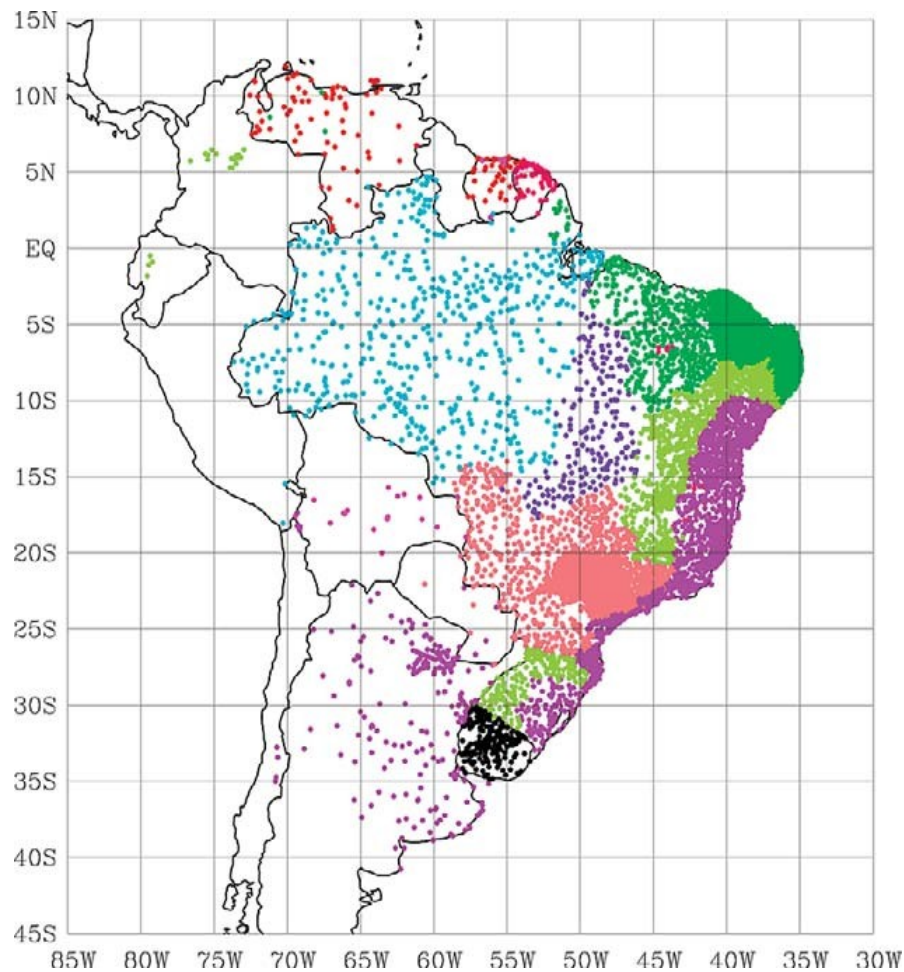


Figura 1: Estações utilizadas por Liebman e Allured para montar sua base de dados. (retirada de Liebman e Allured 2005)

Foram utilizados também saídas de modelo para o tempo presente, o holoceno médio e clima futuro com Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5, o que significa uma concentração de gases estufa suficiente para elevar a temperatura do planeta em 1,4 °C até a metade do século 21 e 1,8°C até o final do mesmo, que será futuramente chamado de Mod-4.5.

Para diminuir a probabilidade de erro devido a variações nos modelos, com resoluções diferentes ou condições de contorno diferentes, decidiu-se utilizar um mesmo modelo para todos os períodos acima citados.

A busca pelos modelos foi realizada entre os disponíveis no Paleoclimate Modeling Intercomparison Project, que hoje esta na sua terceira fase (PMIP-3) e faz parte do Coupled Modeling Intercomparison Project, que por sua vez esta na quinta fase (CMIP-5) (<http://pcmdi9.llnl.gov/esgf-web-fe/>), e optou-se pela utilização do modelo do Institute Pierre Simon Laplace (IPSL-CM5A-LR) com 1.9 graus de resolução de latitude e 3.75 graus de resolução de longitude. Mais detalhes sobre o modelo disponíveis em Dufresne et. al (2013).

Para o experimento do holoceno médio, eles iniciam o modelo com os parâmetros orbitais, excentricidade de 0.018682, obliquidade de 24.105 e longitude do periélio de 0.87, e as condições atmosféricas, concentração de CH₄ reduzida de 760 para 650, nesse período. Os outros parâmetros, como concentração dos demais gases estufa, insolação, aerossóis, vegetação entre outros, foram utilizados com valores do período pré-industrial.

O modelo é integrado por um período de mil anos, sendo que os últimos trezentos anos estão disponíveis para uso no site. Para a análise referente ao tempo presente, selecionou-se o mesmo período utilizado nos dados observados, de 1995 a 2001, enquanto que para o estudo do holoceno médio, utilizou-se dois períodos, os primeiros e os últimos 30 anos disponíveis, afim de fazer comparações.

Para a análise do clima futuro, utilizou-se o período de 2070 a 2100 sendo os últimos 30 anos disponíveis.

3.2 PREENCHIMENTO DE FALHAS

Os dados observados disponibilizados por Liebman e Allured, embora de muito boa qualidade, continham algumas falhas, principalmente nos anos iniciais. Por causa disso, foi necessário realizar o preenchimento de tais falhas antes de seguir com o estudo. Pesquisando na literatura por métodos matemáticos para completar esse objetivo, optou-se por utilizar o método da ponderação espacial descrito na equação 1. Esse método foi escolhido por ser de simples aplicação e por apresentar resultados satisfatórios (Oliveira et. al 2010)

$$P_X(d) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_X}{M_i} P_i(d)$$

Equação 1: Método da ponderação espacial

Na equação:

d - dia em questão

Px - ponto onde se encontra a falha

Mi - media anual de cada um dos pontos em torno de Px

Mx - media anual do ponto Px

Pi - precipitação no ponto adjacente a Px no dia d

n - numero de pontos utilizados no calculo.

Se um ponto P_x tiver uma falha no dia d são utilizados os valores disponíveis nos pontos adjacentes P_i . Como exemplo, se tiver uma falha no dia 08 de junho de 1987 em um ponto, calcula-se a média anual de 1987 desse ponto (M_x), e a média anual de 1987 para cada ponto adjacente (M_i) disponível, ou seja pontos onde não haja falhas no dia 08 de junho de 1987, e calcula-se a somatória de equação. Se por acaso o ponto P_x estiver faltante ao longo de todo ano de 1987, portanto sendo impossível calcular M_x , esse ponto recebe o valor de 0 para todo o ano. Sabemos que dado faltante e 0 possuem significados distintos, porém é a melhor aproximação na qual chegamos, uma vez que não podemos ter dados faltantes para dar prosseguimento na metodologia. Isso ocorreu quase que exclusivamente sobre o oceano e nos primeiros anos de dados (i.e 1940 – 1980). Caso eventualmente seja possível calcular M_x , mas não tiver nenhum ponto adjacente disponível no mesmo dia, então P_x no dia recebia o valor de M_x . Uma amostra dos dados antes e depois da aplicação desse método para o dia 1 de março de 1999 pode ser visualizado na figura 2.

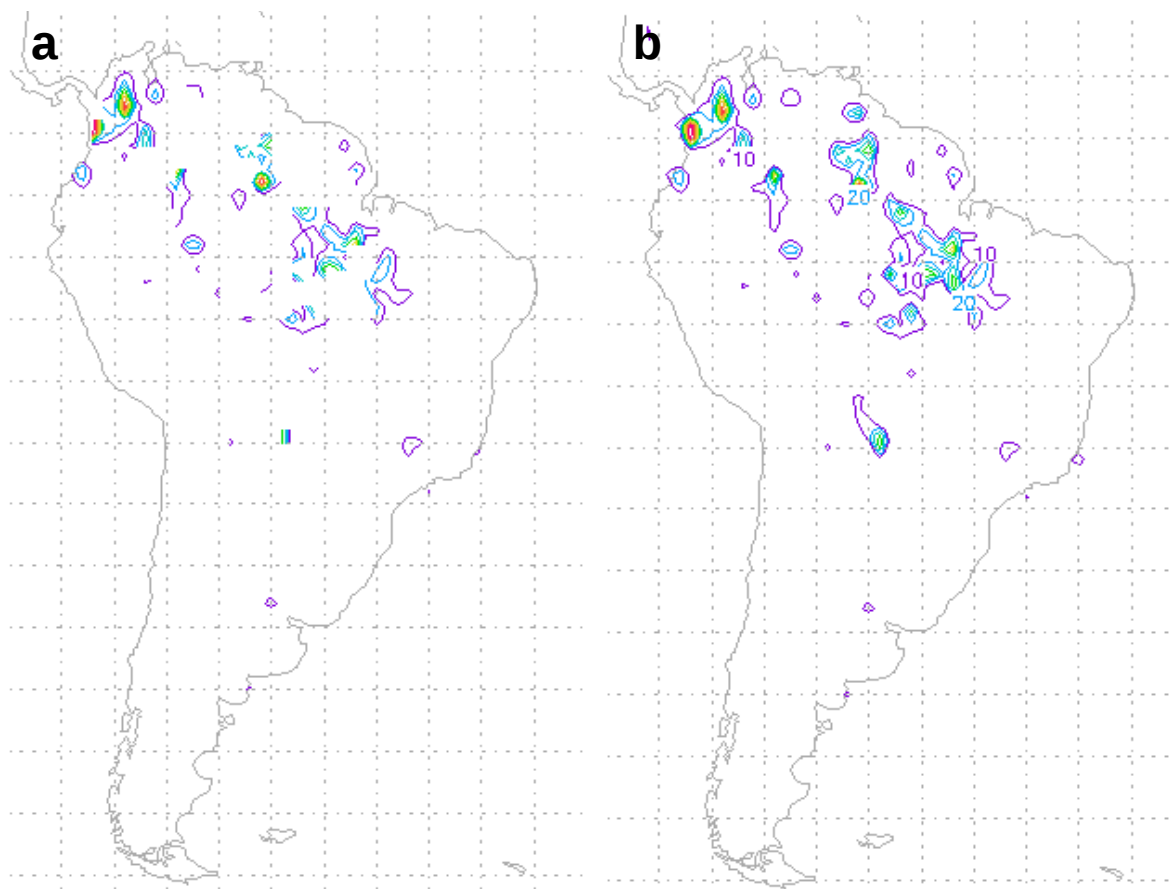


Figura 2: Exemplo dos dados de precipitação originais a) antes e b) depois do preenchimento para o dia 01 de março de 1999.

4.0 METODOLOGIA

Uma vez que os modelos tem dificuldade em representar padrões com escala intra-sazonal, como é o caso da ZCAS, utilizaremos uma técnica conhecida como Análise de Componentes Principais (ACP), que se encontra detalhada no Anexo A. Assim poderemos selecionar o modo que represente a ZCAS e selecionar a região de máximos valores para aplicar o critério descrito na seção 4.1.

Antes de aplicar a ACP, foram selecionados apenas os meses de outubro a março, uma vez que esse é o período no qual há a ocorrência de ZCAS.

Uma vez aplicada essa técnica, selecionou-se o modo que mais se assemelhava a configuração de ZCAS. Esse modo se revelou como sendo o segundo modo. Após isso, selecionou-se a região de máximos valores do modo e calculou-se uma série temporal média de precipitação diária para essa região com os dados originais preenchidos. Então por fim, somou-se essa série temporal com a série temporal do modo, a fim de obter a série reconstruída do modo.

Nessa série reconstruída, foi aplicado o critério e o resultado foi comparado com a base de dados do Boletim Climanálise.

O critério, descrito na figura 3, foi utilizado em dados observados a fim de testar sua eficácia em dados reais, em seguida foi testado com a saída do modelo para o mesmo período, agora referido como Mod-Pre a fim de validar a sua utilização. Além disso, o mesmo foi utilizado para a saída do holoceno médio para os primeiros 30 anos disponíveis, aqui chamados de Mod-HM1 e para os últimos 30 anos disponíveis, a partir de agora nomeados Mod-HM2, além do cenário do clima futuro com RCP 4.5.

4.1 DESCRIÇÃO DO CRITÉRIO

A forma de detecção de ZCAS a ser utilizado foi sugerido por Ambrizzi e Ferraz 2015, e baseia-se exclusivamente na precipitação. Uma vez que essa variável pode ser obtida não apenas em dados observados, mas também em modelos de paleoclima e clima futuro, ele poderá ser utilizado para auxiliar a comparação entre os eventos nas distintas épocas.

A regra a ser testada é dividida em cinco componentes como segue.

$\text{dia} > 6\% \text{CLIM}$	$\sum_{i=i-2}^{i+2} \text{dia}(i) > 12\% \text{CLIM}$
$\sum_{i=i-1}^{i+1} \text{dia}(i) > 10\% \text{CLIM}$	$\sum_{i=i-3}^{i+3} \text{dia}(i) > 20\% \text{CLIM}$

Equação 2: Descrição do critério utilizado.

- 1 - Precipitação igual ou superior a 6% da climatologia mensal.

- 2 – Precipitação igual ou superior a 10% da climatologia mensal na soma do dia anterior ao dia posterior ao dia encontrado com o passo 1.

- 3 – Precipitação igual ou superior a 12% da climatologia mensal na soma de dois dias anteriores a dois dias posteriores ao dia encontrado com o passo 1.

4 – Precipitação igual ou superior a 20% da climatologia mensal na soma de três dias anteriores a três dias posteriores ao dia encontrado com o passo 1.

5 – Não pode haver nenhum valor nulo ao longo dos 7 dias.

Será assumido que para poder afirmar a ocorrência de um caso de ZCAS a metodologia descrita precisa ser satisfeita por no mínimo três dias consecutivos.

A duração dos eventos se deu contando o número de dias nos quais o método foi satisfeito. Caso dois eventos tivessem um ou dois dias de diferença entre eles, eram contados como um único evento.

Analizamos também a duração dos eventos onde a ideia básica de como a duração de um evento foi considerada é descrito na figura 3. Nesse exemplo o evento começa no dia 6, o primeiro no qual o critério é satisfeito, e termina no dia 13.

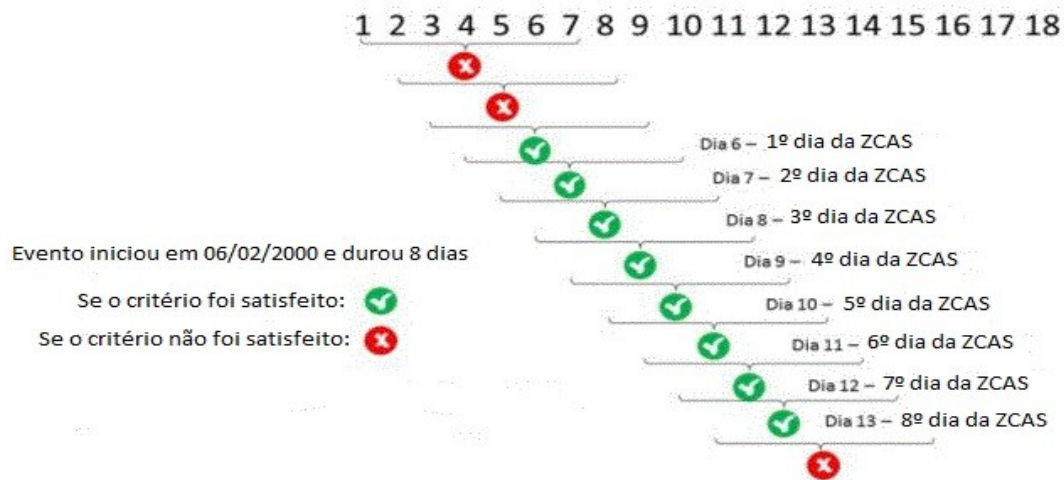


Figura 3: Exemplo de um evento com oito dias de duração.

O início do evento foi considerado no primeiro dia no qual o critério foi satisfeito, e o final no último. No caso de dois eventos apresentarem um ou dois dias de diferença entre eles, eles são considerados um único evento.

5.0 RESULTADOS

5.1 DADOS OBSERVADOS

Para avaliar se o critério é eficaz na detecção de casos de ZCAS, o mesmo foi utilizado nos dados observados e no Mod-Pre.

Primeiramente foram obtidos os três primeiros modos para os dados observados para toda a América do Sul, afim de determinar qual dos modos apresentava a configuração semelhante ao da ZCAS. Os três primeiros modos obtidos estão representados na figura 4.

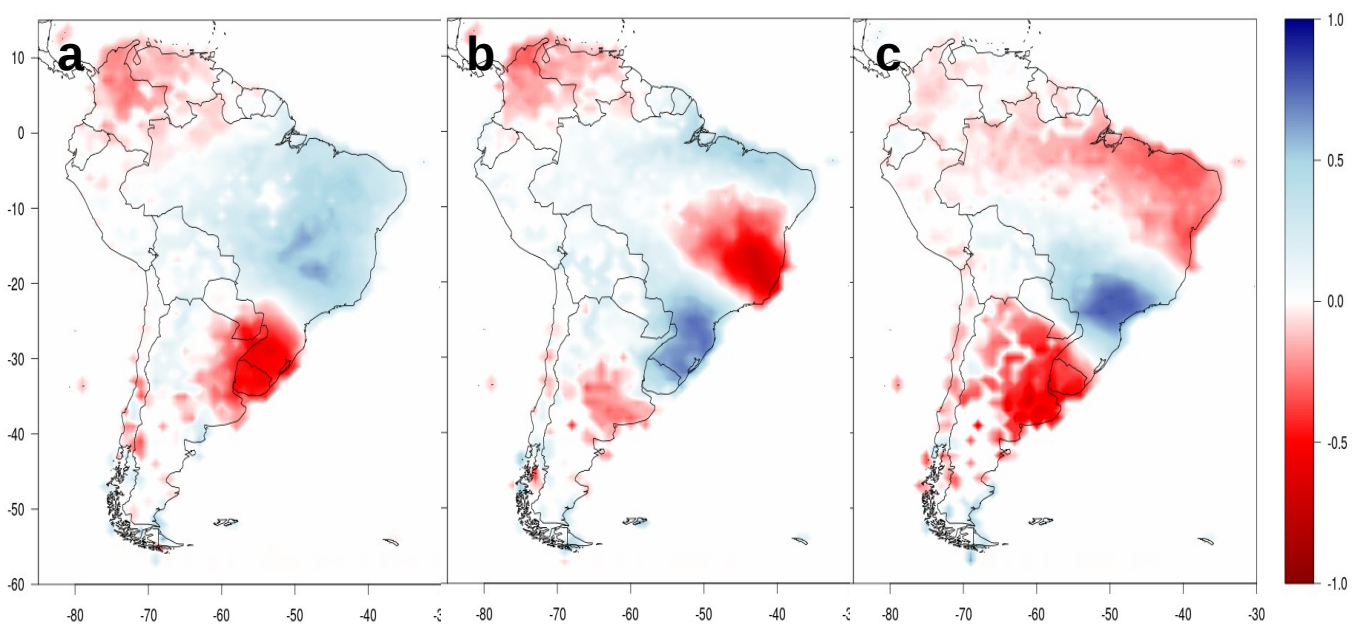


Figura 4: Três primeiros modos de precipitação diária para os dados observados.

O primeiro modo obtido a partir dos dados observados, representado na figura 4 a), apresenta o chamado dipolo de verão, e explica aproximadamente 5,4% da variância

O segundo modo, apresentado na figura 4 b), é aquele que mais se assemelha a configuração de ZCAS, e explica aproximadamente 3,5% da variância.

O terceiro modo, mostrado na figura 4 c), explica aproximadamente 3% da variância total dos dados.

Após selecionar o segundo como aquele no qual a ZCAS aparece configurada, delimitou-se como a região de máximos valores aquela entre, 20S a 15s e 48W a 40W, que engloba boa parte da região sudeste do Brasil, mais especificamente o norte de Minas Gerais. Essa escolha foi feita por conter os máximos valores referente a ZCAS e pelo fato de não apresentar dados faltantes ao longo desse período, como mostra a figura 5, o que diminui consideravelmente a chance de erro devido ao método de preenchimento de falhas. O período em questão foi escolhido por ser um período que pode ser comparado com o Climanálise.

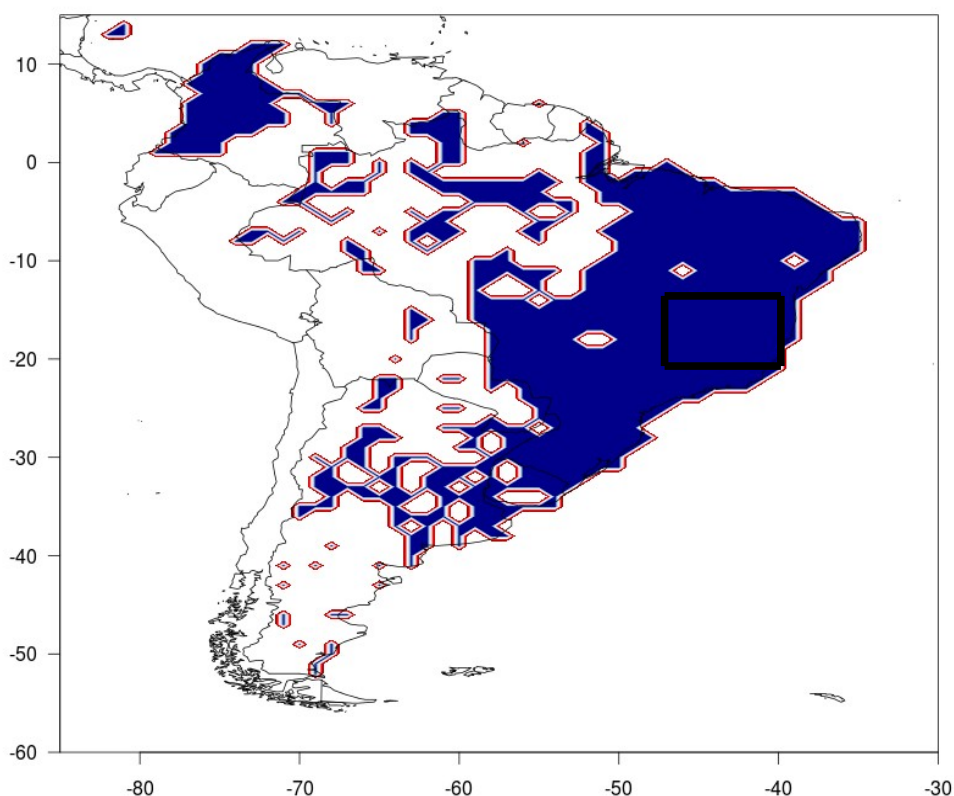


Figura 5: Região na qual os dados originais de precipitação diária estão completos dentro do período utilizado com a região escolhida para as análises em destaque.

Aplicando a metodologia nessa região, o critério foi capaz de identificar 27 casos no total, acusando uma média de 4,5 casos por período (i.e outubro a março). Inserido nesses 27 casos acusados pelo critério, 11 coincidem com os registrados pelo Boletim Climanálise como sendo ZCAS num total de 26 descritos. A duração média dos eventos foi de 5 dias, com o maior evento sendo de 12 dias e o menor de 3.

A partir desse resultado, foram feitos três campos médios de precipitação. Um para analisar os eventos registrados pela Climánálise e detectados também pelo critério (Figura 6), o segundo para estudar aqueles detectados pelo critério mas não registrados pela Climánálise (Figura 7) e um terceiro para analisar os casos registrados pela Climánálise mas não detectados pelo critério (Figura 8).

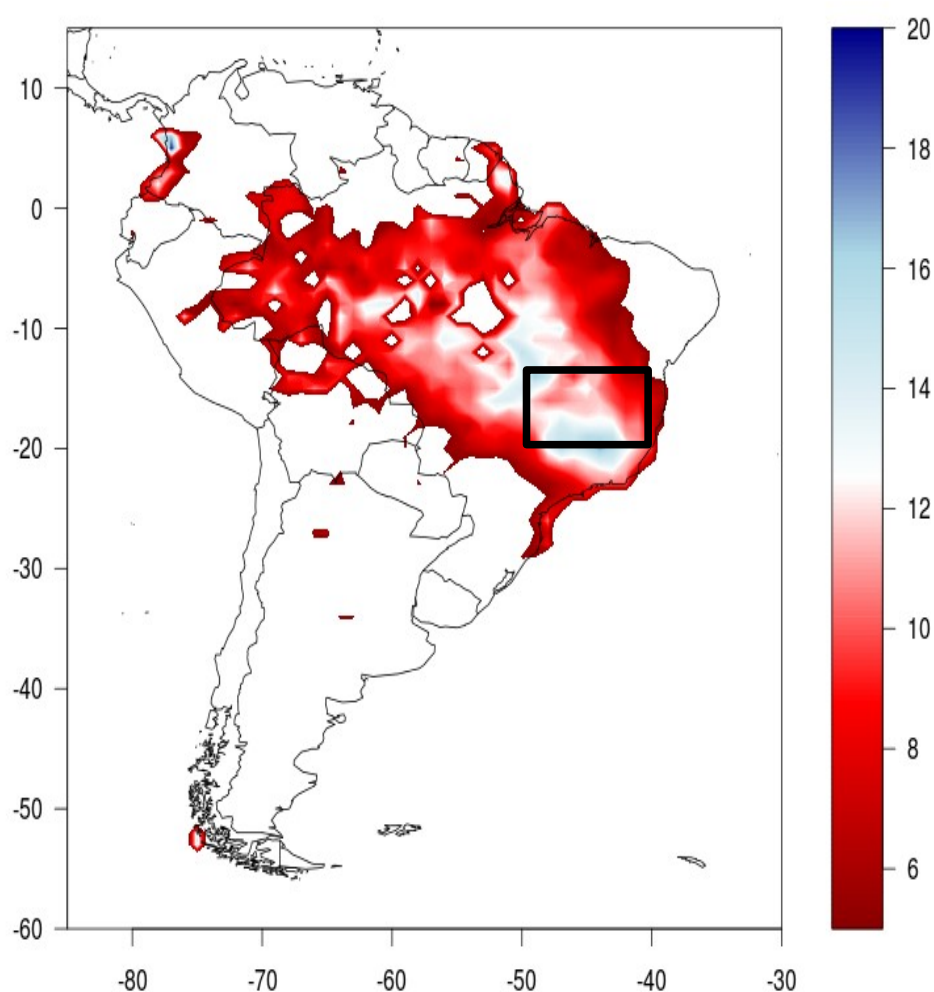


Figura 6: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climánálise registrou e o critério detectou (mm/dia).

A figura 6 mostra que os eventos coincidentes, ou seja tanto registrados pela Climánálise quanto detectados pelo critério, apresenta a configuração típica de um evento ZCAS, com precipitação sobre a região escolhida.

Quando o evento de ZCAS ocorre sobre a região de máximos valores, o critério se mostrou capaz de detectá-la.

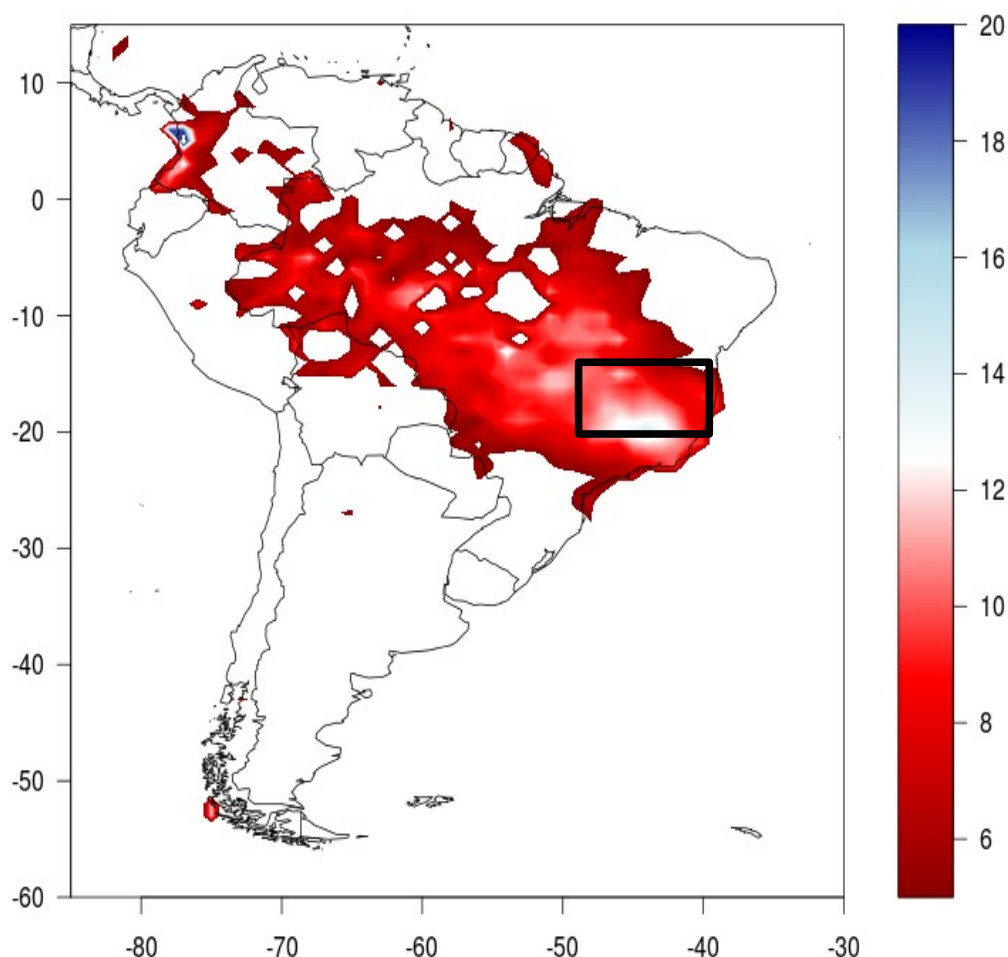


Figura 7: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanálise não registrou mas o critério detectou (mm/dia).

A figura 7, assim como a figura 6, também apresentou uma configuração típica de um evento de ZCAS, com precipitação significativa sobre a região escolhida. Uma vez que o nosso critério é objetivo, considerando apenas intensidade de precipitação e sua localização, o critério acabou detectando esses eventos mesmo que a Climanálise não os registre como ZCAS.

Provavelmente, como a Climanálise é mais subjetiva ao fazer a análise, eventualmente algum dos parâmetros que eles utilizam para caracterizar ZCAS acabou não sendo satisfeito, como um gradiente de umidade não muito significativo em 850hPa, ou uma nebulosidade não muito persistente nas imagens de satélite.

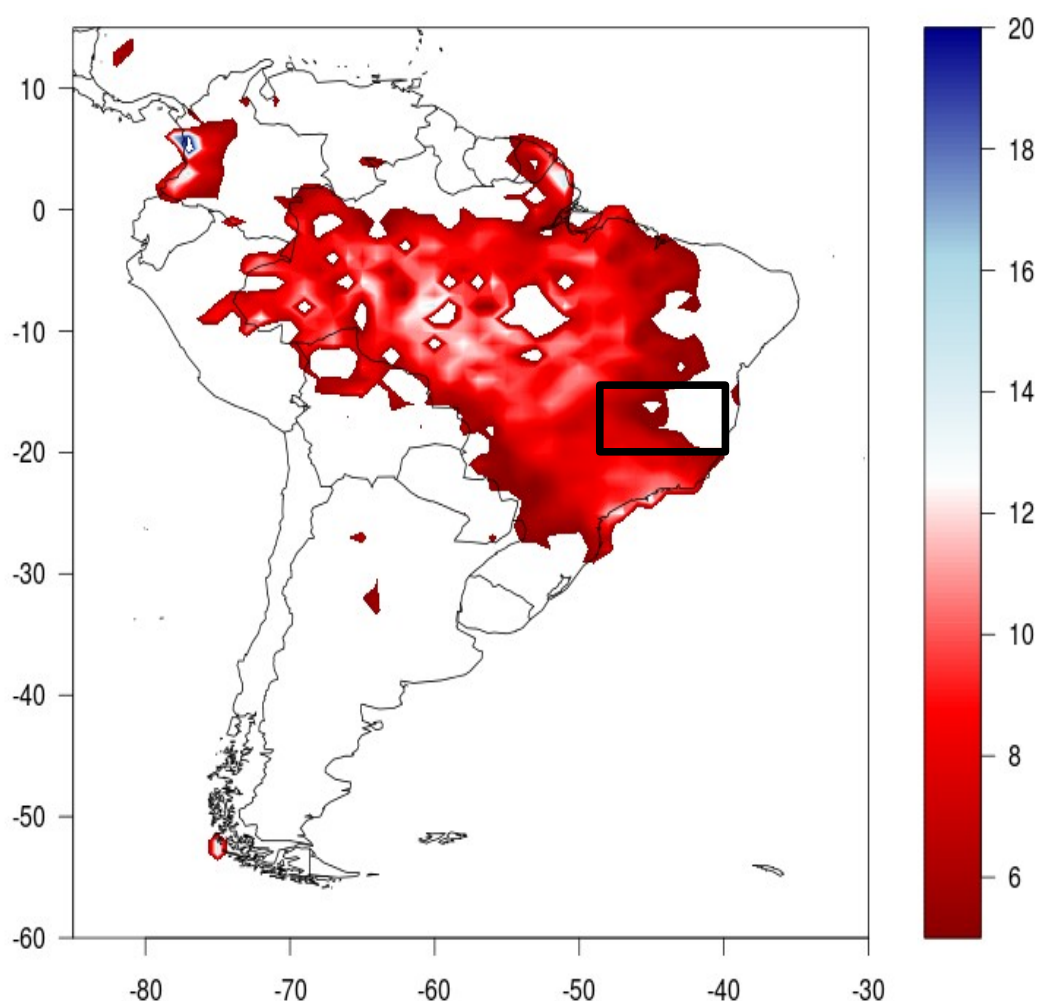


Figura 8: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanálise registrou mas o critério não detectou (mm/dia).

Nos casos que o critério não detectou, a precipitação mais intensa estava deslocada da região selecionada, ocorrendo mais ao sul do Brasil, além disso os valores médios de precipitação também foram menores, por isso o critério não foi capaz de detectar esses eventos.

Apesar do critério não ter detectado todos os eventos registrados pela Climanálise, especificamente os que ocorreram fora da região de valores máximos, ele compensou detectando eventos que foram deixados de lado devido a outros parâmetros que a Climanálise leva em consideração, como o gradiente de umidade em baixos níveis. Em conclusão o número de eventos no período e a média de eventos por ano foram bastante próximos, por isso assume-se que o critério é satisfatório para detecção de ZCAS.

5.2 MODELO PARA O CLIMA PRESENTE

Uma vez que o critério se mostrou satisfatório, iniciou-se a análise com o modelo. Primeiramente a análise foi realizada para o Mod-Pre, afim de avaliar como o mesmo se comporta em relação aos dados observados.

Os três modos para o mesmo período (out-mar de 1995-2001), para o Mod-Pre, são mostrados nas figura 9. Eles explicam respectivamente 9,6%, 3,8% e 3,3% da variância total dos dados. Os modos obtidos com a saída do modelo são bastante parecidos com os obtidos com os dados observados para a mesma época, o que sugere que o modelo consegue reproduzir satisfatoriamente os principais padrões dos dados observados.

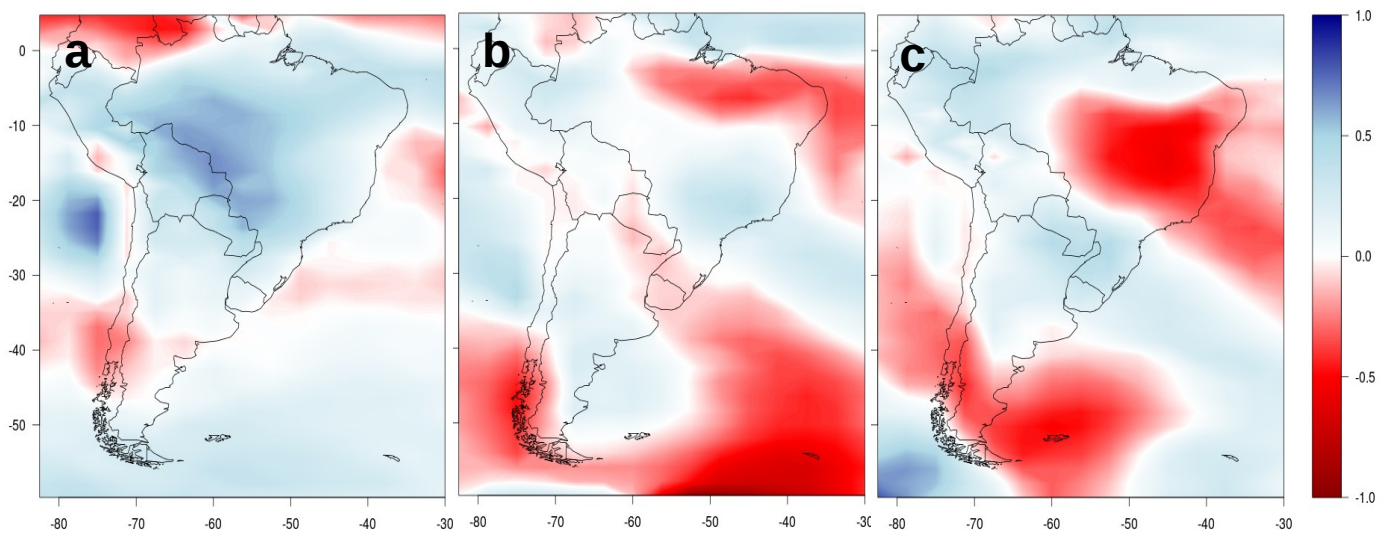


Figura 9: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-Pre.

Assim como ocorreu utilizando os dados de LEA, optou-se por escolher o segundo modo como sendo aquele que representa a ZCAS.

A figura 10 mostra o segundo modo, porém com a escala reduzida para melhor visualização de região de máximos valores.

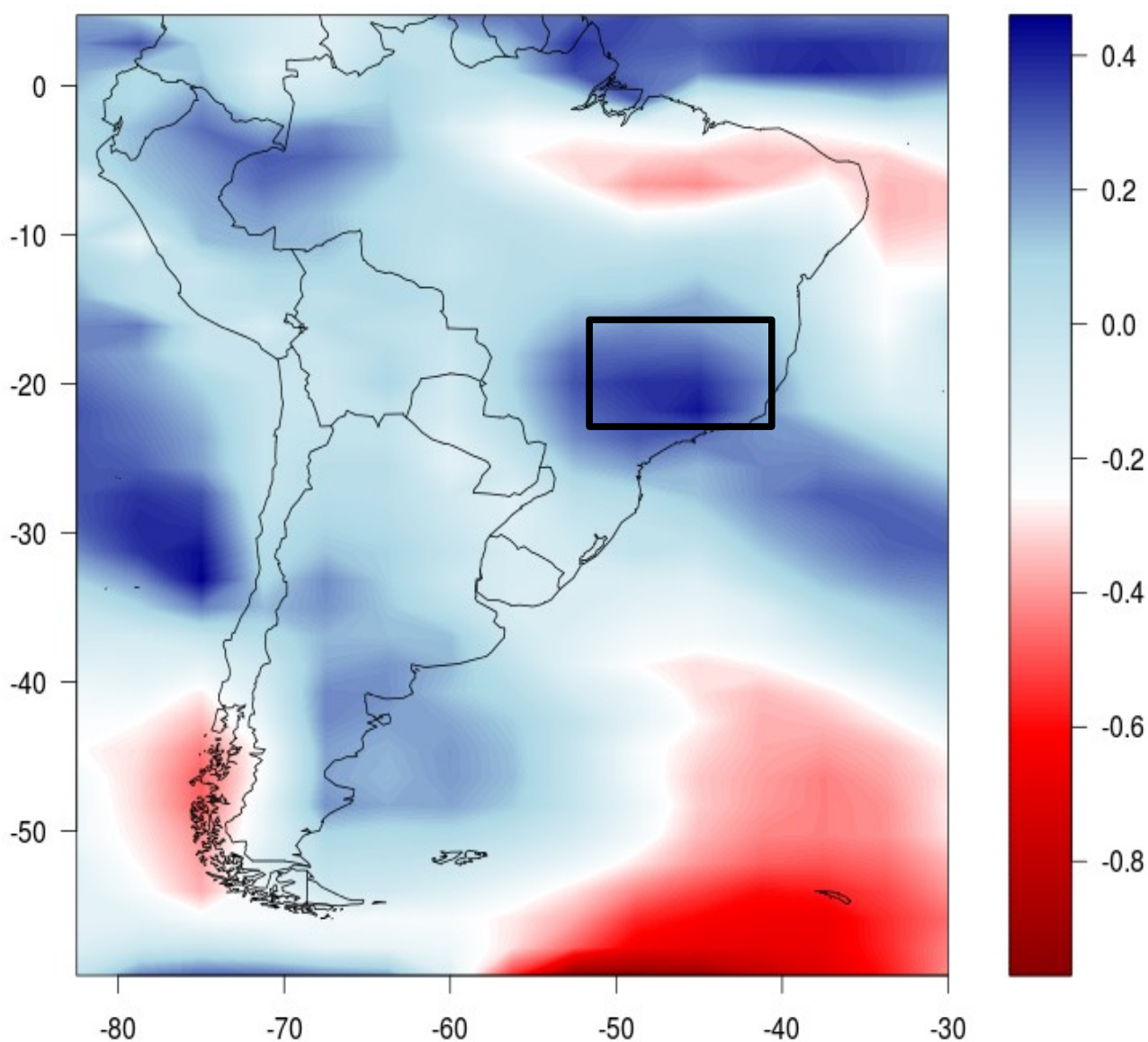


Figura 10: Igual a figura 9 b), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.

Com o intuito de escolher a região de máximos valores para realizarmos a nossa análise, a região compreendida entre 52,2W e 41,25W e entre 23,7S e 16,1S foi selecionada.

Aplicando o critério nos dados do modelo, foram detectados 25 eventos, com uma média de 4,1 casos por ano. Neste caso, o número de eventos coincidentes entre o critério e os registros na Climanályse tenha decaído.

A principal diferença entre o modelo e os dados observados, está na duração dos eventos. Enquanto os dados observados mostraram 4,5 dias de duração em média, o Mod-Pre apresentou 7,8, onde, o maior evento durou 18 dias e o menor 3. Esse viés será removido nos demais cenários.

Os mesmos três campos médios, para os casos detectados pelo critério e registrados pela Climanályse, detectados pelo critério mas não registrados pela Climanályse, e registrados pela climanályse mas não detectados pelo critério, discutidos para os dados observados (Figuras 6, 7 e 8) são repetidos para o Mod-Pré, a fim de estudar o comportamento do critério.

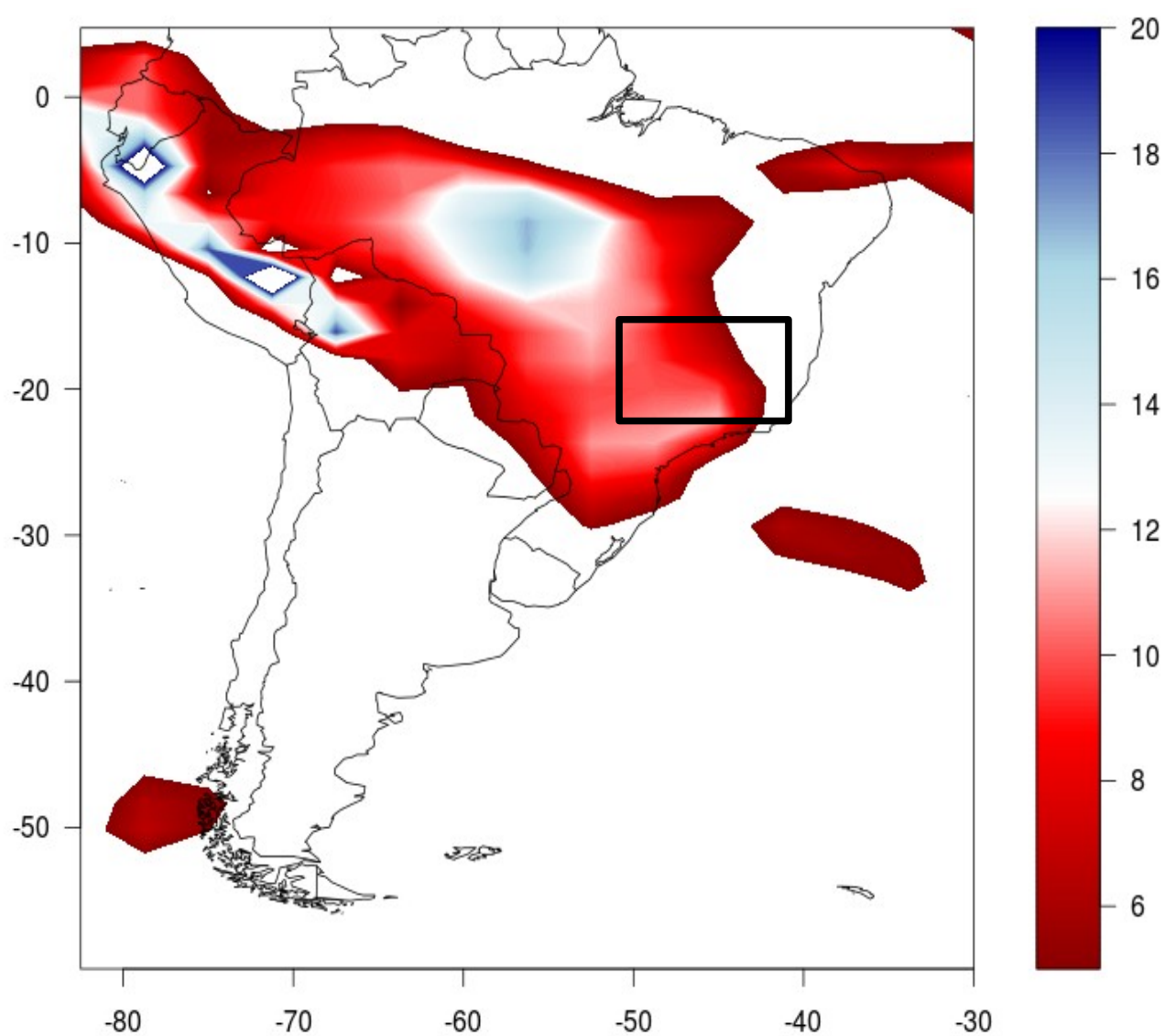


Figura 11: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise registrou e o critério detectou com o Mod-Pre (mm/dia).

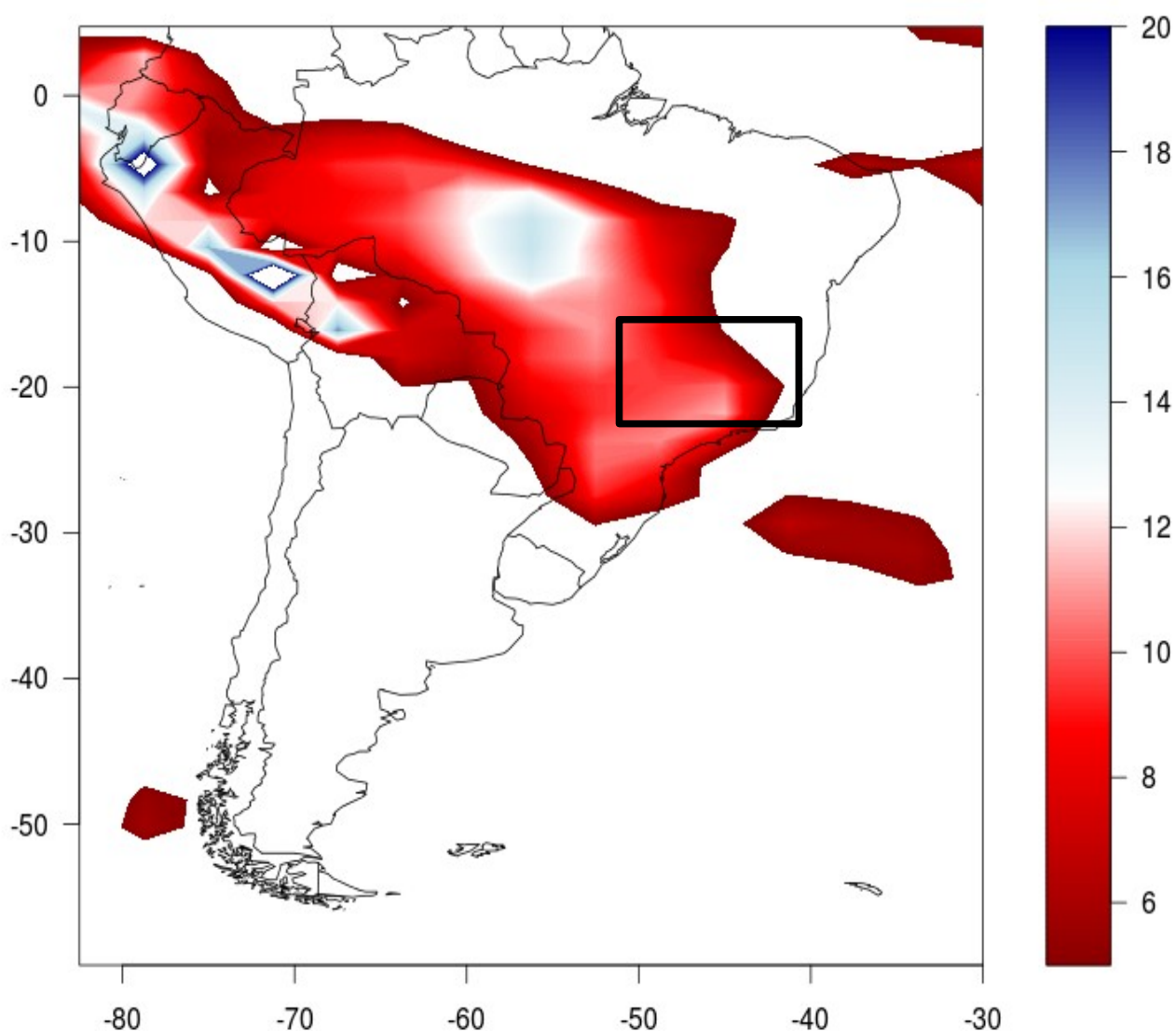


Figura 12: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise não registrou mas o critério detectou com o Mod-Pre (mm/dia).

Assim como ocorreu utilizando LEA, o padrão de ZCAS pode ser vistos nos casos detectados pelo critério, mesmo naqueles não registrados pela Climanalise.

A média de precipitação parece ter ficado levemente deslocado em relação a região de máximos valores, talvez pela influência maior do primeiro modo, que em todos as saídas do modelo apresentou um peso maior da variância explicada, e dos valores de climatologia da região, que serão discutidos mais adiante.

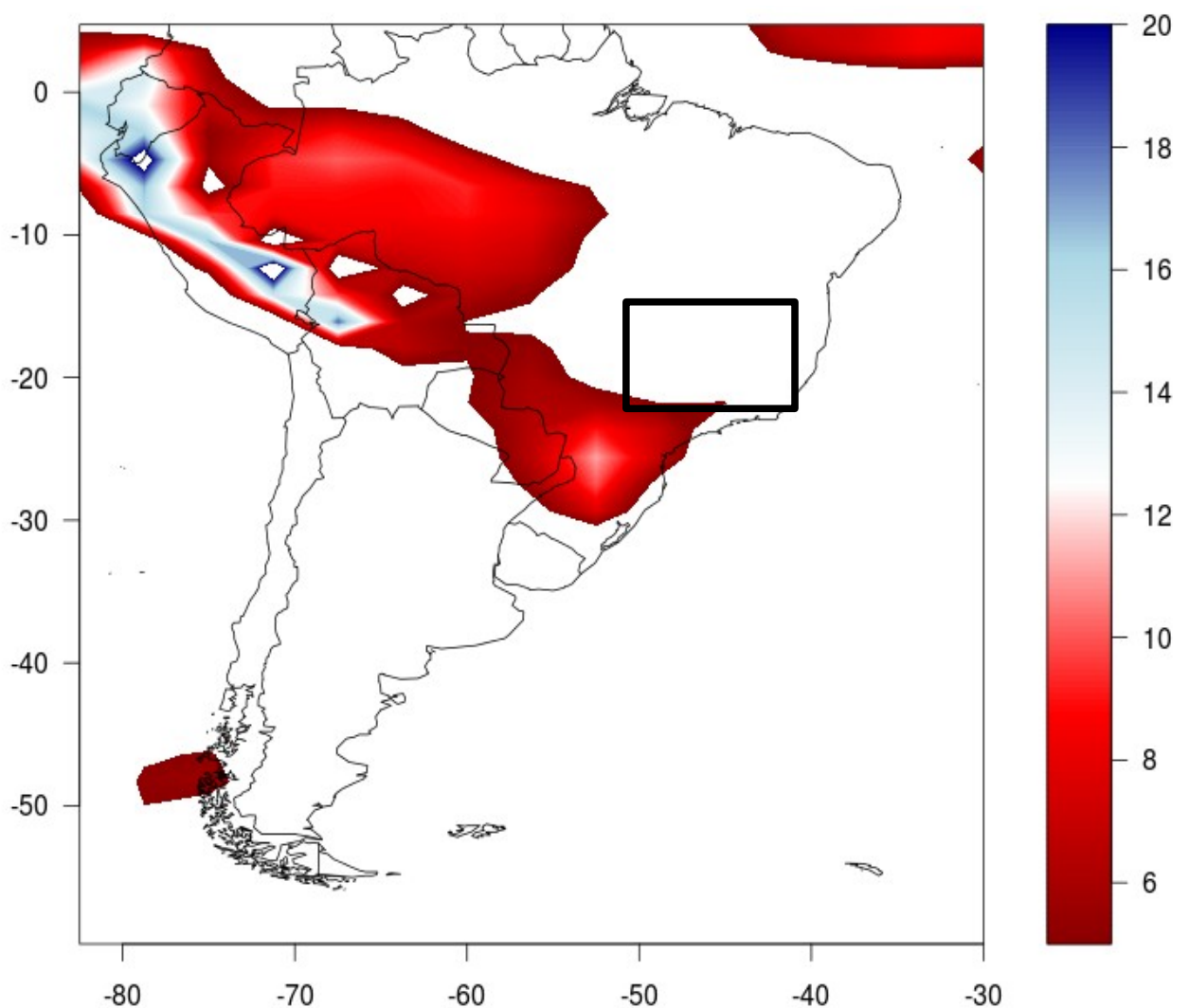


Figura 13: Campo médio de precipitação diária para os eventos que a Climanalise registrou mas o critério não detectou com o Mod-Pre (mm/dia).

Novamente o critério não detectou os eventos que ocorreram fora da região de máximos valores, porém detectou os casos de precipitação intensa persistente sobre a mesma. Como já mencionado anteriormente, o número de casos detectados para o Mod-Pre foi bastante próximo do valor encontrado com os dados observados, tanto em números total de eventos quanto em média de casos por ano, a maior diferença ocorreu em relação a duração dos eventos.

5.3 HOLOCENO MÉDIO

A mesma metodologia descrita anteriormente foi aplicada para a saída do modelo utilizado referente ao período do holoceno médio. Para esse experimento, o modelo foi iniciado com as condições iniciais, forçantes orbitais e concentração de aerossóis para esse período (ver seção 3.1). Para realizar essa análise utilizamos os primeiros e os últimos 30 anos disponíveis para fazer as comparações. Os três primeiros modos obtidos para os primeiros 30 são mostrados na figura 14. Esses modos explicam aproximadamente 9,4%, 3,6% e 3% da variância total dos dados.

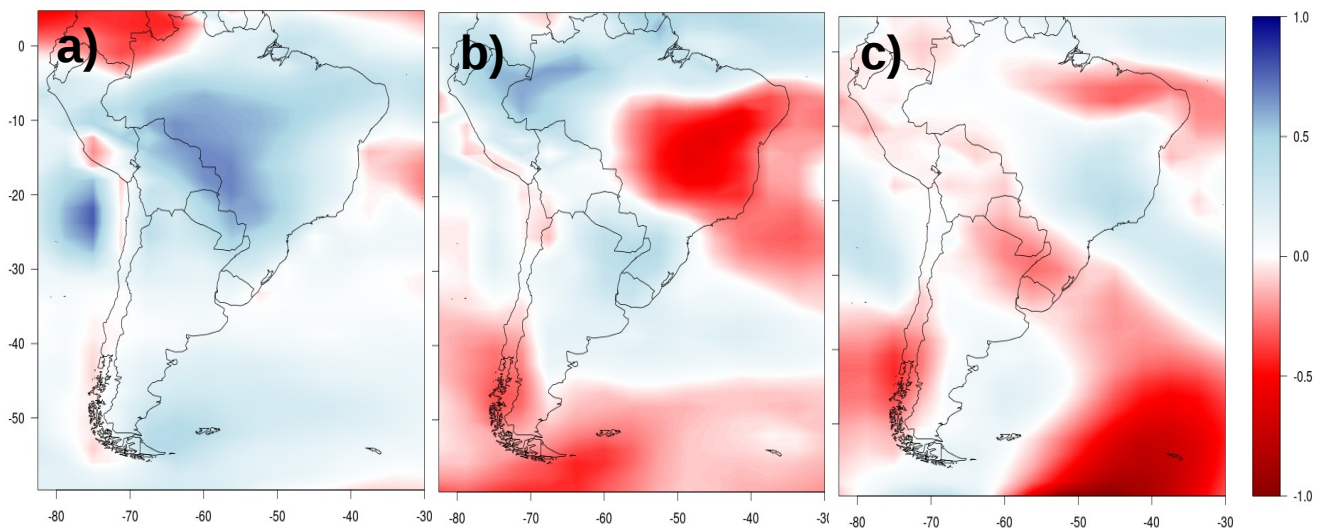


Figura 14: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-HM1.

É possível perceber que o padrão dos principais modos para o holoceno médio é bastante parecido com aqueles obtidos com os dados observados (Figura 4) e com a saída do Mod-Pre (Figura 9), onde neste caso foi considerado o terceiro modo, sendo escolhido por melhor representar a condição de ZCAS.

O mesmo pode ser melhor visualizado no Figura 15, onde sua escala está reduzida.

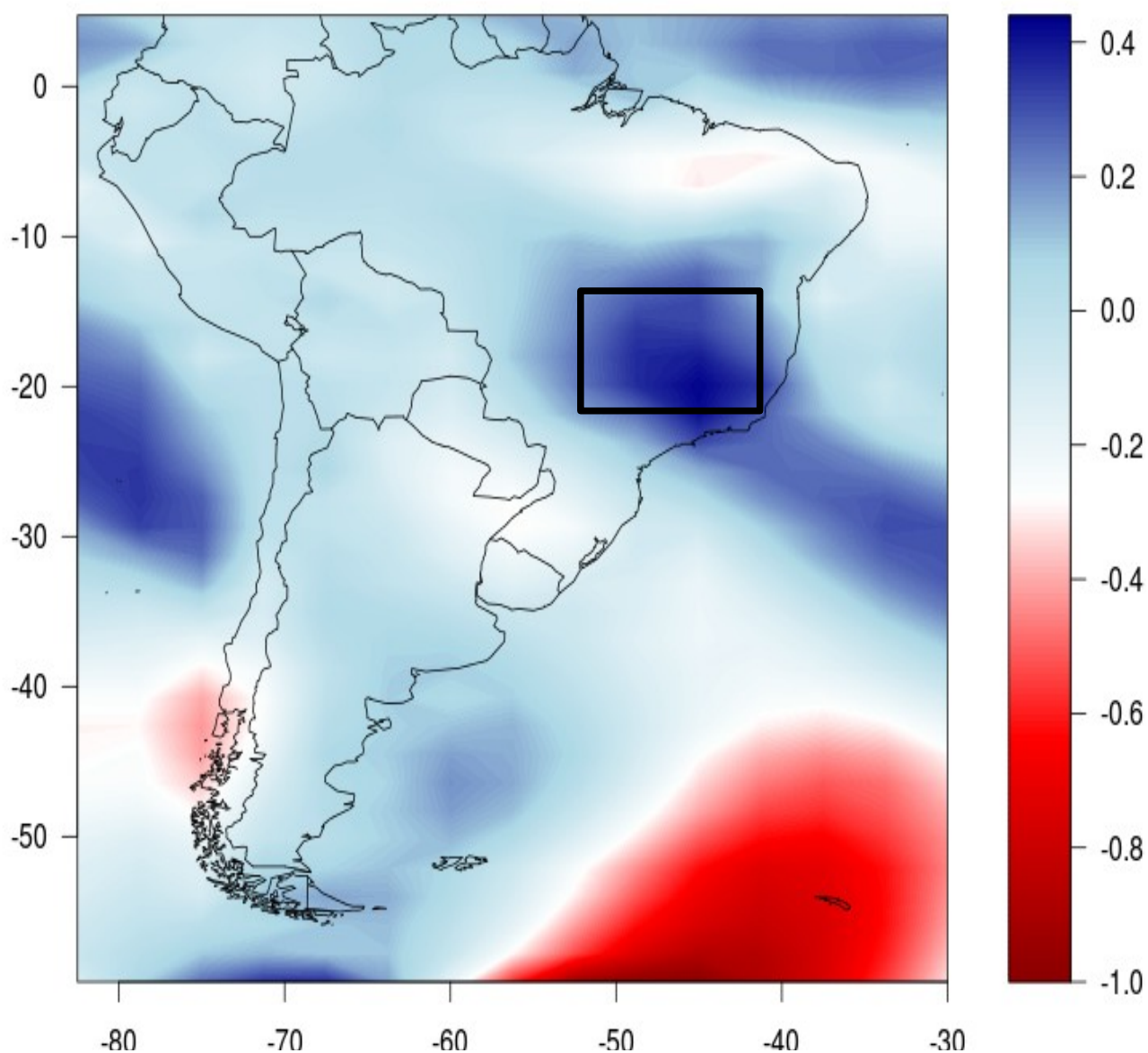


Figura 15: Igual a figura 14 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.

Novamente, a fim de selecionar a região de máximos valores de variância para dar continuidade no estudo, optou-se por utilizar a região entre 21,78 a 14,21S e 52,5 e 41,25W para a análise.

Diferentemente do que ocorreu com os dados observados e com o Mod-Pre, agora não temos mais uma base de dados de referência com as datas de ocorrência de ZCAS para comparação. Por isso optou-se por fazer uma média a cada cinco anos dos eventos detectados. O fato de escolhermos cinco anos, não apresenta nenhum motivo específico, mas irá auxiliar na análise dos sistemas ao longo do período selecionado.

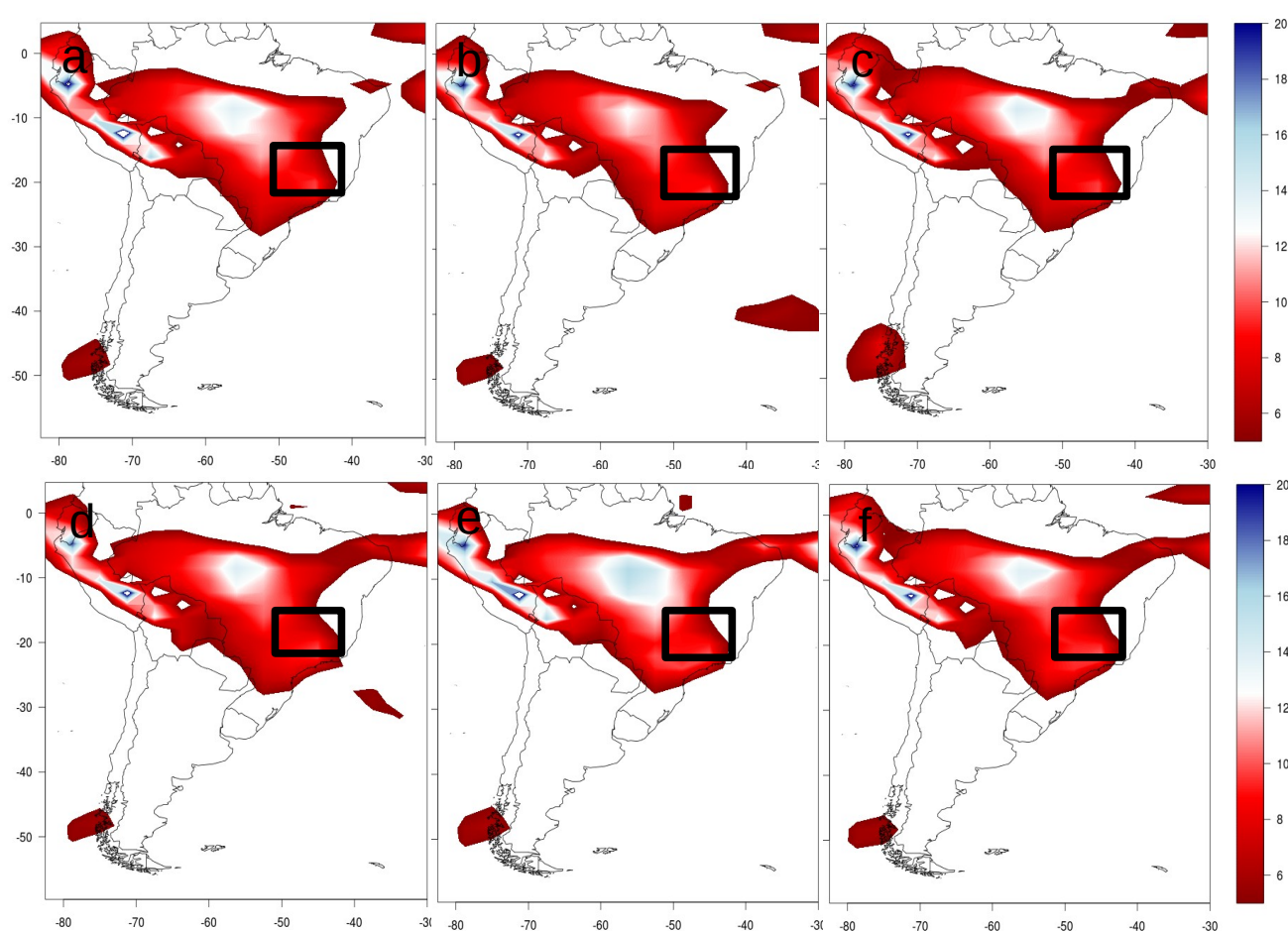


Figura 16: Média de precipitação diária dos casos detectados para o Mod-HM1 a cada 5 anos (mm/dia).

A média de precipitação está um pouco deslocado para sudeste em relação a região de máximos valores. A configuração se assemelha bastante com o primeiro modo (Figura 14a), o que pode estar ocorrendo pelo fato de serem campos médios.

A seguir, para verificar possíveis diferenças entre os dados iniciais e finais disponíveis referentes ao holoceno médio, foi repetida a metodologia para o Mod-HM2, e os três primeiros modos obtidos estão mostrados na figura 17. Eles representam 9,6%, 3,8% e 3,1% da variância total explicada.

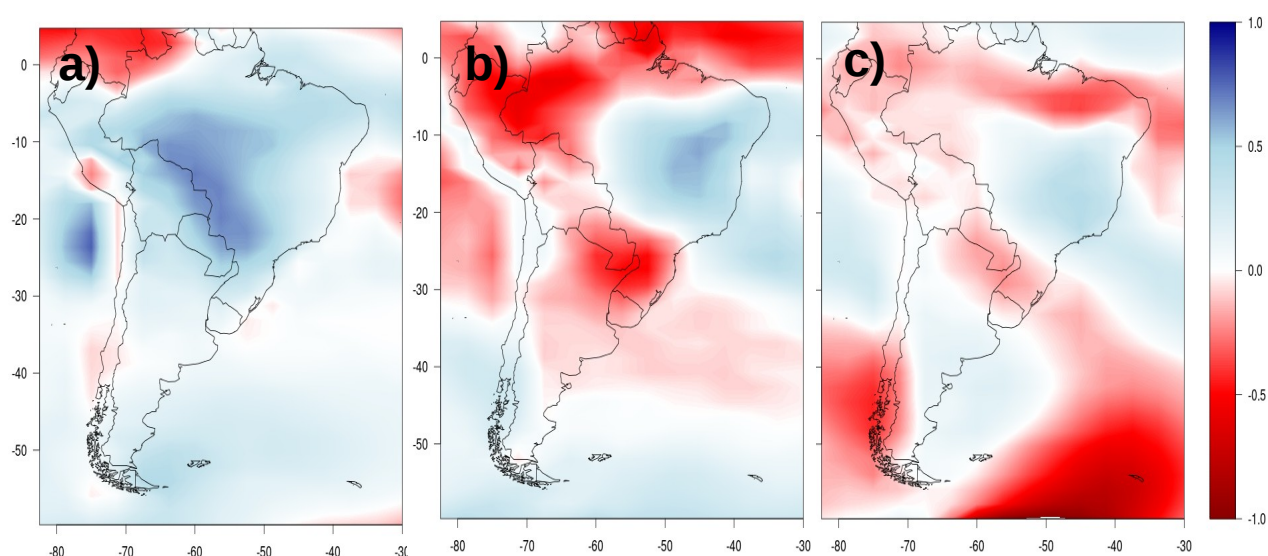


Figura 17: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-HM2.

Novamente selecionou-se o terceiro modo, que pode ser melhor visualizado na figura 18.

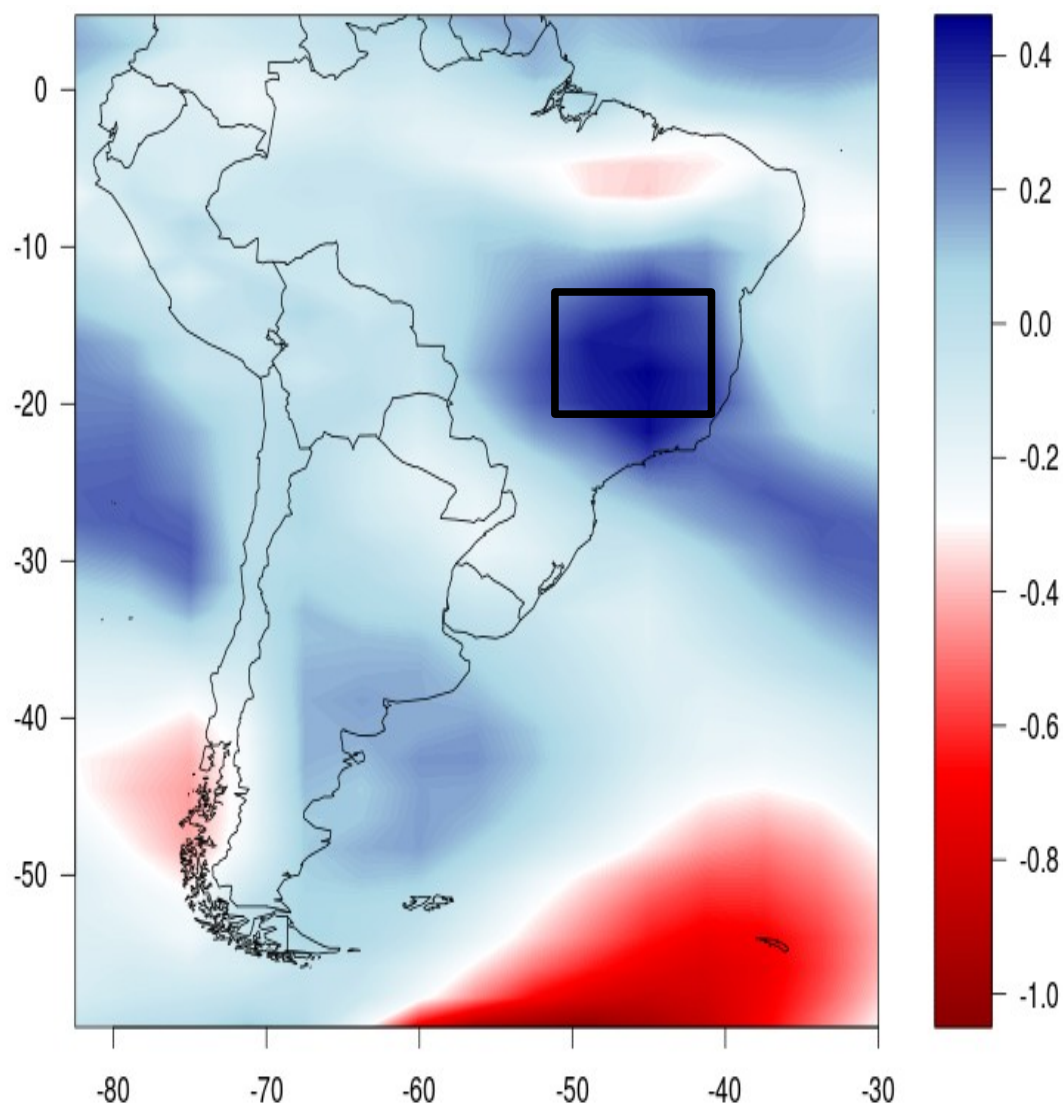


Figura 18: Igual a figura 17 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.

A região escolhida, como sendo aquela que apresenta os máximos valores de variância, para o Mod-HM2 acabou sendo a mesma do Mod-HM1, entre 21,7S e 14,21S e entre 52,5W e 41,25W. Da mesma forma, foram feitas médias dos casos detectados a cada cinco anos, que estão dispostos na figura 19.

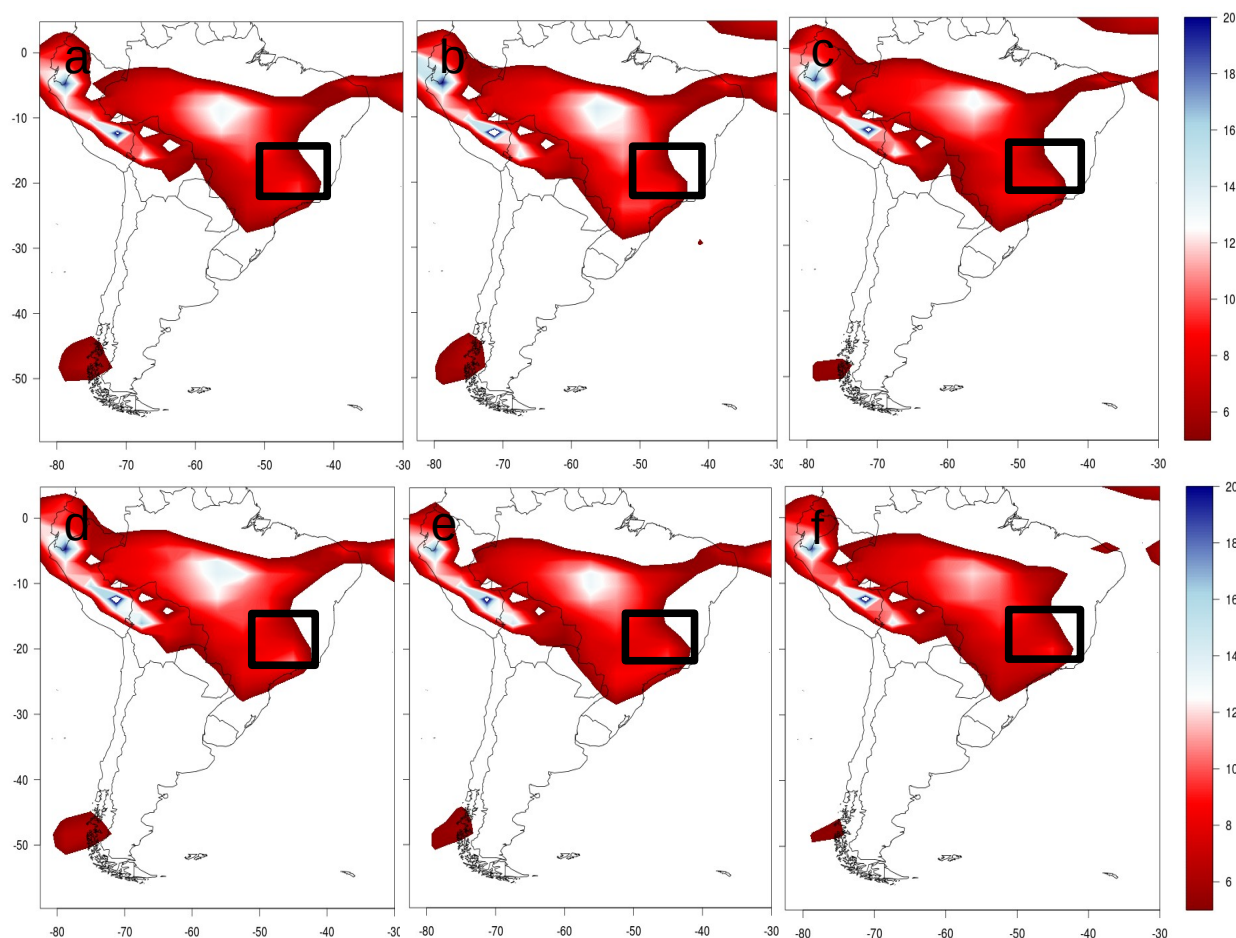


Figura 19: Média de precipitação diária dos casos detectados para o Mod-HM2 a cada 5 anos (mm/dia).

Novamente, assim como ocorreu com o Mod-HM1 (Figura 16), a média de precipitação diária para estar levemente deslocada para o sudoeste quando comparada com a região de máxima variância do modo, a configuração parece se assemelhar com a configuração do primeiro modo (Figura 17a).

A configuração de ZCAS aparece em todas as médias, o que reforça a ideia da eficácia do critério. Analisando os valores de duração e ocorrência média dos eventos e das climatologias, que serão melhor detalhados nas seções 5.5 e 5.6, concluímos que, na região de ZCAS, havia valores menores de precipitação durante o holoceno médio.

5.4 CLIMA FUTURO

Seguindo a metodologia anterior, ou seja, obter os modos, selecionar o que mais se assemelha a ZCAS, selecionar a região de máximo e aplicar o sistema para detecção de ocorrência de ZCAS, foram utilizados os dados do cenário de clima futuro, o Mod-4.5. Os três primeiros modos obtidos são mostrados na figura 20.

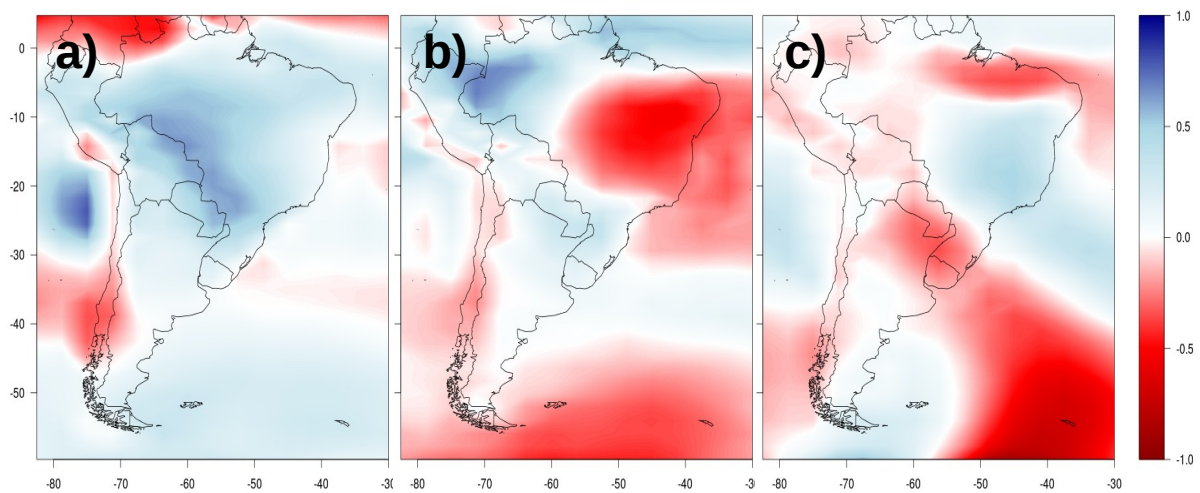


Figura 20: a) Primeiro, b) segundo e c) terceiro modo de precipitação diária para o Mod-4.5.

Nota-se que novamente o padrão dos principais modos obtidos é bastante parecido com aqueles obtidos anteriormente com os dados observados (Figura 4), para o Mod-pre (Figura 9), Mod-HM1 (Figura 14) e Mod-HM2 (Figura 17).

Igualmente ao que ocorreu com ambos o períodos do holoceno médio, optou-se por utilizar o terceiro modo como aquele que representa a ZCAS. O mesmo está melhor representado na figura 21.

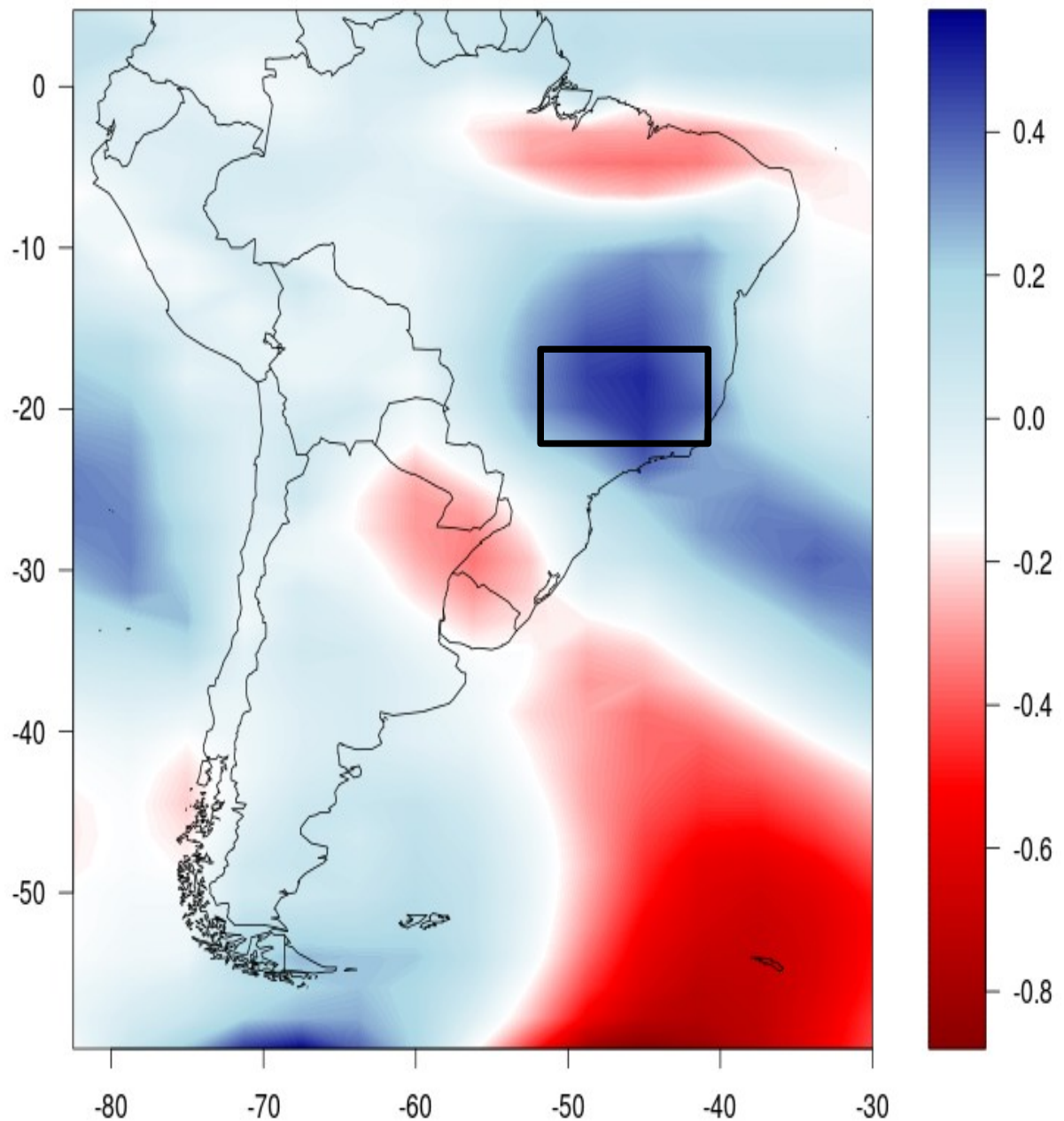


Figura 21: Igual a figura 20 c), porém com a escala reduzida para melhor visualização. O retângulo representa a região selecionada.

Neste caso também foi realizada a análise da média dos eventos a cada cinco anos. O resultado está exposto na figura 22.

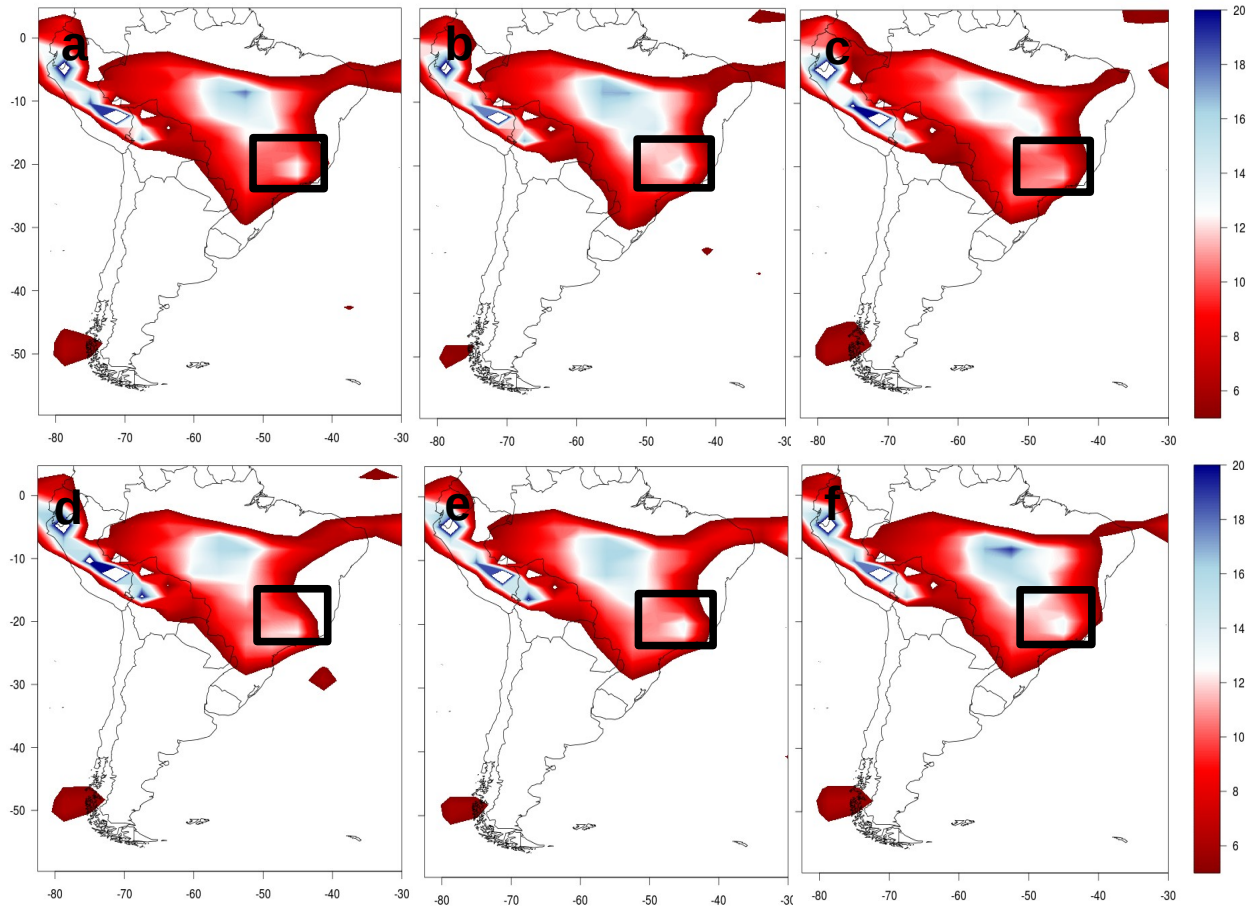


Figura 22: Média de precipitação diária dos casos detectados para o Mod-4.5 do ano a) 2070 a 2075, b) 2076 a 2080, c) 2081 a 2085, d) 2086 a 2090, e) 2091 a 2095 e f) 2096 a 2100 a partir do início do modelo para o clima futuro com RCP 4.5 (mm/dia).

Pela figura nota-se que os valores máximos de precipitação estão exatamente dentro da região de máximos selecionada, o que pode ser devido aos maiores valores de climatologia discutidos a seguir, uma vez que, para satisfazer o critério, é necessário um valor maior de precipitação sobre a região de máxima correlação quando comparado com os outros cenários que apresentam valores mensais de climatologia menores.

5.5 CLIMATOLOGIAS

Para estudar o comportamento dos modelos, foram comparados os valores das climatologias mensais obtidas com as climatologias obtidas com os dados observados, o resultado é mostrado na figura 23.

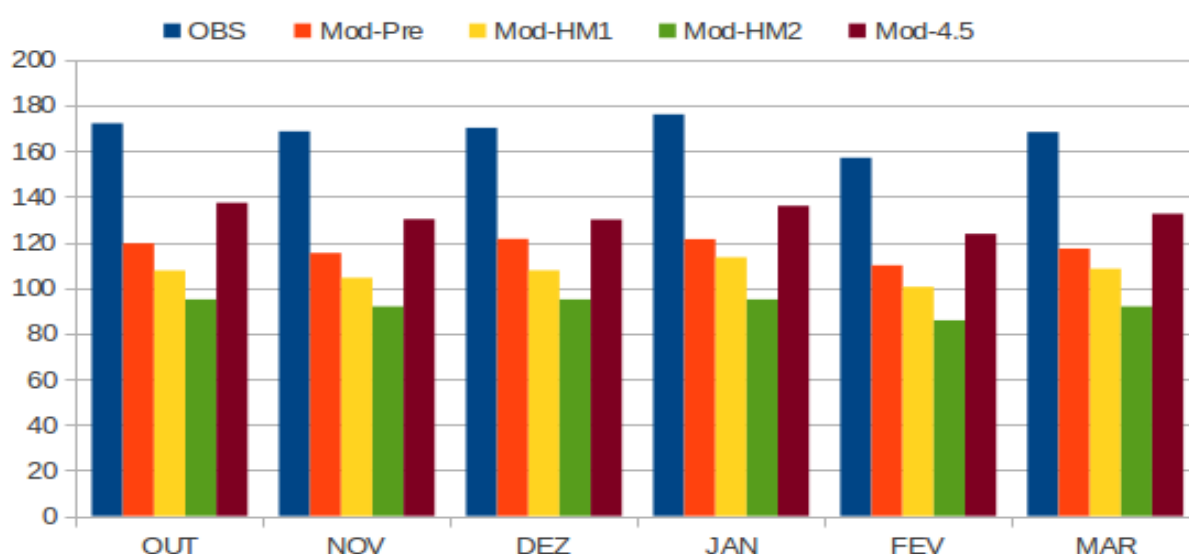


Figura23: Valores das climatologias mensais de precipitação diária na região de máximos valores para os meses de outubro a março para todas as bases de dados utilizadas (mm/mês).

É possível perceber que o Mod-Pre indica valores menores para as climatologias em todos os meses, assim como os valores para as demais saídas do modelo.

O modelo acusou valores menores tanto para o Mod-HM1 quanto para o Mod-HM2 e um aumento nos valores para o Mod-45, sugerindo uma menor precipitação no período do holoceno médio e maior para o clima futuro.

5.6 DURAÇÃO DOS EVENTOS

O comportamento do modelo em relação a duração dos eventos também foi analisada.

Aplicando o critério para os dados observados, a duração média dos eventos ficou em 4,6 dias por evento, enquanto que para o Mod-Pre ficou em torno de 11,4, o que mostra uma tendência do modelo de produzir eventos mais longos.

Removendo esse viés do modelo, encontramos um valor de 3,5 dias/evento para o Mod-HM1 e 4 dias/evento para o Mod-HM2. Para avaliar quantos dias por ano o modelo coloca como ZCAS, multiplicou-se esses valores de dias/evento pela média de eventos por ano encontrada com o critério. Encontramos 13,7 dias/ano de ZCAS para o Mod-HM1 e 16,4 para o Mod-HM2.

Ambos os valores estão abaixo dos 18 dias/ano dos dados observados.

Para o Mod-4.5, removendo o viés, o critério registrou 4,7 dias/evento que, consequentemente, nos deu o resultado de 14,9 dias/ano de ZCAS. Também abaixo no quesito dias/ano porém mais próximo em eventos/ano comparando com o presente.

6.0 CONCLUSÕES

Ao analisarmos a localização da região de máximos valores de correlação, nos modos selecionados como ZCAS, em todas as situações (LEA, Mod-Pre, Mod-HM1, Mod-HM2 e Mod-4.5), pudemos perceber que os modelos colocaram a região de valores máximos levemente mais a oeste e, no caso do Mod-4.5, também levemente mais ao sul.

O modelo apresentou valores menores de climatologia mensal de precipitação para o Mod-Pre em relação aos dados observados, embora essa diferença não seja tão intensa.

Ambas as saídas para o holoceno médio apresentaram valores inferiores de climatologias mensais de precipitação quando comparadas as demais, enquanto que a saída para o clima futuro apresentou valores acima dos demais.

A utilização do critério para o Mod-Pre, registrou praticamente a mesma média de eventos por ano quando comparado com os dados observados. Tanto o Mod-HM1 quanto Mod-HM2 apresentaram valores levemente superiores de eventos/ano, talvez pelo fato da climatologia ser menor para o holoceno, o que acabou permitindo que qualquer precipitação significativa e persistente fosse acusada pelos critério.

O Mod-4.5 apresentou valor levemente menor de eventos/ano, quando comparado com o Mod-HM1 e o Mod-HM2. Como os valores mensais de climatologia de precipitação, para a região de máxima correlação, são maiores, são necessários maiores valores de precipitação para que o critério acuse a ocorrência de um caso de ZCAS, o que pode explicar o menor número de eventos por ano.

Finalmente o critério pode ser considerado como satisfatório nessa análise preliminar. Apesar dele ignorar eventos que ocorram fora da região selecionada, os mesmos são compensados por eventos que originalmente não foram registrados pela Climanálise.

Para análises futuras, os autores sugerem acrescentar mais alguma variável, como direção do vento ou gradiente de umidade, para aprimorar a metodologia, porém vale lembrar que a ideia é criar uma forma simples de detecção de ZCAS, por isso o acréscimo de muitas variáveis não é indicado.

Aconselha-se também utilizar outros modelos ou outros períodos para comparar os resultados, ou até mesmo comparar os resultados obtidos aqui com dados paleoclimáticos.

ANEXO A

ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A técnica conhecida como Análise de Componentes Principais, ou Funções Ortogonais Empíricas, é uma das ferramentas matemáticas mais utilizadas em meteorologia. Ela tende a diminuir um determinado número de variáveis correlacionadas em um número menor de variáveis, chamadas de componentes principais, não relacionadas, facilitando assim a observações de padrões que normalmente seriam de difícil visualização.

O primeiro passo para a aplicação da ACP é montar uma matriz na qual, cada coluna represente uma série temporal de um determinado ponto, que no nosso caso são as variáveis, e cada linha represente um mapa em um determinado tempo, como mostra a figura 4.

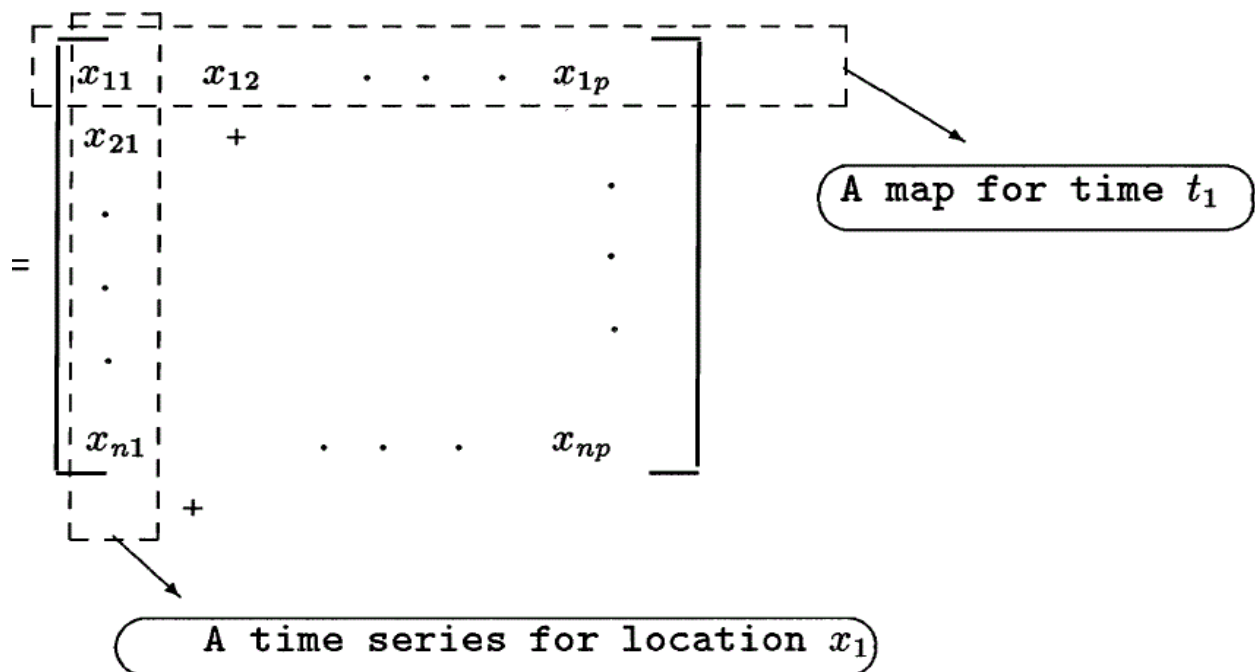


Figura 24: Esquema de matriz formada no passo 1 (retirada de Bjornsson e Venegas 1997)

Com essa matriz em mãos, remove-se a média de cada coluna afim de centralizar a matriz.

Após isso, é realizado o cálculo da matriz de correlação. A correlação representa o quanto duas variáveis, ou pontos, estão relacionados. Ela é calculada pela equação 2 e possui valores entre -1 e 1, onde 1 representa uma relação positiva muito forte entre as variáveis e -1 representa uma relação negativa muito forte entre as variáveis.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Equação 3: Equação da correlação

Onde:

x_i - Valor da variável x no tempo i

y_i - Valor da variável y no tempo i

$\bar{x}$ - Média da variável x

$\bar{y}$ - média da variável y

n - número de passos no tempo

Uma vez obtida a matriz de correlação [R], que será uma matriz quadrada n x n, calcula-se os autovalores e autovetores dessa matriz. Os autovetores serão os modos da variável, no nosso caso precipitação, e os autovalores nos dirão o quanto da variância original é explicada por cada modo.

Para obter a porcentagem da variância explicada por cada autovalor, basta dividi-lo pela soma de todos os autovalores e multiplicar por 100.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrizzi, T. e Ferraz, S. E.T., 2015: An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. *Frontier in Environmental Sciences*

Bjornsson, H.; Venegas, S. A. A., 1997: Manual for FOE and DVS analyses of Climatic Data. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Centre for Climate and Global Change Research, MGil University, 53p.

Chaves, R.R.; P. Nobre, 2004: Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. *Geophy.Res.Lett.*, 31, L03204, 1-4.

Cruz, F. W.; Vuille, M.; Burns, S. J.; Wang, X.; Cheng, H. and co-authors. 2009: Orbitally driven east-west anti-phasing of South American precipitation. *Nat. Geosci.* 2, 210–214.

Dufresne, J. L.; Foujols, M. A.; Denvil, S.; Caubel, A.; Marti, O.; Aumont, O.; Balkanski, Y.; Bekki, S.; Bellenger, H.; Benshila, R.; Bony, S.; Bopp, L.; Braconnot, P.; Brockmann, P.; Cadule, P.; Cheruy, F.; Codron, F.; Cozic, A.; Cugnet, D.; de Noblet, N.; Duvel, J-P.; Ethé, C.; Fairhead, L.; Fichefet, T.; Flavoni, S.; Friedlingstein, P.; Grandpeix, J-Y.; Guez, L.; Guilyardi, E.; Hauglustaine, D.; Hourdin, F.; Idelkadi, A.; Ghattas, J.; Joussaume, S.; Kageyama, M.; Krinner, G.; Labetoulle, S.; Lahellec, A.;

Lefebvre, M-P.; Lefevre, F.; Levy, C.; Li, Z. X.; Lloyd, J.; Lott, F.; Madec, G.; Mancip, M.; Marchand, M.; Masson, S.; Meurdesoif, Y.; Mignot, J.; Musat, I.; Parouty, S.; Polcher, J.; Rio, C.; Schulz, M.; Swingedouw, D.; Szopa, S.; Talandier, C.; Terray, P.; Viovy, N, 2013: Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: From CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, Vol. 40: 2123–2165

Ferraz, S. E. T.; Souto, R. P.; Dias, P. L. S.; Velho, H. F. C.; Ruivo, H. M. 2013: Analysis for precipitation climate prediction on south of Brazil. *Ciência e Natura*, v. esp, p. 496-500.

Figuerola, S.; Satyamurti, P.; Silva Dias, P. L., 1995: Simulation of the summer circulation over the South American region with an Eta coordinate model. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1573–1584.

Krishnamurti, T.N.; M. Kanamitsu.; W.J. Koss.; J.D. Lee., 1973: Tropical east-west circulation during the Northern winter. *J.Atmos.Sci.*, 30, 780-787.

Kodama, Y.-M., 1992: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 813–835.

Kodama, Y.-M., 1993: Large-scale common features of sub-tropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. *J. Meteor. Soc. Japan*, 71, 581–610.

Lenters, J.D.; K.H. Cook, 1999: Summertime precipitation variability over South America: Role of the large-scale circulation. *Mon.Wea.Rev.*, 127, 409-431.

Liebmann, B.; Allured, D., 2005: Daily precipitation grids for South America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1567-1570

Liebmann, B.; Kiladis, G. N.; Marengo, J. A.; Ambrizzi, T.; Glick, J. D., 1999: Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v.12, p.1877-1891, Jul.

Lin, J-L.; Kiladis, G. N.; Mapes, B. E.; Weickmann, K. M.; Sperber, K. R.; Lin, W. ; Wheeler, M. C. ;Schubert, S. D.; Del Genio, A.; Donner, L. J.; Emori, S.; Gueremy, J-F.; Hourdin, F.; Rasch, P. J.; Roeckner, E.; Scinocca, J. F., 2006: Tropical Intraseasonal Variability in 14 IPCC AR4 Climate Models. Part I: Convective Signals. *Journal of Climate*, v. 19, n. 12, p. 2665-2690.

Melo, M. L. D.; Marengo, J. A. 2008: Simulações do clima do holoceno médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 2, p. 190-204.

Oliveira, Luiz F. C. de; Fioreze, Ana P.; Medeiros, Antonio M. M.; Silva, Mellissa A. S. 2012: Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.11, Nov.

Paegle, J.N.; Mo, K. C. 1997: Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. *Monthly Weather Review*, v.125, p.279-291.

Quadro, M. F. L., 1994: Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. São José dos Campos. 94p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Sanches, M. B.; Silva Dias, M. A. F. 1996: Análise Sinótica de Verão. A Influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). In: 9º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.1, p.439-443.

Streten, N. A. 1973: Some characteristics of the satellite-observed bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, v.101, n.6, p.486-495.

Taljaard, J. J. 1972: The clouds bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. *Meteorological Monographs*, v.13, p.189-192.

Yassunary, T. 1977: Stationary waves in the Southern Hemisphere mid-latitude zonal revealed from average brightness charts. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v.55, p.274-285.