

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Renan Martins Pizzochero

Impacto do Modo Anular Sul na América do Sul

Rio de Janeiro

2018

RENAN MARTINS PIZZOCHERO

IMPACTO DO MODO ANULAR SUL NA AMÉRICA DO SUL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro como exigência parcial para obtenção do título de bacharel em Meteorologia.

Orientador: Dr.^a Fernanda Cerqueira Vasconcellos

Rio de Janeiro

2018

RENAN MARTINS PIZZOCHERO

IMPACTO DO MODO ANULAR SUL NA AMÉRICA DO SUL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro como exigência parcial para obtenção do título de bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr.^a Fernanda Cerqueira Vasconcellos

BANCA EXAMINADORA

Dr.^a Fernanda Cerqueira Vasconcellos

Dr.^a Ana Maria Nunes Bueno

Dr.^a Claudine Pereira Dereczynski

Dr.^a Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti

Dedico essa monografia à toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me dado o dom da vida, e ter podido encarnar nesse mundo e seguir com minha evolução.

Por segundo, agradecer à minha mãe por ter, mesmo com todas as adversidades, aceitado gerar um filho e dar todo seu amor e carinho, por me dar todo seu apoio nas horas difíceis e nas horas mais felizes. Por sempre me incentivar a ser melhor e batalhar sempre pelos meus objetivos. Eu te amo!

Aos meus avós, que são de suma importância na minha existência, me dando todo o suporte desde minha infância, adolescência, sempre me ensinando a semear o bem e andar pelo caminho correto, por mais tortuoso que possa ser. Todos os conselhos dados em nossas conversas de avós e neto, foram fundamentais para esse momento, para me tornar o homem que sou nos dias de hoje. Obrigado e amo vocês.

Ao meu pai por todo apoio e todo incentivo, acreditando sempre que eu era capaz. Por sempre mostrar que estudar era a melhor opção. Por sempre buscando me instruir o como eu deveria agir nas situações adversas. Amo você!

A minha namorada, Lara M. Scricco, por ter me dado todo apoio nesse final, estar ao meu lado nos momentos de maior ansiedade. Por ter me auxiliado no desenvolvimento de etapas finais. E por dedicar toda sua atenção e amor a todo tempo, sem êxito algum. Eu te amo!

Aos meus tios, Silvio e Andrei, que sempre tiveram ao meu lado e vibraram de forma gigantesca por cada pequenina vitória conquistada em todos esses anos da graduação. Por cada socorro nas horas difíceis de transporte, de alimentação e de desespero. Amo vocês.

A minha orientadora de iniciação científica Iracema F A Cavalcanti pela oportunidade de inserção no mundo da pesquisa de alto conhecimento, e por todo aprendizado cedido com carinho. E a todo corpo docente do departamento de meteorologia da UFRJ.

A minha orientadora Fernanda Cerqueira Vasconcellos, por estar ao meu lado em todas as horas, por me ensinar o quão difícil porém gratificante é o mundo da pesquisa. Por ser, em muitas horas, a psicóloga que eu precisava para os momentos, com palavras doces e duras, me fazendo refletir por atitudes. Por compreender as dificuldades passadas no período, por sempre saber ser a mãezona.

Ao Laboratório de Multi usuário de Microscopia Eletrônica da COPPE/UFRJ, por terem me dado a primeira oportunidade de trabalhar de verdade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao CNPq, pelo financiamento da minha pesquisa até o fim.

"Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana"

Carl G. Jung

Resumo

A Oscilação Antártica (AAO), também chamada de Modo Anular do Sul (SAM) é o principal modo de variabilidade do Hemisfério Sul (HS). Esse padrão de teleconexão influencia diversas componentes do sistema climático neste hemisfério. Entretanto sua análise ainda é pouco utilizada nas previsões climáticas. Desta forma, conhecer os impactos das fases do SAM no clima da América do Sul pode trazer uma melhoria nas previsões de tempo e clima. Diversos trabalhos prévios mostram a influência desse padrão no clima para diferentes regiões do globo, fazendo uso de épocas do ano distintas. Contudo, não é sabido o impacto mês a mês do SAM na América do Sul (AS). Assim esse trabalho teve como objetivo analisar o impacto, mês a mês, do SAM na AS, visando melhorar as previsões climáticas para a região. Por meio de mapas de correlação temporal do índice SAM com diversas variáveis, foi possível detectar onde ocorre a influência desse padrão na AS. Os resultados obtidos para altura geopotencial em todos os níveis (850, 500, 250hPa), evidenciam a influência nessa variável e ressaltam o padrão anular do sistema, que mostra-se barotrópico equivalente. Em relação à precipitação, é possível notar que, para os meses de março e novembro, há forte correlação no eixo Noroeste (NW). A correlação para Radiação de Onda Longa (ROL), mostra o oposto do que ocorrem para a precipitação, o que já era esperado. Em janeiro, novembro e dezembro é verificada correlação negativa com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do Pacífico Equatorial. Com relação a Temperatura a 2 metros, tem-se correlação negativa na maioria dos meses há correlação negativa desde a região centro-sul do Brasil até o extremo sul da AS. Fazendo uso de compostos de anomalias para cada fase do SAM, foi possível aprofundar esse estudo, verificando de que maneira as diferentes fases do SAM impactam nas variáveis estudadas, para cada mês do ano. Tratando de altura geopotencial, atenta-se para a barotropia equivalente do sistema, ou seja, sua formação anular em 850, 500, e 250hPa, para ambas as fases. Na fase negativa, os compostos de precipitação mostram anomalias negativas nos meses. Os compostos de ROL mostram de forma bem enfática, a relação oposta entre as duas fases, onde há anomalias positivas (negativas) na fase negativa, ocorre o oposto na fase positiva, e vice-versa. Esse resultado é coerente com o encontrado nos resultados de correlação para essas variáveis. Na fase negativa, o composto de temperatura a 2 metros para o mês de janeiro, mostra anomalias negativas em quase todo o continente sul americano, mesmo sendo grande parte da correlação, dessa variável, para esse mês, não ser significativa. Para complementar o estudo da influência do SAM o clima da AS, buscou-se compreender a influência das diferentes fases do SAM, associadas ou não com as fases de El Niño Oscilação Sul (ENOS), na frequência das geadas na Região Sul do Brasil. Para tal, foram selecionados os meses climatológicos de ocorrência de geadas (Maio a Setembro), e contabilizados os totais de geadas normalizados pelos totais de anos em que houve cada par de fases dos padrões de variabilidade climática. Com esses resultados verificou-se que julho é o mês em que há maior frequência de geadas dentre os meses de estudo.

LISTA DE SIGLAS

AAO - *Antartic Oscillation*

AS - América do Sul

CPC - *The Climate Prediction Center*

ENOS - El Niño-Oscilação Sul

EOF - *Empirical Orthogonal Function*

GPCP - *Global Precipitation Climatology Project*

HS - Hemisfério Sul

NCEP - *National Center for Enviromental Prediction*

NEB - Nordeste Brasileiro

N - Norte

NW - Noroeste

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OI - *Optimal interpolação*

OS - *Optimal Smoother*

ROLE - Radiação de Onda Longa Emergente

SAM - *Southern Annular Mode*

SEAS - Sudeste da América do Sul

SE - Sudeste

S - Sul

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1. Introdução	11
2. Revisão Bibliográfica.....	13
3. Dados e Metodologia.....	18
3.1 Dados.....	18
3.2 Metodologia.....	19
3.2.1 Cálculo das anomalias	19
3.2.2 Cálculo do índice SAM	19
3.2.3 Mapas de Correlação	20
3.2.4 Compostos	20
3.2.5 Estudo de caso	21
3.2.6 Geadas.....	21
4. Resultados	22
4.1 Índice SAM	22
4.2 Correlação	23
4.3 Compostos	38
4.3 Estudo de Caso.....	59
4.4 Geadas.....	60
4.4.1 Tabelas de simultaneidade de ENOS com SAM mês a mês	60
4.4.2 Tabelas de Contingência mensais das frequências de geadas.....	62
5. Sumário e conclusões	65
6. Referências	69

1. Introdução

Os Modos Anulares são os principais modos de variabilidade climática da região extratropical, atuando em ambos os hemisférios. Eles descrevem uma anomalia no campo de pressão, entre regiões de latitudes médias e latitudes polares, indicando um padrão "gangorra" Norte-Sul de massa atmosférica. No Hemisfério Sul (HS) é conhecido como Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation*, AAO) ou Modo Anular do Sul (*Southern Annular Mode*, SAM) (THOMPSON; WALLACE, 2000).

A América do Sul (AS) é afetada por teleconexões, tanto leste-oeste, quanto sul-norte as quais têm um impacto no clima deste continente (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009). O SAM é uma importante teleconexão que tem influências na AS.

Gillett et al. (2006), por exemplo, demonstraram que a fase positiva do SAM é associada a um aquecimento significativo sobre a Argentina e a condições de seca sobre o sul da AS. Vasconcellos (2012) mostrou que, em novembro, a fase positiva do SAM apresenta um dipolo de anomalia de precipitação sobre a AS, com anomalias negativas sobre o sul do Brasil/Bacia do Prata e anomalias positivas ao norte. Este dipolo inverte de sinal na fase negativa.

Diversos autores sugerem uma relação entre o SAM e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Carvalho et al. (2005) indicaram que fases negativas (positivas) do SAM durante o verão são dominantes quando o padrão de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), convecção e circulação assemelham-se à fase El Niño - EN (La Niña - LN) do ENOS. L'Heureux e Thompson (2006) mostraram que 25% da variabilidade interanual da SAM é linearmente relacionada com a flutuação do ENOS. Eles também apresentaram que a relação entre os dois padrões ocorre durante o verão austral (novembro-fevereiro). Vasconcellos (2012) mostrou que, em novembro, a fase positiva (negativa) do SAM está relacionada com as características do padrão LN (EN). O trabalho também sugeriu que há uma relação entre SAM e a convecção próxima a Indonésia e que esta ocorre em diversas escalas de tempo.

Apesar de diversos trabalhos mostrarem uma relação entre o SAM e o clima na AS, eles analisaram apenas alguns casos específicos de atuação do padrão, tais como, a influência somente da fase positiva ou em estações/meses específicos. A avaliação das influências desse padrão, excluindo a ação conjunta do ENOS também foi pouco abordada. Com isso, a análise do SAM ainda é pouco utilizada nas previsões climáticas.

Desta forma, este estudo teve como objetivo, uma análise mais abrangente, capaz de apresentar os impactos das duas fases do SAM, em cada mês, no clima da AS. Para isso foram desenvolvidos mapas de correlação e compostos e de diferentes variáveis meteorológicas. Nos compostos, foram excluídos os anos com atuação do ENOS de forma a isolar a influência do SAM. Um estudo de caso foi realizado para avaliar os resultados dos compostos.

Seguindo o desenvolvimento, também foram analisados os impactos do SAM na frequência de eventos de geadas na Região Sul do Brasil, observando episódios de simultaneidade entre as fases do SAM com fases de ENOS. Espera-se que os resultados apresentados nesta monografia possam auxiliar nos estudos e previsões de tempo e clima.

2. Revisão Bibliográfica

No campo de pressão, o Modo Anular é caracterizado por uma mudança Norte – Sul (N-S) na massa atmosférica entre as regiões polares e de latitudes médias. No campo de vento é descrito um balanço N-S no vento zonal extratropical com centros localizados entre 55-60° e 30-35° de latitude. O maior índice de polaridade do Modo Anular, também chamado de fase positiva (Figura 2.1 b), é definido quando tem-se pressões inferiores (superiores) as normais sobre as regiões polares (latitudes médias) e anomalias positivas de vento de oeste ao longo de aproximadamente 55-60° de latitude. Sendo o menor índice, ou fase negativa (Figura 2.1 a), o oposto (<http://www.atmos.colostate.edu/ao/introduction.html>).

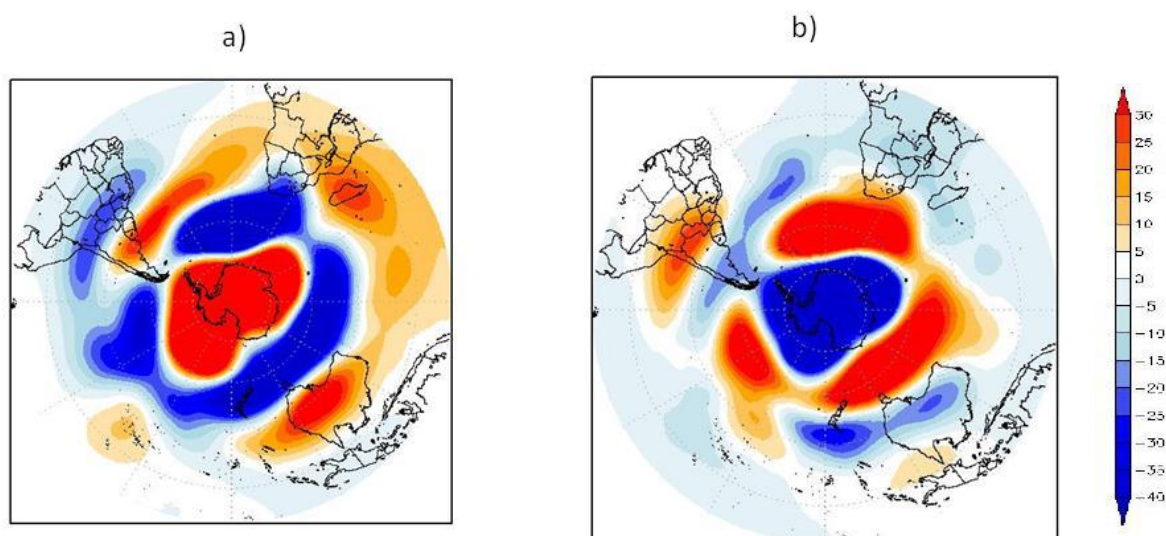


Figura 2.1. Composto de anomalia altura geopotencial (m) em 250 hPa para novembro, utilizando os quintis mais extremos (período de 1981-2020) para cada fase: (a) Fase negativa do SAM e (b) Fase positiva do SAM.

Existem diferentes maneiras de calcular o índice SAM. Gong e Wang (1999) definiram o índice como a diferença entre a média zonal da pressão ao nível médio do mar entre 40°S e 65°S. O *Climate Prediction Center/National Center for Environmental Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration* (CPC/NCEP/NOAA), calcula o índice através da Função Ortogonal Empírica (*Empirical Orthogonal Function*, EOF), da anomalia de altura geopotencial em 700hPa, compreendendo a região de latitude 20°S até 90°S. Com valores positivos caracterizam a fase positiva, e valores negativos a fase negativa

(http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao/ao_index.html).

O SAM possui impactos na circulação do HS. Na fase positiva do SAM, ocorrem anomalias de vento de leste conforme se aproxima da região equatorial e anomalias de oeste ao dirigir-se em direção ao pólo. As anomalias de leste próximas à superfície estendem-se do equador para os subtropicais (THOMPSON E WALLACE, 2000). O cisalhamento do vento zonal, em baixos níveis, aumenta na região de latitudes médias (*Storm Tracks*). Na fase negativa ocorre o oposto (RAO, DO CARMOS E FRANCHITO, 2003).

Carvalho et al. (2005), utilizando o índice diário do CPC/NCEP/NOAA, calculado através do EOF, mostraram que as fases distintas do SAM modulam a latitude de formação dos ciclones e seu deslocamento máximo em direção ao equador. Os autores concluíram que as distintas fases do SAM, e seus respectivos padrões de circulação atmosférica, modulam a latitude inicial dos ciclones e seu deslocamento máximo. Isso, certamente, ocorre devido ao deslocamento do jato subtropical em direção ao Equador, durante a fase negativa do SAM, que favorece a formação e dissipação em latitudes menores. Durante a fase positiva, os ciclones formam-se, relativamente, próximos ao continente antártico. Isso é causado por uma forte baroclinia na região.

Silvestri e Vera (2009) estudaram os impactos do SAM na AS utilizando reanálises e medições in situ, fazendo uso de médias mensais de 102 estações de precipitação, 103 de temperatura, e 95 de pressão ao nível médio do mar, localizadas em toda a região continental do HS, para as décadas de 1960-1970 e 1980-1990. O índice SAM foi calculado a partir das medições de Pressão Média ao Nível do Mar. Os autores fizeram uso da metodologia usada por Marshall (2003), o qual utilizou o método de cálculo do índice de Gong e Wang (1999), utilizando seis estações com dados de pressão ao nível médio do mar entre as latitudes de 40°S e 65°S. Seus resultados mostraram que, na primeira década, a fase positiva do SAM é associada a uma circulação anticiclônica anômala desenvolvida no sudoeste subtropical do Atlântico Sul, que intensifica a advecção de umidade e promove um aumento da precipitação sobre o Sudeste da AS (SEAS). Por outro lado, durante as últimas décadas a anomalia anticiclônica induzida pela fase positiva de SAM abrange a maior

parte do sul da AS e o Atlântico adjacente, enfraquecendo a convergência de umidade e diminuindo a precipitação sobre SEAS.

Mendes e Cavalcanti (2013) investigaram a relação entre o SAM e os eventos de bloqueio ocorridos sobre os oceanos Pacífico e Atlântico. A máxima duração e o maior número de eventos sobre o Pacífico Sudoeste e o Atlântico Sul, ocorrem durante a fase positiva do SAM. Atividade de bloqueio sobre a região do Pacífico Sudeste é similar nas duas fases do SAM, mas a persistência é maior durante a fase negativa. Os autores também observaram que, durante todas as estações com SAM negativo, ocorrem anomalias negativas de geopotencial em 500 hPa sobre o SEAS, que representam o centro ciclônico do padrão de dipolo do bloqueio. Essas anomalias negativas podem ser associadas à passagem de sistemas transientes sobre a região. Na fase positiva, as anomalias geopotenciais negativas (associadas a sistemas transientes) afetam a costa sudoeste da AS durante a primavera e o verão; enquanto no outono e inverno, afetam o SEAS. Este comportamento está relacionado com a posição dos bloqueios identificados perto da costa sudoeste da AS na primavera e no verão, e próximo à costa sudeste no outono e inverno. Na fase negativa SAM no inverno, a alta de bloqueio está próxima da costa sudeste da AS e é mais forte do que na fase positiva.

Reboita et al. (2009) estudaram a relação entre o SAM e os sistemas atmosféricos no HS, analisando padrões sazonais de ciclones, de frontogêneses e de distribuição de precipitação. Para esse efeito, foi calculado a densidade de ciclones e função frontogenética para o período de 1980 a 1999. Com relação aos ciclones, seus resultados concordam com os de Carvalho et al. (2005). Os autores observaram que, na fase negativa do SAM, há condições frontogenéticas em todas as estações do ano sobre o sul do Brasil, Uruguai, e em partes do centro e nordeste da Argentina, bem como uma grande região sobre o Atlântico Sul. Os autores também notaram que, para a fase positiva do SAM, o padrão geral de precipitação é quase oposto à fase negativa, particularmente durante a estação de outono, quando anomalias de precipitação negativas são observadas sobre o sul do Brasil e fracas anomalias positivas são observadas sobre o SEAS. Este padrão de balanço também é observado durante o verão, quando anomalias positivas de precipitação são observadas nas partes central e norte do Brasil. Neste caso, a ZCAS é deslocada para o norte a partir de sua posição climatológica.

Vasconcellos e Cavalcanti (2010) investigaram os verões (DJF) extremos chuvosos e secos em parte da Região Sudeste do Brasil, durante o período de 1979-2006. Neste trabalho, calculou-se o índice SAM através da anomalia de altura geopotencial em 700 hPa, da latitude 20°S até 90°S. As autoras encontraram, nos resultados de anomalia de altura geopotencial em 500 hPa para verões úmidos e secos, indicativo do padrão "gangorra" entre a região polar e a região de latitudes médias, típica do padrão SAM. Observaram que os verões muito secos (chuvosos) apresentavam a configuração da fase negativa do SAM (positiva). Na precipitação, a região analisada, mostra anomalias positivas em uma faixa noroeste-sudeste sobre o sudeste do Brasil, típicas da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Este sinal inverte nos verões mais secos, apresentando anomalias de precipitação negativas sobre a mesma região.

Outro padrão de teleconexão de grande importância é o ENOS. Segundo Kousky et al. (1984), ENOS é uma oscilação acoplada do oceano-atmosfera, que produz alterações na TSM, na pressão, no vento, e na convecção tropical, principalmente no Oceano Pacífico tropical, mas com reflexos em muitos lugares do planeta, incluindo o Brasil. A fase positiva do ENOS, quando ocorrem anomalias positivas de TSM no Pacífico tropical, é chamada de EN. Já a fase negativa, quando se tem anomalias negativas de TSM nesta região, chama-se LN.

Grimm e Tedeschi (2009) mostram que anomalias de TSM associadas a episódios de EN e LN produzem fluxos de calor e vapor d'água anômalos da região do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera. A convecção anômala associada a esse sistema causa uma anomalia na divergência em altos níveis, perturbando a circulação global, causando distúrbios nas circulações de Walker e Hadley. Isso causa significativos impactos sazonal e mensal na precipitação em várias regiões da AS, durante as diferentes fases do ENOS.

Alguns trabalhos sugerem uma relação entre o SAM e o ENOS. Em Carvalho et al. (2005), os autores concluíram que uma das primeiras forçantes tropicais, responsáveis pela variação do SAM, é observada na baixa frequência de variabilidade da TSM modulando o padrão tropical convectivo. A fase negativa (positiva) do SAM é dominante quando é observado TSM mais quentes (frias) sobre o Pacífico leste e central. L'Heureux e Thompson (2006) mostraram que 25% da variabilidade interanual

da SAM é linearmente relacionada com a flutuação do ENOS. Eles também apresentaram que a relação entre os dois padrões ocorre durante o verão austral (novembro-fevereiro). Vasconcellos (2012) mostrou que, em novembro, a fase positiva (negativa) da SAM está relacionada com as características do padrão LN (EN). O trabalho também sugeriu que a relação entre SAM e ENOS ocorre em diversas escalas de tempo.

Han et al. (2017) estudaram a relação entre o SAM e ENOS durante a primavera austral, fazendo uso do índice Niño 3.4 e o índice SAM calculado através com metodologia similar à empregada no CPC/NCEP/NOAA. Os autores observaram que durante o período de 1979-93, o sinal espacial do ENOS (SAM) é restrito à região tropical e médias latitudes (Antártica e latitudes médias) para o HS, possuindo fraca conexão entre as duas oscilações. Entretanto, após meados dos anos 90, identificaram sinais atmosféricos relacionados ao EN durante a fase negativa do SAM em latitudes médias e altas do HS.

Apesar de diversos trabalhos mostrarem essa relação entre o ENOS e o SAM, os trabalhos que apresentaram o impacto do SAM no clima da AS não fizeram uma separação desses dois padrões nas suas análises.

3. Dados e Metodologia

3.1 Dados

Saídas da Reanálise ERA-Interim (DEE ET AL., 2011), com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Essa reanálise inclui uma grande variedade de parâmetros de superfície a cada 3 horas, descrevendo o tempo e condições de ondas oceânicas e de superfície da terra; parâmetros de ar superior a cada 6 horas, cobrindo a troposfera e a estratosfera; integrais verticais dos fluxos atmosféricos e médias mensais para diversos parâmetros. Outros campos derivados também são produzidos.

Para elaborar o índice SAM, os compostos e os mapas de correlação, foram utilizadas as saídas mensais de diversas variáveis dessa reanálise. Visando estudar o comportamento das geadas para cada fase do SAM, combinada a cada fase do ENOS, utilizou-se saídas diárias da variável de temperatura de ar a 2 metros, utilizando o horário das 06Z.

Dados mensais de precipitação do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP), com resolução de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (ADLER ET AL, 2003). Esse produto contém dados de precipitação obtidos de observações em superfície e de precipitação estimada por meio de canais de microondas provenientes de satélites de órbita baixa e de canais infravermelhos provenientes de satélites de órbita geoestacionária.

Dados mensais de TSM, com resolução de $2,0^\circ \times 2,0^\circ$ (HUANG ET AL., 2017). Esse é um conjunto de dados mensais da TSM global, derivado do *Comprehensive Ocean-Atmosphere Dataset* (ICOADS), com integridade espacial aprimorada por métodos estatísticos.

Dados mensais de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE), com resolução de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ (LEE ET AL., 2014). A ROLE é estimada principalmente a partir das observações de radiância do *High Resolution Infrared Radiation Sounder* (HIRS), instrumentos a bordo dos satélites da série NOAA TIROS-N, para todas as condições do céu. As observações de radiância do *Imager*, a bordo de satélites geoestacionários operacionais são incorporadas para obter uma integração temporal precisa.

O índice ENOS 3.4 é calculado pelo CPC/NCEP/NOAA, que abrange a região 5°N-5°S, 120°-170°W, e possui um limiar de 0,5°C de anomalia de TSM, onde anomalias maiores que esse valor, é considerado EN, e anomalias menores é considerado LN (TRENBERTH, 1997).

O período utilizado em todos os dados e produtos foi de 1981 a 2010.

Para o estudo de caso, foram calculadas anomalias de precipitação e temperatura do ar a 2 m, usando dados do GPCP e da Reanálise ERA-Interim, respectivamente, para o mês de janeiro de 2017.

3.2 Metodologia

3.2.1 Cálculo das anomalias

Visando calcular o índice SAM, e desenvolver os produtos de correlação e compostos, foram calculadas anomalias das médias mensais das variáveis do período climatológico de 1981 a 2010.

Para o estudo de caso, fora usado o mesmo período climatológico, e calculou-se a anomalia para o mês de janeiro de 2017.

3.2.2 Cálculo do índice SAM

O conceito de EOF foi introduzido por Lorenz (1956) como metodologia ao realizar um estudo com a finalidade de encontrar uma maneira eficaz de extrair uma representação simplificada ou compacta de um conjunto de dados. O objetivo era uma representação otimizada do estado da atmosfera, em função do tempo e do espaço, ou seja, uma sequência temporal de campos meteorológicos. Através do método de EOF, pode-se obter padrões espaciais de variabilidade e a variação temporal de um único campo escalar (BJÖRNSSON; VENEGAS, 1997).

O índice SAM foi calculado a partir do EOF, da anomalia mensal de altura geopotencial em 700 hPA (BALDWING E THOMPSON, 2009), no intervalo de latitude de 30°-90°S. A escolha dessa região difere da usada comumente na literatura (vide Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica). Essa nova metodologia possui a finalidade de capturar o principal modo de variabilidade da região extratropical e minimizar a

influência de fenômenos da região tropical. A série temporal do índice SAM foi obtida através da Componente Principal (CP) do primeiro EOF. Os valores positivos (negativos) do índice SAM representam anomalias positivas (negativas) de altura geopotencial nas latitudes médias e anomalias negativas (positivas) em altas latitudes, ou seja, a fase positiva (negativa) do SAM.

3.2.3 Mapas de Correlação

Seguindo o desenvolvimento do trabalho, com os dados obtidos e com o índice calculado, foram confeccionados e analisados, mês a mês, mapas de correlações entre o índice SAM e anomalias mensais de variáveis atmosféricas como: temperatura de ar a 2 metros, precipitação, ROLE, TSM, e altura geopotencial para os níveis de 250, 500 e 850 hPa.

3.2.4 Compostos

Também foram confeccionados para cada mês compostos de diversas variáveis para ambas as fases do SAM. Para a confecção desses compostos, retirou-se da série temporal do índice SAM os anos onde houve ocorrências de ENOS. Este procedimento teve como objetivo observar somente a influência do SAM, filtrando uma possível influência conjunta do ENOS nos resultados.

Os anos de ENOS foram determinados através do índice ENOS na região Niño 3.4 gerado pelo CPC/NCEP/NOAA. A escolha dessa região ocorreu pela TSM da mesma apresentar melhor correlação o SAM (vide Capítulo Resultados – Seção 4.2). Feito isto, foram selecionados os quatro anos mais positivos e os mais negativos de cada mês para gerar os compostos. A exceção ocorreu para o mês de dezembro, que após a exclusão de anos de ENOS, restaram apenas 3 anos positivos e 3 anos negativos que pudessem ser utilizados no desenvolvimento dos compostos.

Tanto nos mapas de correlação, quanto nos compostos, aplicou-se o teste *t-student* (WILKS, 2006), com nível de confiança de 90%. A distribuição *t* é uma distribuição simétrica que é muito semelhante à distribuição Gaussiana padrão, embora com maior probabilidade atribuída às extremidades, ou seja, a distribuição *t* tem extremidades mais pesadas que a distribuição gaussiana. Essa distribuição é controlada por um único parâmetro, chamado de graus de liberdade. O parâmetro

pode assumir qualquer valor inteiro positivo, com as maiores diferenças do Gaussiano sendo produzido para valores pequenos.

3.2.5 Estudo de caso

Para avaliar os resultados dos compostos, realizou-se um estudo de caso, fora do período usado nos compostos (1981-2010), onde foi escolhido um mês que não houvesse a ocorrência de ENOS. Assim, escolheu-se o mês de janeiro de 2017 (fase negativa do SAM e ENOS neutro). Com dados de precipitação do GPCP e saídas de temperatura do ar a 2 m da Reanálise ERA-Interim, foram confeccionados mapas de anomalias para essas variáveis e comparados com os resultados dos compostos de janeiro para a fase negativa do SAM.

3.2.6 Geadas

Oliveira (1997), através de diversas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, encontrou que a maior frequência entre a temperatura mínima no abrigo meteorológico (1,5m) e a temperatura na relva (0,05m) está entre 2,1 e 4°C; com ponto médio de aproximadamente 3°C.

Para avaliar a influência conjunta do SAM com o ENOS, na frequência das geadas na Região Sul do Brasil, compreendendo 24°S-34°S/47°W-57°W, foi determinado um limiar para geadas de valores de temperatura do ar a 2 m, do horário das 06Z, menores que 2°C, para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, meses climatológicos de ocorrência de geadas (SELUCHI 2009, p.151).

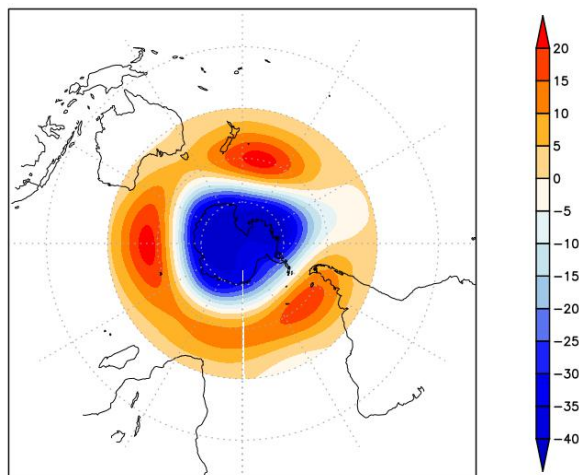
Tabelas de contingência, com as diferentes configurações de ENOS e SAM, para cada mês, foram criadas contabilizando o total de geada em cada classe de SAM e ENOS, por ponto de grade, e normalizando pelo número total de anos incluídos nessa categoria. Desta forma, foi possível avaliar, estatisticamente, se há alguma relação entre o SAM, ENOS e as geadas na região.

4. Resultados

4.1 Índice SAM

Conforme mencionado no Capítulo anterior, o método usado para o cálculo do índice SAM neste trabalho, fora diferente daquele utilizado pelo CPC/NCEP/NOAA, o qual calcula o EOF no intervalo latitudinal de 20°S a 90°S. Neste trabalho, calculou-se EOF o ao sul de 30°S, com o objetivo de retirar a influência da região tropical, visto que o SAM é um sistema que ocorre em latitudes médias e altas, apesar de impactar, também, na região tropical. Daqui em diante, chamaremos o índice SAM calculado com essa nova metodologia de *New SAM* (NSAM)

A seguir, é apresentado o primeiro EOF de anomalia de geopotencial entre 30°-90°S, em 700 hPa (Figura 4.1a), e um gráfico onde compara-se o índice SAM do CPC/NCEP/NOAA e o NSAM (Figura 4.1b). É possível notar que os índices são bastante similares. Eles apresentam correlação de 95,1%, sendo diferenciados basicamente nos valores extremos. Nota-se que o índice calculado nesse estudo, NSAM, possui valores extremos mais intensos, tanto positivamente quanto negativamente, do que o índice SAM CPC/NCEP/NOAA. Possivelmente, isso ocorre devido a retirada de ruídos provenientes da região tropical.



(a)

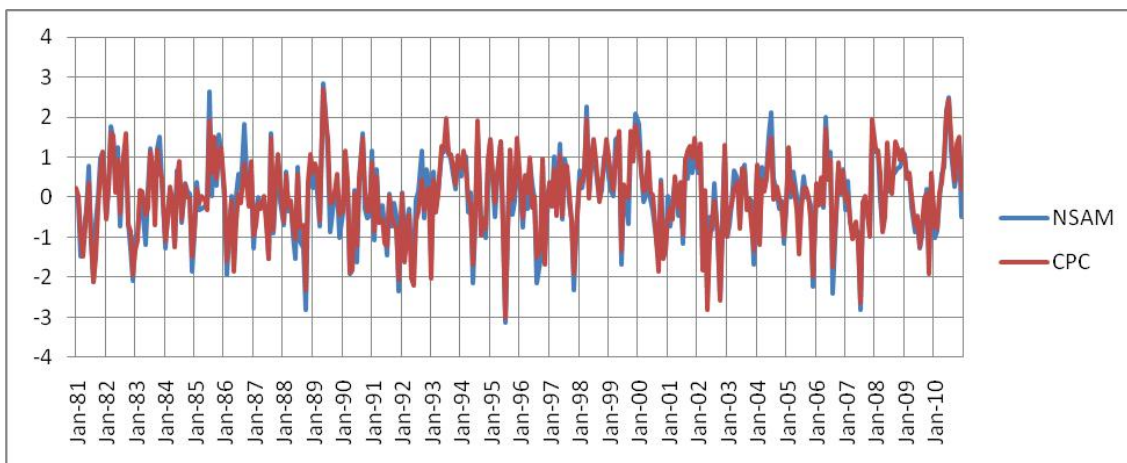


Figura 4.1. (a) Primeiro EOF de anomalia de geopotencial entre 30°-90°S, em 700 hPa. (b) Série temporal dos índices SAM do CPC/NCEP/NOAA e NSAM (janeiro de 1981 a dezembro de 2010). Em vermelho, o índice CPC/NCEP/NOAA e em azul o índice NSAM.

4.2 Correlação

As Figuras 4.2 a 4.4 mostram os mapas de correlação significativa (90% de confiança – teste t-student) do índice NSAM com anomalia de altura geopotencial para os níveis de 250, 500 e 850 hPa, respectivamente. Nota-se nos três níveis a correlação positiva com a anomalia de altura geopotencial em latitudes médias, mostrando que quando há fase positiva (negativa) do SAM, a anomalia de altura geopotencial é positiva (negativa). E sobre latitudes polares ocorre correlação negativa, evidenciando o padrão "gangorra" entre essas latitudes e as latitudes médias. Nota-se que, em baixos níveis, diversos meses também apresentam correlação nas regiões tropicais (Figura 4.2), Demonstrando que o SAM impacta além da região extratropical. Conforme aumento o nível da atmosfera, essa relação com a região tropical enfraquece. Em 250 hPa, somente os meses de abril (Figura 4.4d), agosto (Figura 4.4h), setembro (Figura 4.4 i) e novembro (Figura 4.4 k) apresentam correlação em uma ampla região próxima ao equador. Ressalta-se que os dois últimos meses citados apresentam correlação negativa na região tropical, diferenciando dos outros níveis.

Nos meses de janeiro (Figuras 4.2a; 4.3a), fevereiro (Figuras 4.2b; 4.3b), março (Figuras 4.2c; 4.3c), maio (Figuras 4.2e; 4.3e) e novembro (Figuras 4.2k; 4.3k), é notório, em 250 e 500 hPa, um dipolo de correlação entre o sul da AS (correlação positiva) e uma região mais a norte (correlação negativa). Sendo o mês de novembro

apresentando esse dipolo mais amplo, com a correlação negativa abrangendo a parte central e o sudesde do continente. Esse dipolo também ocorre durante o mês de setembro em 500 hPa (Figura 4.3 i).

Em 850 hPa, a AS apresenta correlação positiva, variando a abrangência de acordo com o mês, sendo que os meses de abril (Figura 4.4d), maio (Figura 4.4e) e outubro (Figura 4.4j) apresentam forte correlação positiva com todo o continente. A exceção ocorrem nos meses de janeiro a março (Figuras 4.4 a-c), que apresentam correlações positivas no sul da AS e negativa mais ao norte. Em janeiro a correlação é negativa com o NEB, em fevereiro é negativa com a região sudeste do Brasil e em março abrange desde a região sudeste do Brasil até o norte da AS.

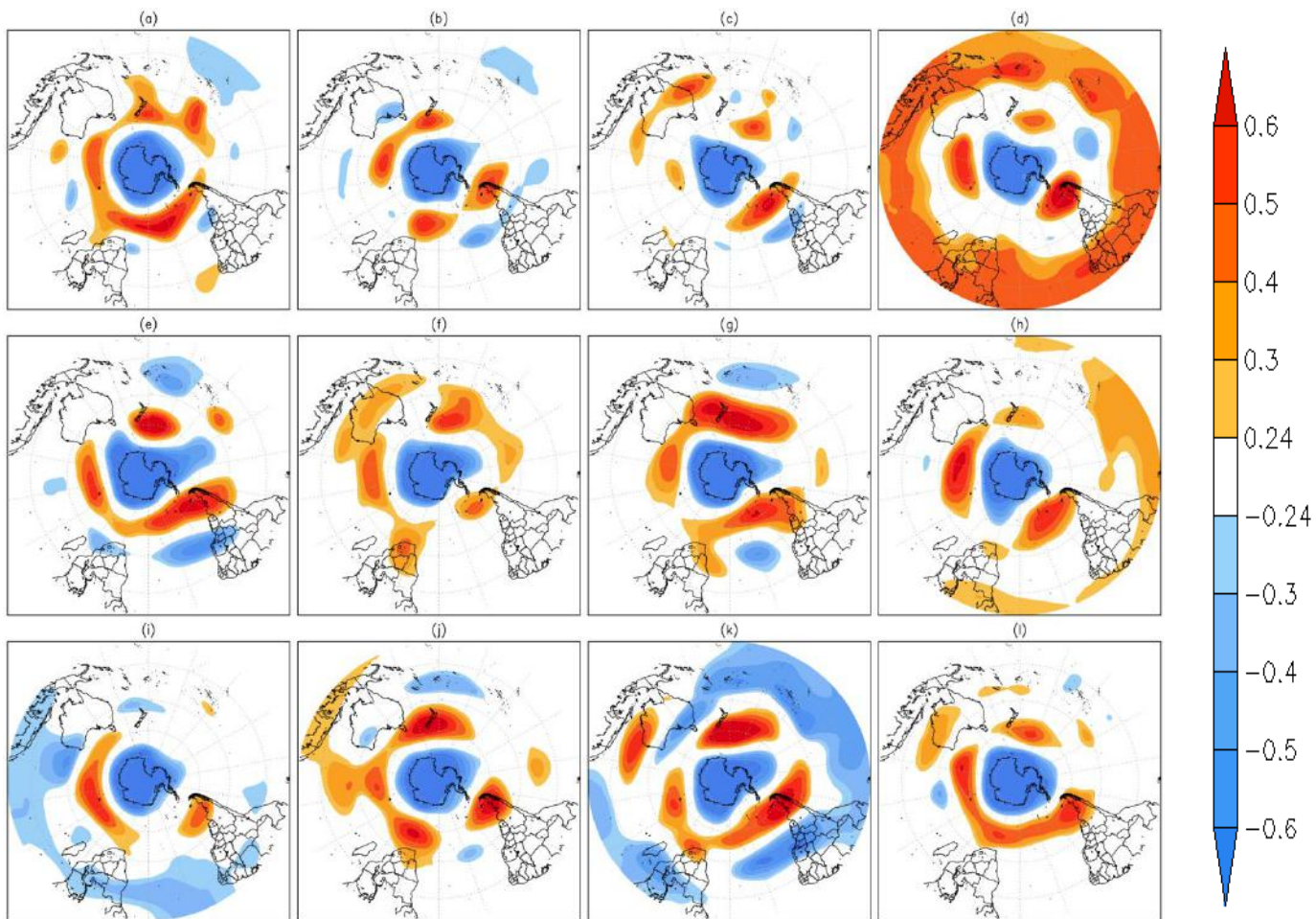


Figura 4.2. Correlação entre o índice NSAM e as anomalias de altura geopotencial em 250 hPa, nos meses de janeiro a dezembro (de a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

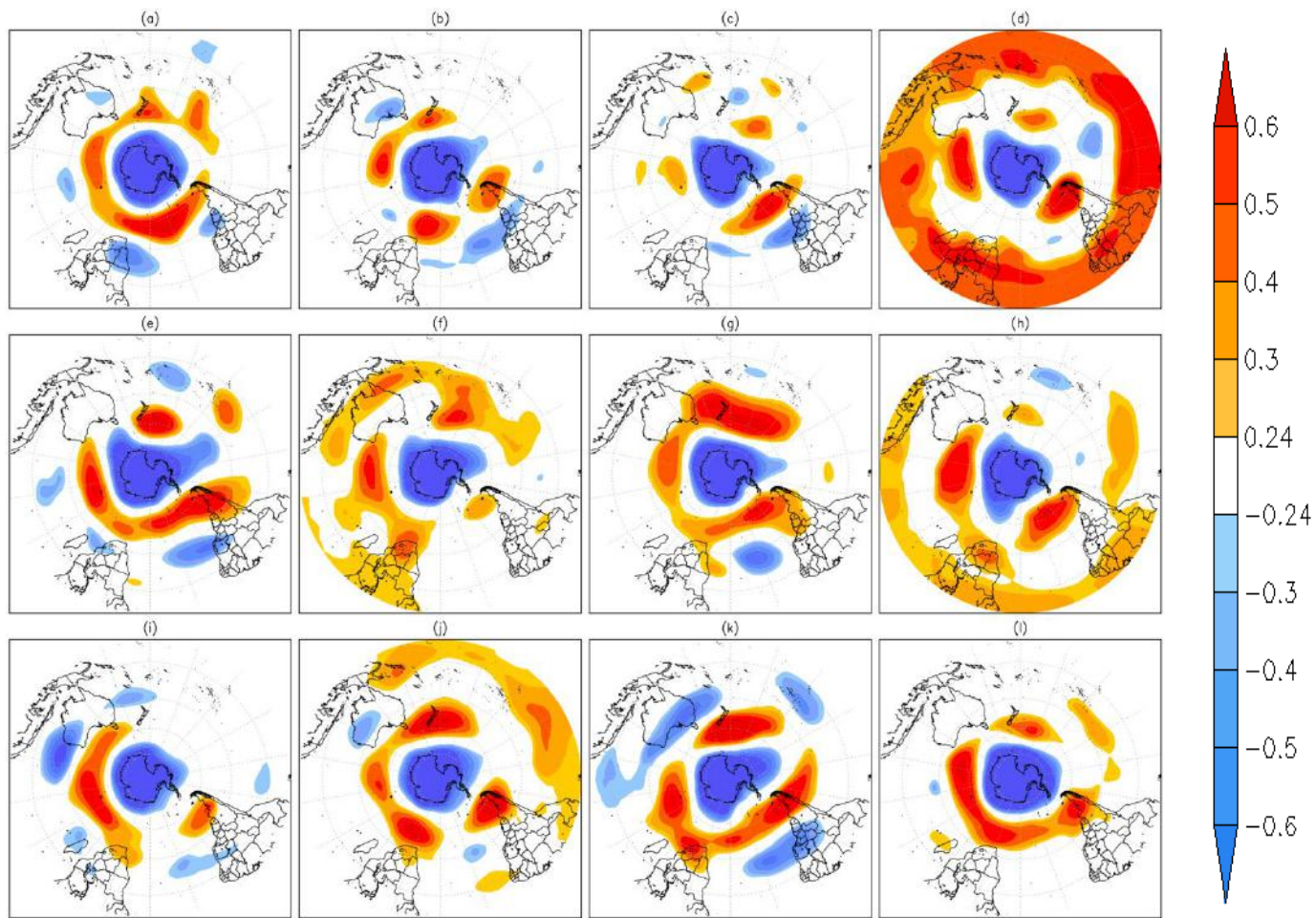


Figura 4.3. Correlação entre o índice NSAM e as anomalias de altura geopotencial em 500 hPa, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

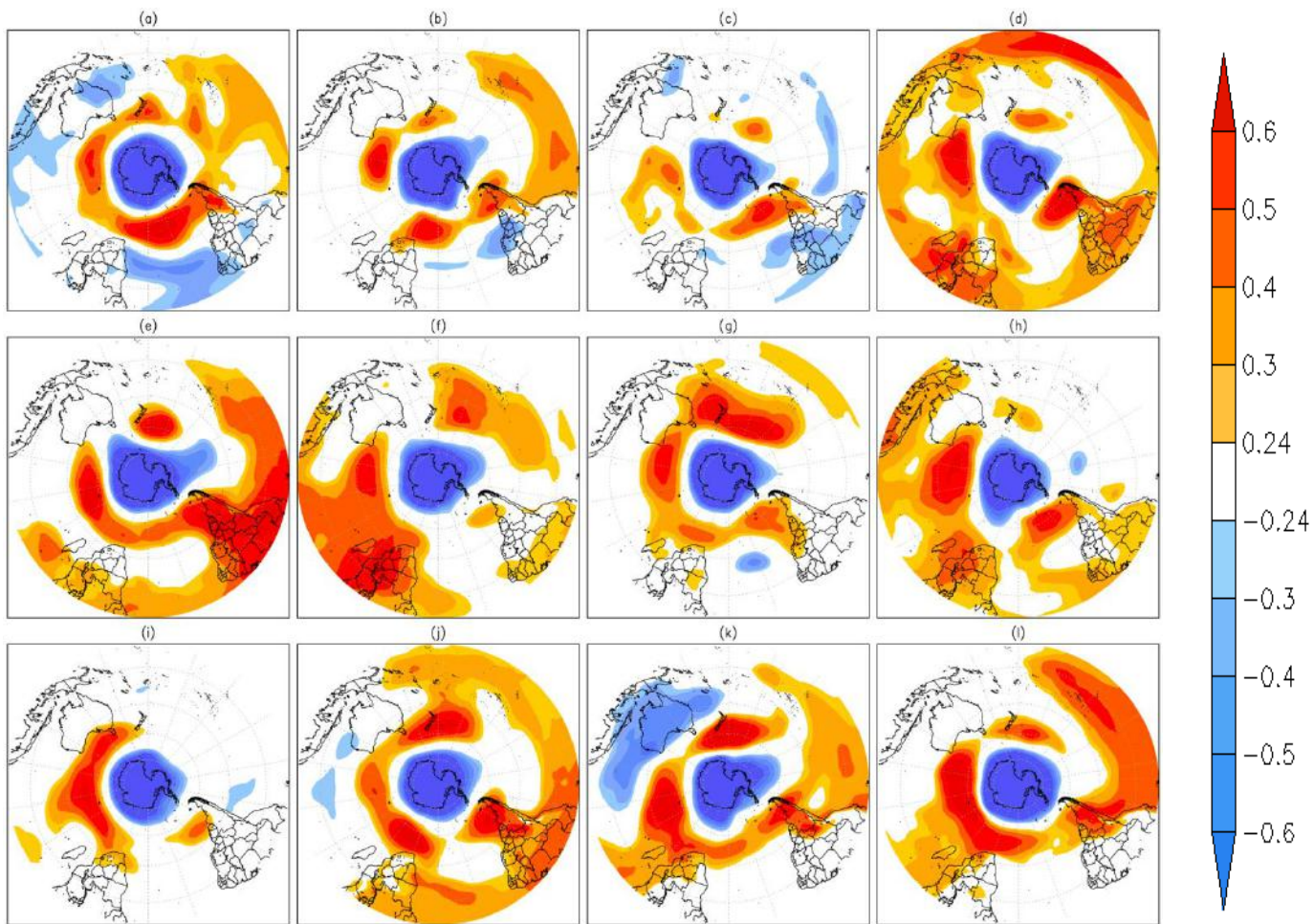


Figura 4.4. Correlação entre o índice NSAM e as anomalias de altura geopotencial em 850 hPa, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

A Figura 4.5 apresenta os resultados de correlação do índice NSAM com a temperatura do ar a 2 metros. As Regiões Sudeste e Centro-Oeste e o SEAS se destacam em boa parte dos meses. Em janeiro (Figura 4.5a) e abril (Figura 4.5d), há correlação positiva em diversas áreas da região tropical, sendo destaque para o NEB em ambos os meses e na parte central e oeste do continente, em abril. Março (Figura 4.5c) e junho (Figura 4.5f) apresentam correlações próximas a neutralidade em grande parte do continente. As exceções ocorrem, para março, com uma correlação negativa no extremo sul da AS e uma fina faixa de correlação negativa com orientação NO-SE, desde a Região Centro-Oeste, passando pela Região Sudeste, até o oceano Atlântico. Para junho, no extremo sul e parte do SEAS, onde é observada correlação negativa. Em maio (Figura 4.5e), o continente apresenta-se majoritariamente com correlação negativa, principalmente no sul e toda a região subtropical. Em fevereiro (Figura 4.5b), e de julho a dezembro (Figura 4.5 g-l) destaca-se correlações negativas no SEAS e em parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Novembro (Figura 4.5k) ainda apresenta correlação negativa sobre o estado do Amazonas, no Brasil, e correlação positiva em parte do NEB.

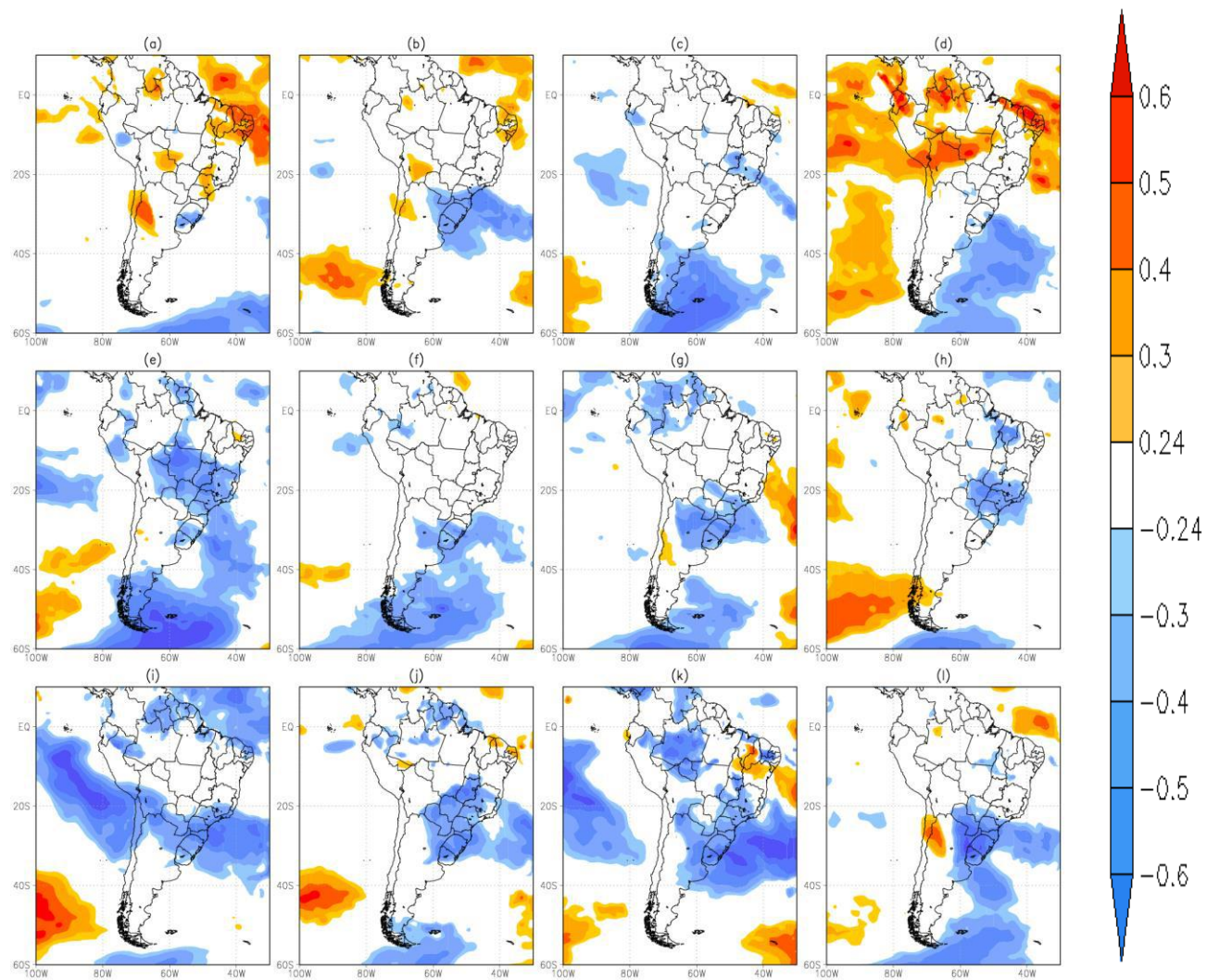


Figura 4.5. Correlação entre o índice NSAM e anomalias de temperatura do ar a 2 metros, dos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

A Figura 4.6 apresenta os resultados de correlação do índice NSAM com a anomalia de precipitação. Os meses de janeiro (Figura 4.6a), fevereiro (Figura 4.6b), abril (Figura 4.6d), junho-agosto (Figuras 4.6 f-h) e dezembro (Figura 4.6l) não mostram grandes destaques na correlação entre o SAM e a precipitação sobre o continente. Em janeiro e fevereiro (Figuras 4.6a-b), são observadas correlações positivas em partes do norte da AS e na região da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Oceano Atlântico. No mês de abril (Figura 4.6d), chama atenção a forte correlação positiva com a região da ZCIT no Oceano Pacífico. Para julho (Figura 4.6g), a região centro-norte da Argentina e Paraguai apresentam correlação positiva, enquanto que parte dos estados de São Paulo e Paraná apresentam correlação negativa. Agosto (Figura 4.6h) apresenta apenas correlação positiva na porção central da Argentina. Em dezembro (Figura 4.6l), correlação negativa é observada somente no sul e norte da Argentina e no Paraguai.

Em março (Figura 4.6c) e novembro (Figura 4.6k), pode-se notar a presença de um dipolo, com correlação negativa no SEAS e positiva numa banda com orientação NW-SE ao norte. Esse dipolo é característico da ocorrência de ZCAS (CARVALHO E JONES 2009, p.97), sugerindo uma intensificação (enfraquecimento) da mesma na fase positiva (negativa) do SAM. Em março, há também correlação negativa no norte do NEB e no extremo sul do continente. Maio (Figura 4.6e) também apresenta correlação negativa entre a variável e o índice NSAM no SEAS, assim como verificado em março e novembro. Entretanto, a região de correlação negativa é mais extensa no continente e não há a presença da banda de correlação positiva com orientação NW-SE. Somente áreas de correlação positiva no norte e nordeste da AS.

Setembro (Figura 4.6i) exhibe um comportamento diferente dos outros meses, com correlação positiva se estendendo pela parte central da AS passando pela Argentina, Paraguai, parte do Brasil e da Bolívia, indo até o litoral oeste do continente, no Peru. Para outubro (Figura 4.6j) ressalta-se a correlação negativa no extremo sul da AS e correlação positiva em regiões do norte e nordeste da AS.

De uma forma geral, a correlação entre o índice NSAM e a ROLE (Figura 4.7) apresenta uma relação oposta com a precipitação (Figura 4.6). O que é coerente pois, regiões com mais (menos) precipitação, apresentam maior (menor) convecção e, por consequência, menores (maiores) valores de ROLE.

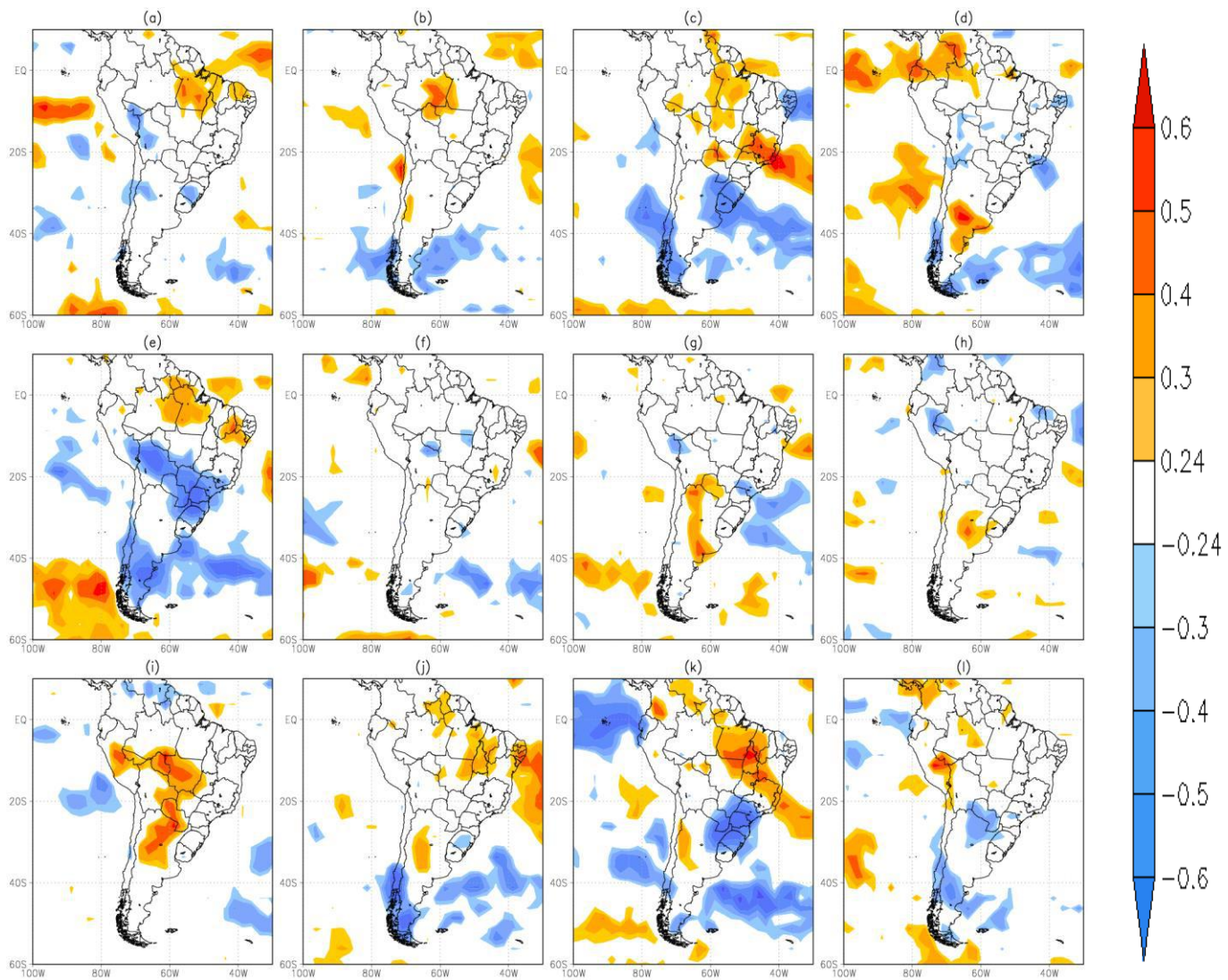


Figura 4.6. Correlação entre o índice NSAM e anomalias de precipitação acumulada, dos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

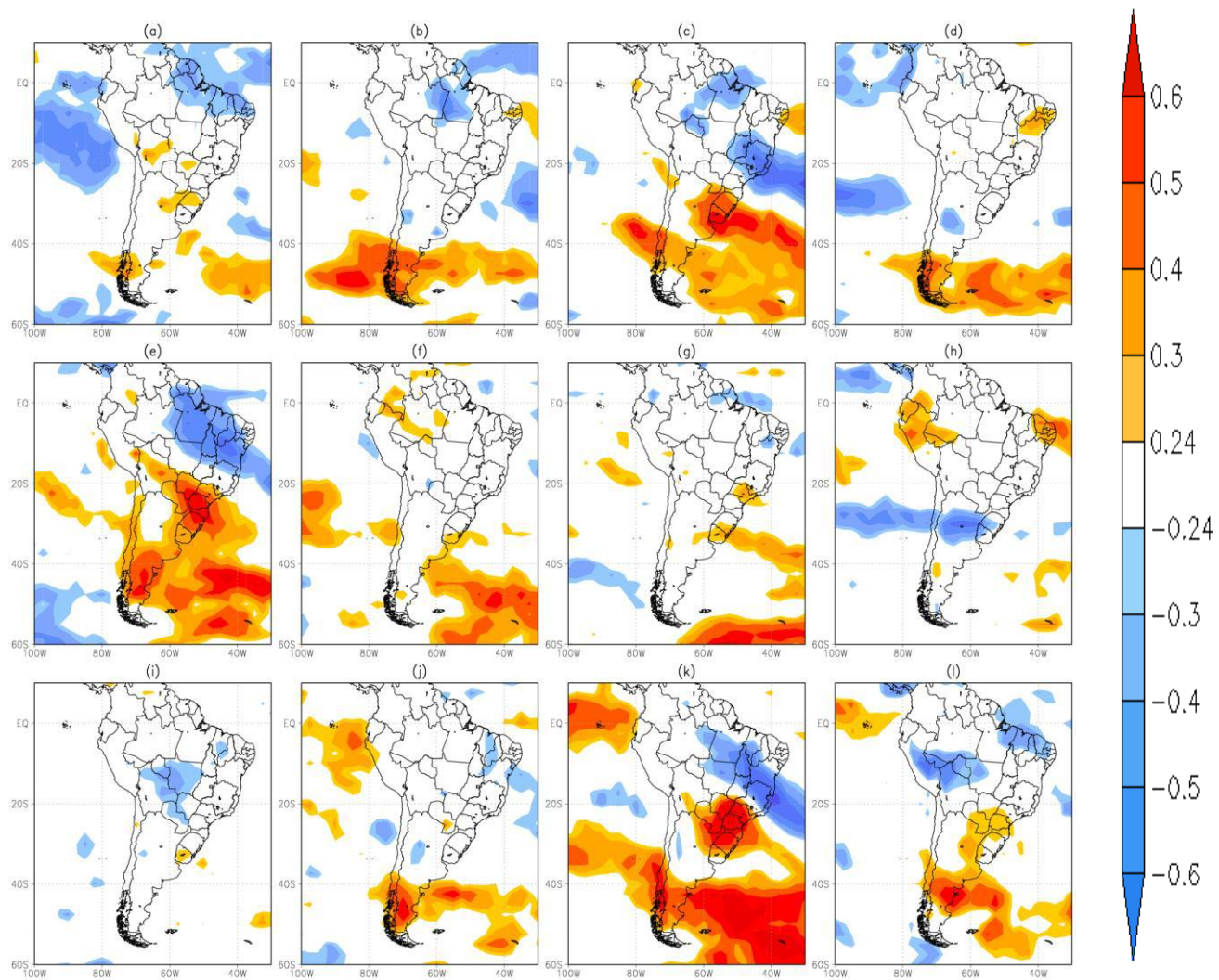


Figura 4.7. Correlação entre o índice NSAM e anomalias de ROLE, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

A TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico podem contribuir fortemente para a variabilidade do clima na AS (TEDESCHI ET AL, 2013; PIKE 1971). Desta forma, torna-se interessante avaliar a relação entre o SAM e a TSM, visando contribuir para o entendimento do impacto do SAM na AS. A Figura 4.8 exhibe os resultados para a correlação da TSM com o índice NSAM. É possível notar que nos meses de janeiro (Figura 4.8a), fevereiro (Figura 4.8b), novembro (Figura 4.8k) e dezembro (Figura 4.8l), a região do Pacífico tropical é encontrada correlação negativa, sendo mais intensa em novembro. Além disso, encontra-se correlações positivas no Pacífico extratropical, em ambos os hemisférios. Esse resultado sugere uma relação com o ENOS, principalmente com a região Niño 3.4. Sendo que, quando ocorre um EN (LN), o SAM estaria em fase negativa (positiva). Esse resultado está de acordo com diversos trabalhos prévios (L'HEUREUX e THOMPSON, 2006). Entretanto, essa relação não é vista nos outros meses e, ao contrário dos meses de verão (NDJF), abril (Figura 4.8d) e agosto (Figura 4.8h) apresentam correlação positiva entre o SAM e a TSM no Pacífico tropical.

O SAM também parece influenciar a TSM no sudoeste do Atlântico. A maior parte dos meses apresenta um dipolo, com correlação positiva próximo ao sul da AS e negativa ao norte. Porém em abril (Figura 4.8d) e junho (Figura 4.8f), há pouca correlação nessa região. Enquanto que em agosto (Figura 4.8h) e dezembro (Figura 4.8l), aparecem áreas com correlação positiva. Esse dipolo da TSM está de acordo com os resultados apresentados na temperatura (Figura 4.5), apresentando correlações negativas no SEAS (próximo a parte norte do dipolo de TSM); precipitação (Figura 4.6), com correlação negativa no SEAS em alguns meses que apresentaram o dipolo, e ROLE (Figura 4.7).

O SAM também apresentou correlações positivas na região do Índico em agosto (Figura 4.8h) e, principalmente, em abril (Figura 4.8d). Entretanto, durante maio (Figura 4.8e) e na primavera (SON- Figuras 4.8 i-k), a correlação do SAM com o Índico é negativa, com maior intensidade em novembro.

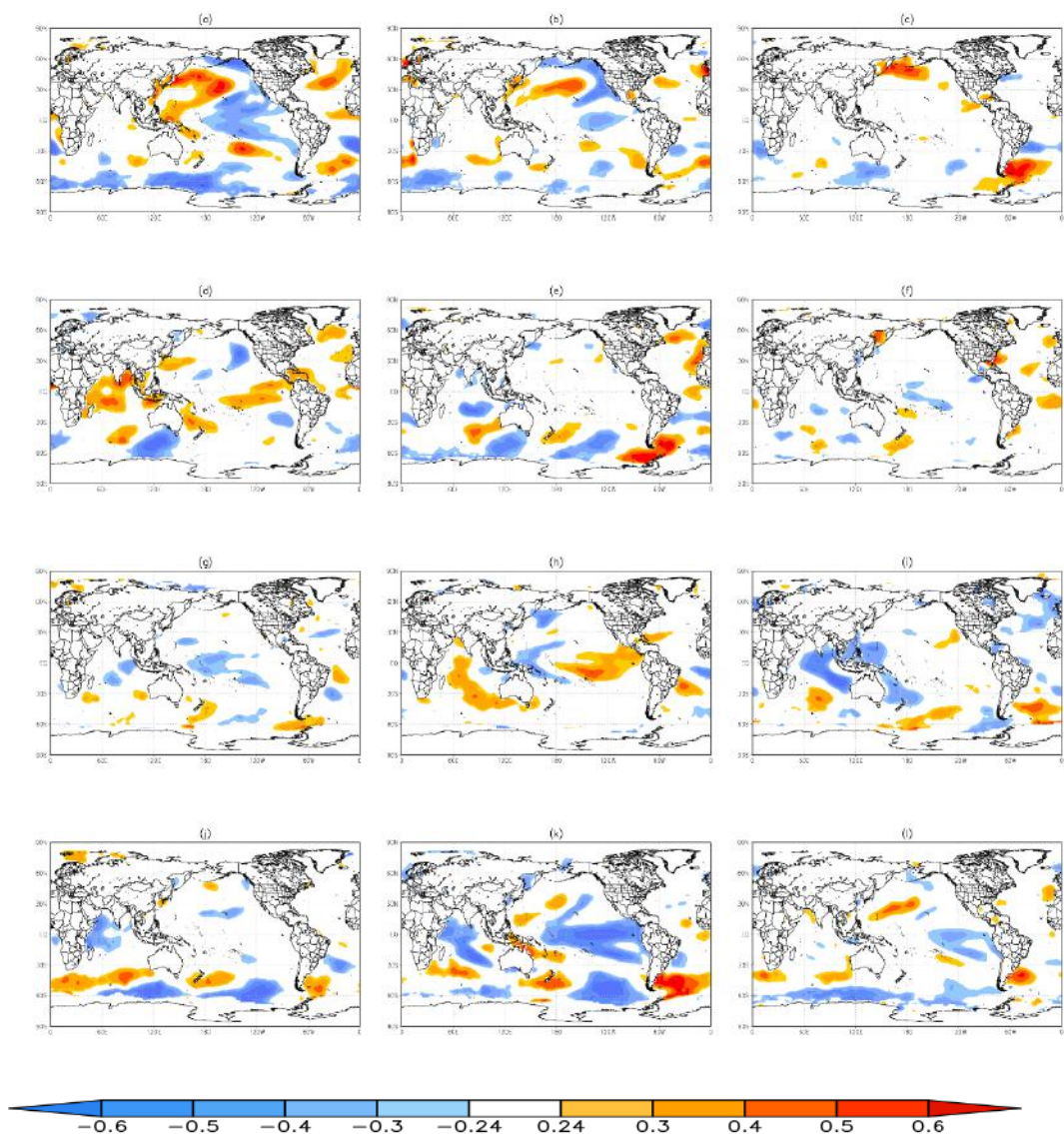


Figura 4.8. Correlação entre o índice NSAM e anomalias de TSM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Nível de confiança de 90% (t-student).

4.3 Compostos

Uma vez que as influências do SAM podem ser diferentes em cada fase (não necessariamente opostas), torna-se necessário avaliar o impacto de cada fase separadamente, o que não é possível com a correlação. Além disso, os resultados da correlação do índice NSAM com a TSM mostraram que a região do Pacífico tropical possui uma relação significativa com o SAM. Desta forma a influência do ENOS deve ser levada em consideração nos resultados prévios. Escolheu-se a metodologia dos compostos para fazer essa avaliação mais detalhada. Para a confecção desses produtos, foram retirados do índice NSAM os anos de ENOS (região Niño 3.4); tanto a fase positiva, EN, quanto a negativa, LN. Após esse passo, por ter diminuído o número de anos que poderiam ser trabalhados, foram selecionados para cada mês, os 4 anos mais positivos e os 4 mais negativos, de acordo com o índice NSAM. A única exceção foi o mês de dezembro, onde restaram apenas 3 anos onde poderia ser aplicado o método (vide Capítulo 3 – Seção 3.2.4). A Tabela 4.1 mostra os anos que foram utilizados.

Tabela 4.1: Anos utilizados para a confecção dos compostos.

Mês	Positivo				Negativo			
Janeiro	1991	1994	2002	2004	1982	1986	1990	1993
Fevereiro	1990	1994	2002	2005	1986	1991	2001	2004
Março	1982	1994	1997	2004	1981	1986	2002	2007
Abril	1982	2003	2005	2010	1981	1990	1991	2007
Mai	1995	1996	2006	2010	1984	1986	1990	2002
Junho	1989	2004	2008	2010	1991	1994	2005	2007
Julho	1983	1985	1993	2006	1995	1990	2007	2009
Agosto	1993	1994	2001	2003	1981	1996	2006	2009
Setembro	1985	1990	1992	1993	1981	1991	1996	2000
Outubro	1993	1996	2001	2008	1981	1990	1992	2003
Novembro	1981	1985	1992	2008	1990	1996	2003	2005
Dezembro	1985	1981	2001	*****	1989	1990	2003	*****

Assim como apresentado nos mapas de correlações (Figuras 4.2, 4.3, 4.4), a configuração do modo anular também está presente nos compostos de anomalia de altura geopotencial (Figuras 4.9 a 4.14). Nota-se que o padrão é melhor definido e tem maior intensidade nos níveis mais altos (250 hPa – Figuras 4.9 e 4.10). Considerando somente os altos níveis, os compostos também mostram que, na fase negativa

(Figuras 4.9), o padrão encontra-se menos configurado no mês de outubro (Figuras 4.9j). Enquanto que na fase positiva, o padrão gangorra entre latitudes médias e altas encontra-se relativamente bem configurado em todos os meses (Figuras 4.10). Convém lembrar que dezembro foram usados menos anos para a confecção dos compostos. Considerando conjuntamente os níveis de 250, 500 e 850 hPa (500 hPa – Figuras 4.11 e 4.12; 850hPa – Figuras 4.13 e 4.14) o padrão do modo anular apresenta-se com uma estrutura barotrópica equivalente, concordando com Thompson e Wallace (2000).

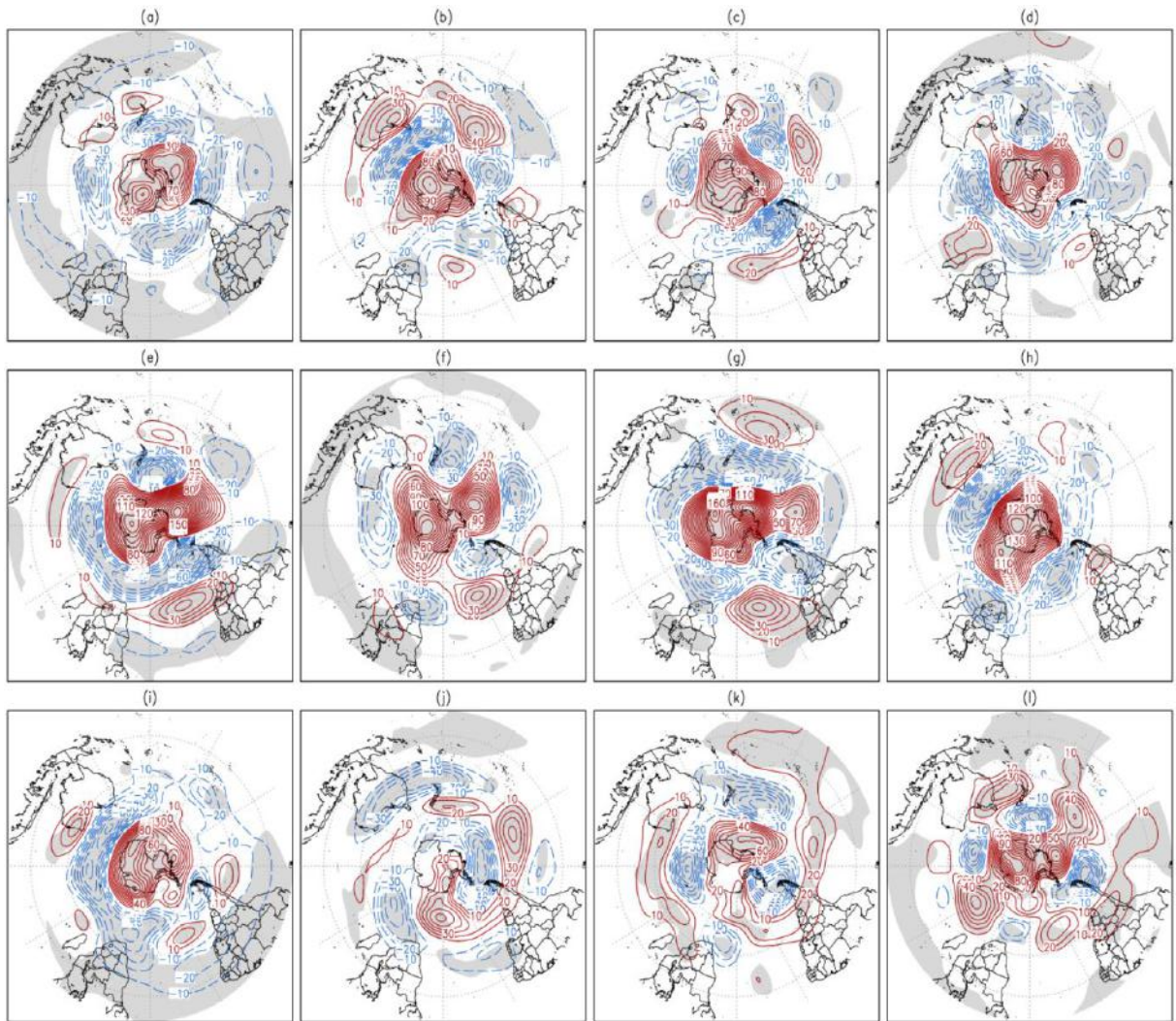


Figura 4.9. Compostos de anomalias de altura geopotencial (m) em 250 hPa, para a fase negativa do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul - valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 10 m.

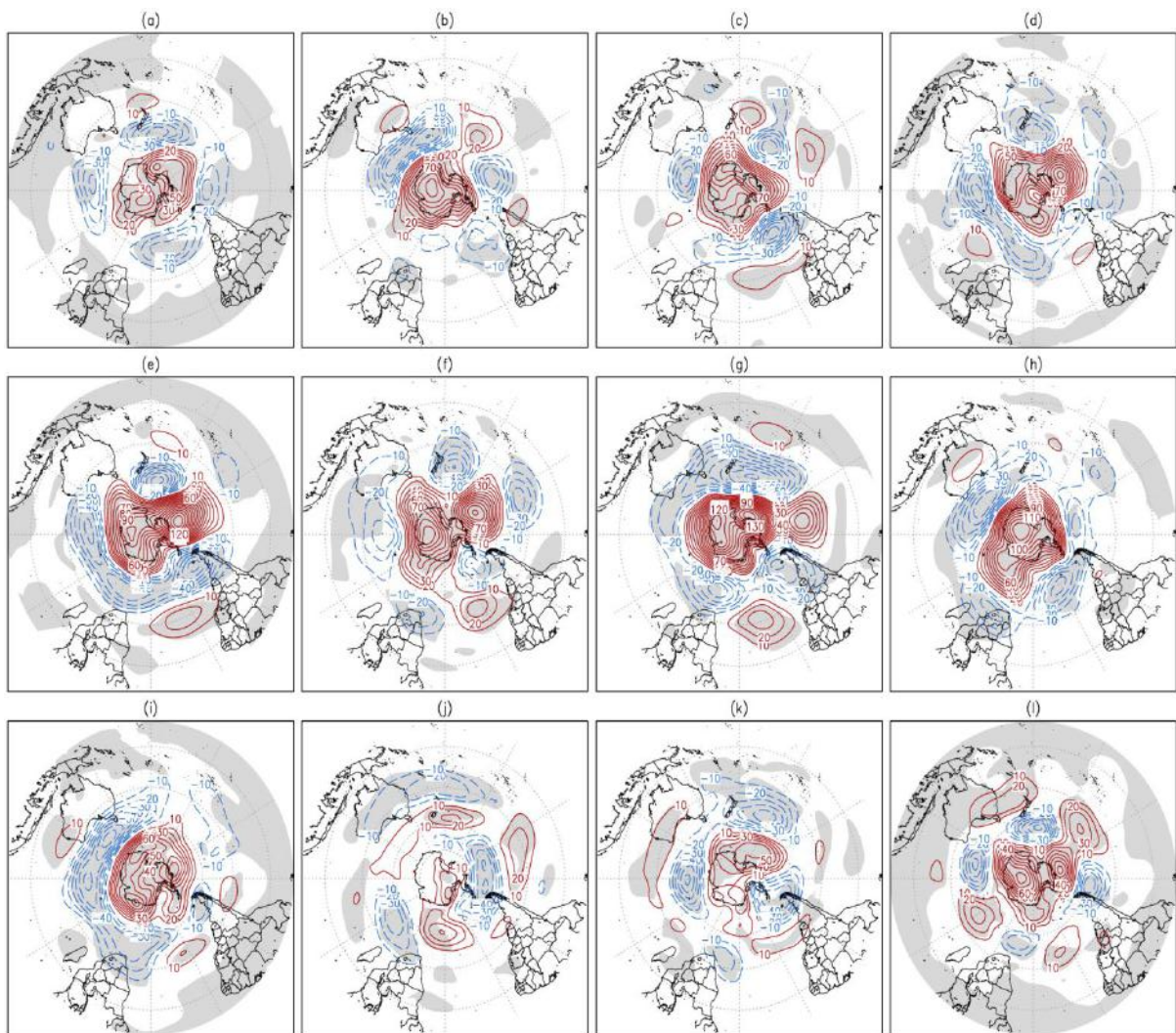


Figura 4.10. Compostos de anomalias de altura geopotencial (m) em 500 hPa, para a fase negativa do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, repectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul - valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 10 m.

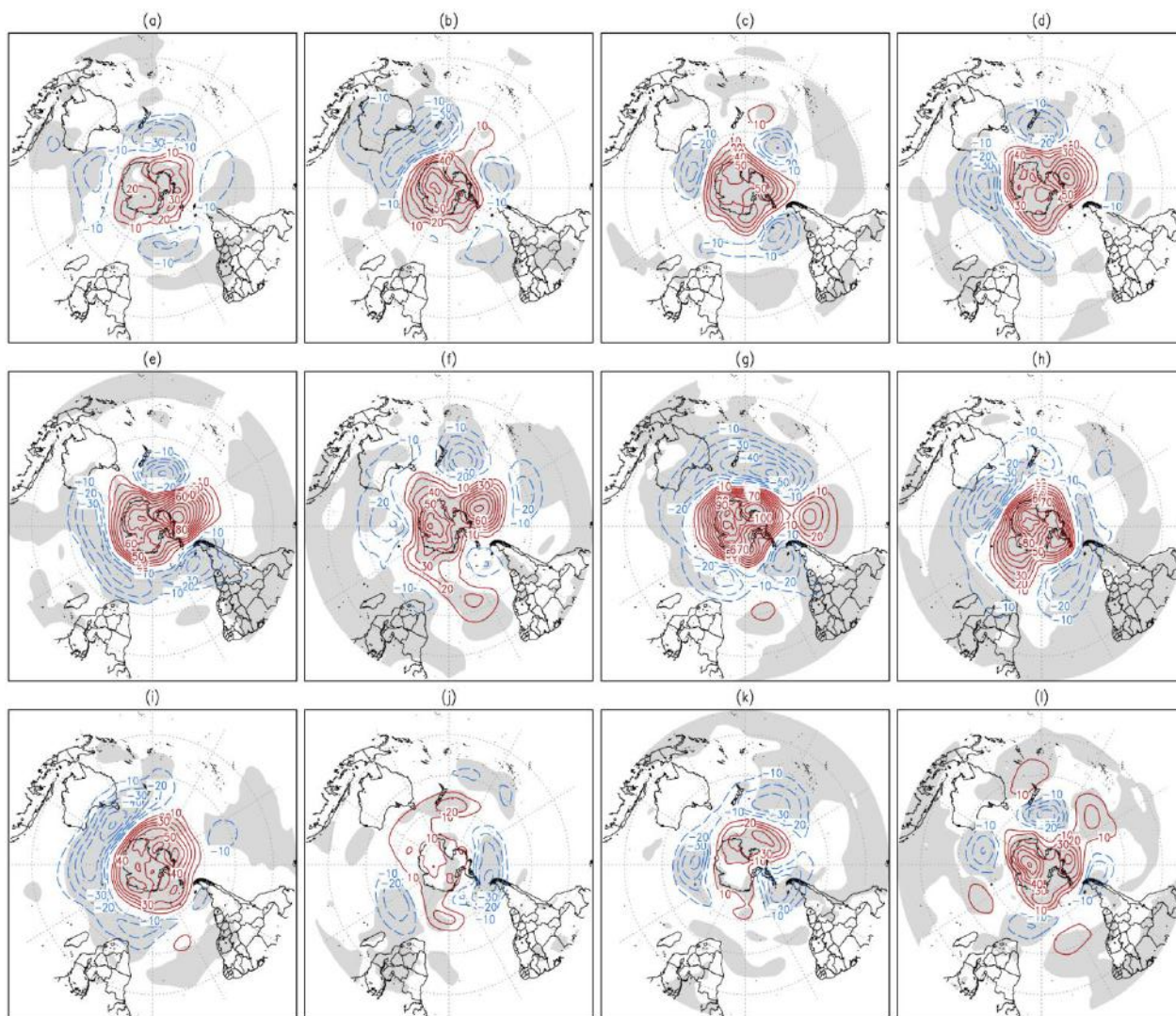


Figura 4.11. Compostos de anomalias de altura geopotencial (m) em 850 hPa, para a fase negativa do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul - valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 10 m.

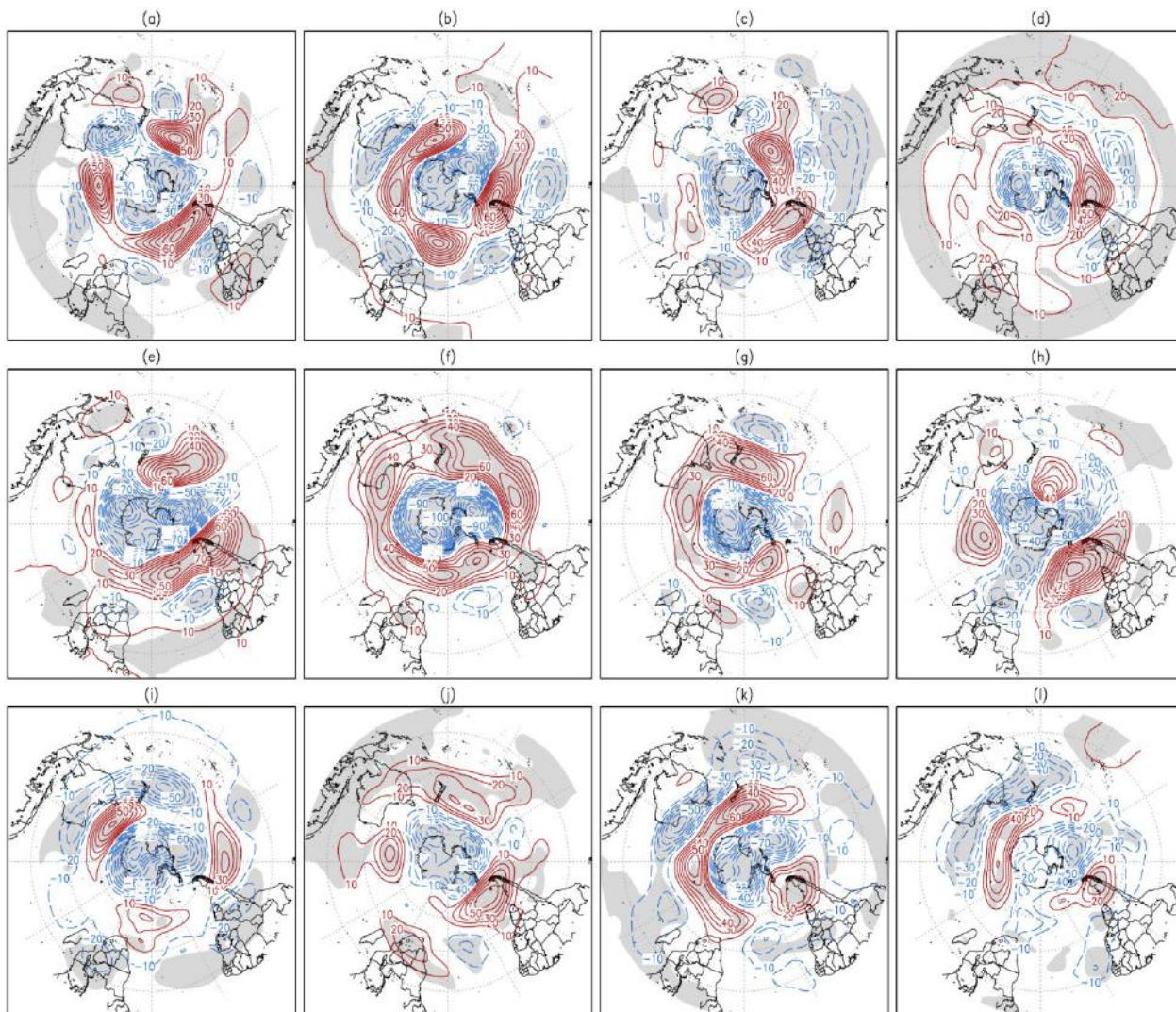


Figura 4.12. Compostos de anomalias de altura geopotencial (m) em 250 hPa, para a fase positiva do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 10 m.

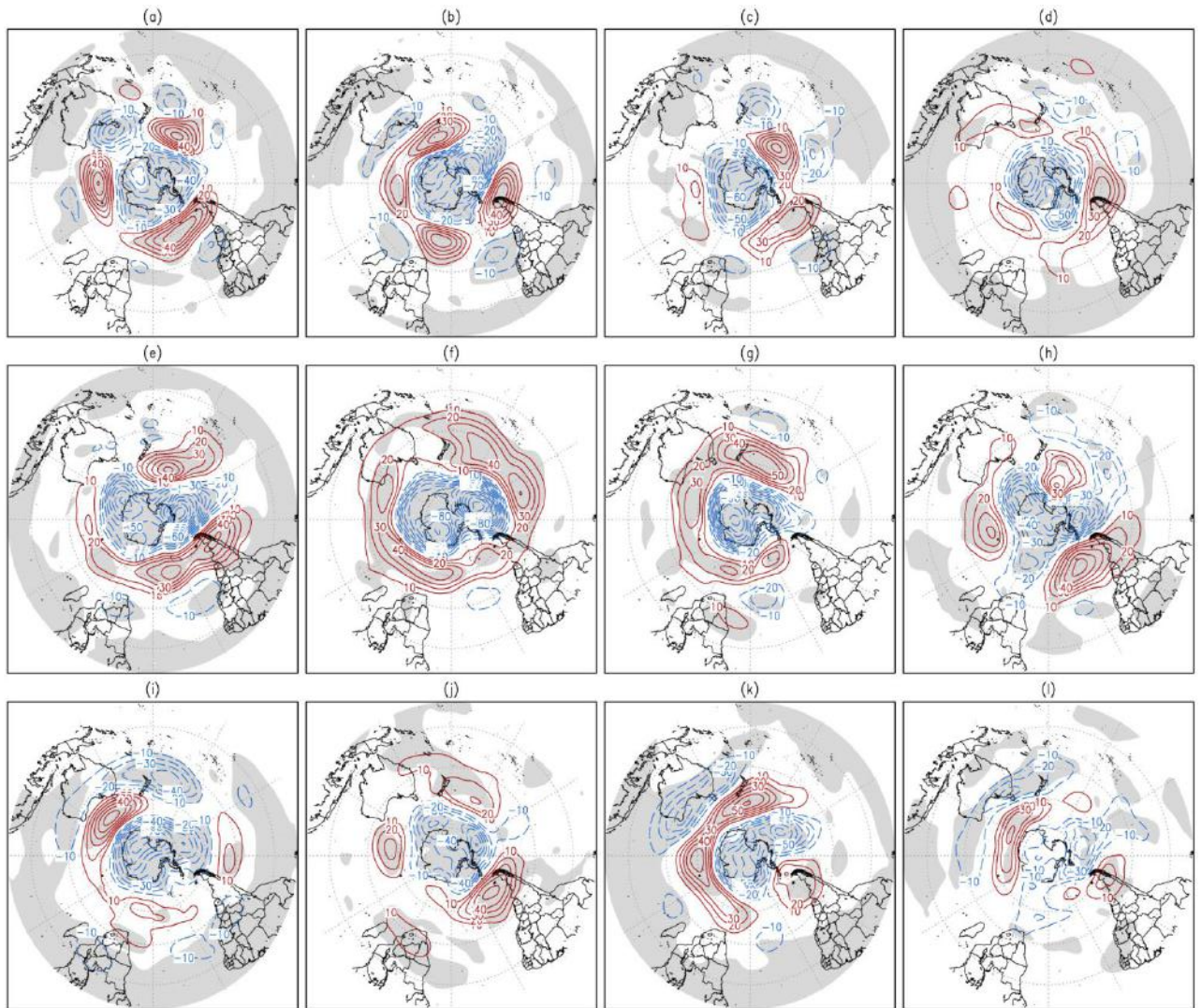


Figura 4.13. Compostos de anomalias de altura geopotencial (m) em 500 hPa, para a fase positiva do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 10 m.

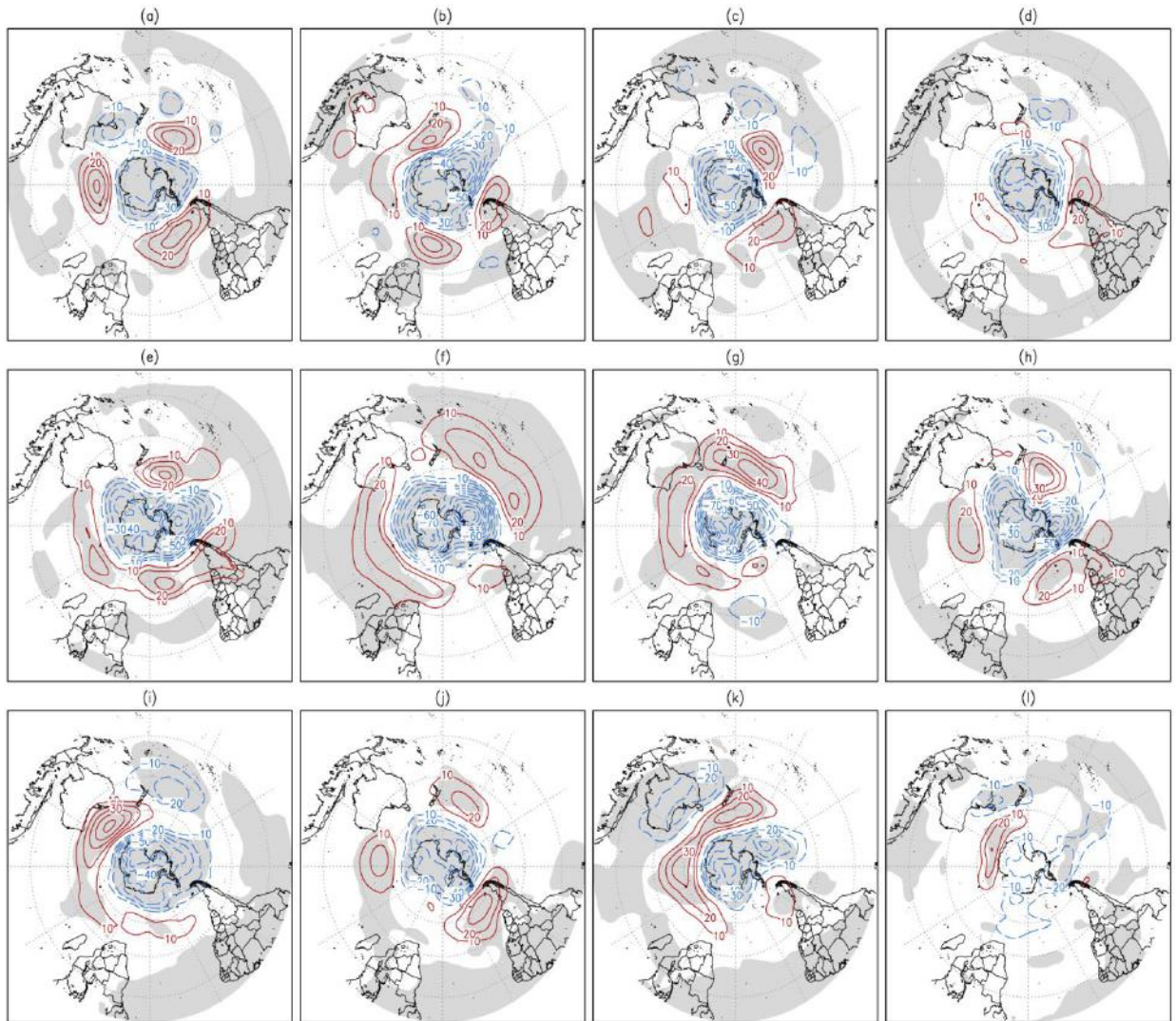


Figura 4.14. Compostos de anomalias de altura geopotencial (m) em 850 hPa, para a fase positiva do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul - valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 10 m.

Os compostos apresentaram boa significância entre a temperatura a 2 metros e o padrão de teleconexão (Figura 4.15 e 4.16). Os padrões não são sempre coincidentes com os resultados da correlação (Figura 4.5). Como discutido no início desta Seção, duas possíveis explicações para essas discrepâncias estão no fato de haver diferença entre as fases (nem sempre com influências opostas) e outra que, nas figuras de correlação, não foram excluídos os anos com ocorrência de ENOS, o que pode interferir nos resultados. Observa-se durante o mês de janeiro que, na fase negativa do SAM (Figura 4.15-a), há anomalias negativas de temperatura a 2 metros em grande parte do Brasil. A exceção ocorre no litoral, ao sul da Bahia e sobre grande parte da Região Sul. Para a fase positiva do SAM (Figura 4.16-a), no mesmo mês, nota-se sinais opostos sobre a parte central e nordeste da AS, incluindo partes do Brasil, norte da Argentina e Paraguai. O Uruguai apresenta uma configuração diferente, com anomalias positivas (negativas) de temperatura na fase negativa (positiva) do SAM.

Nos meses de fevereiro (Figuras - 4.15b e 4.16b) e dezembro (Figuras - 4.15l e 4.16l), apresenta-se um dipolo com anomalias negativas (positiva) no SEAS e positivas (negativas) ao norte durante a fase positiva (negativa) do SAM. Em março (Figuras - 4.15c e 4.16c) e em maio (Figuras - 4.15e e 4.16e), pode-se observar uma inversão de sinais das anomalias entre as fases do SAM, onde na fase positiva (negativa) do SAM, há uma predominância de anomalias negativas (positivas) na região centro-sul brasileira, com orientação NO-SE. Maio também mostra anomalias positivas (negativas) no norte e nordeste brasileiro (NEB) durante a fase positiva (negativa) do SAM.

Para abril (Figuras - 4.15d e 4.16d) e outubro (Figuras - 4.15j e 4.16j), não é observado esse impacto característico de inversão dos sinais das anomalias, mostrando apenas anomalias positivas em abril (negativa em outubro) em grande parte do Brasil e da AS em ambas as fases. Apenas no norte (abril) e nordeste (abril e outubro) da AS é que há uma oposição, com anomalias positivas (negativas) na fase positiva (negativa) do SAM. Os resultados para o mês de junho (Figuras - 4.15f e 4.16f), em geral, não possuem significância estatística.

Julho (Figuras - 4.15g e 4.16g), agosto (Figuras - 4.15h e 4.16h) e novembro (Figuras - 4.15k e 4.16k) apresentam anomalias negativas (positivas) em boa parte do

país na fase positiva (negativa) do SAM, resultado esperado de acordo com o encontrado com a correlação (Figura 4.5). Nota-se que os sinais nesses três meses comportaram-se de forma oposta a janeiro (Figuras - 4.15a e 4.16a). Estes resultados mostram a típica alternância de sinais nas anomalias com as fases do SAM. Entretanto, o mês de novembro apresenta uma maior área onde o SAM influencia a temperatura. Setembro (Figuras - 4.15i e 4.16i) também mostra anomalias negativas (positivas) sobre a região tropical e subtropical da AS na fase positiva (negativa) do SAM, concordando com os resultados apresentados na correlação do mês para essa variável. Entretanto, essas anomalias, durante a fase negativa do SAM, são localizadas principalmente sobre o SEAS.

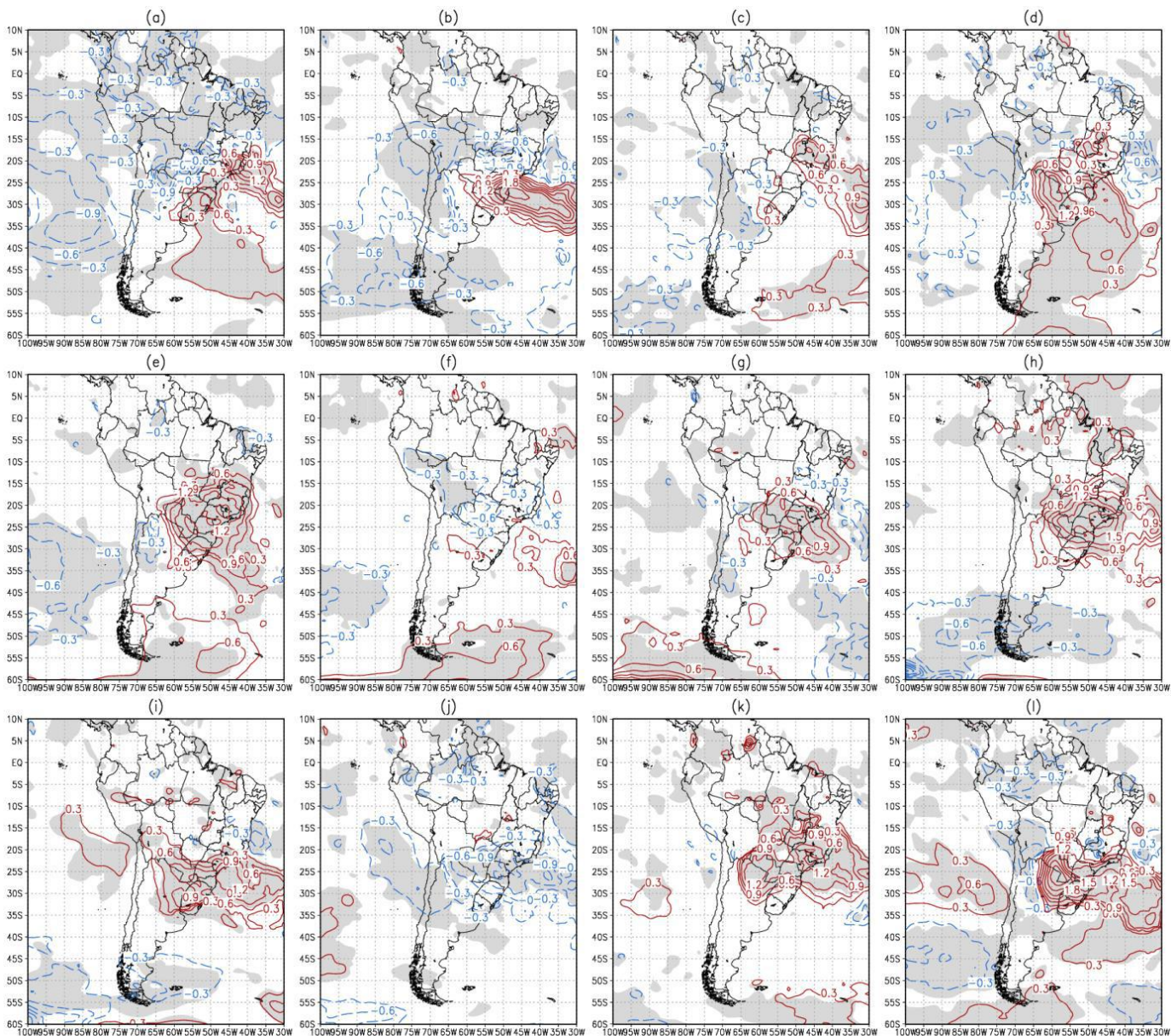


Figura 4.15. Compostos de anomalias de temperatura a 2 metros ($^{\circ}\text{C}$), para a fase negativa do SAM, dos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de $0,3^{\circ}\text{C}$.

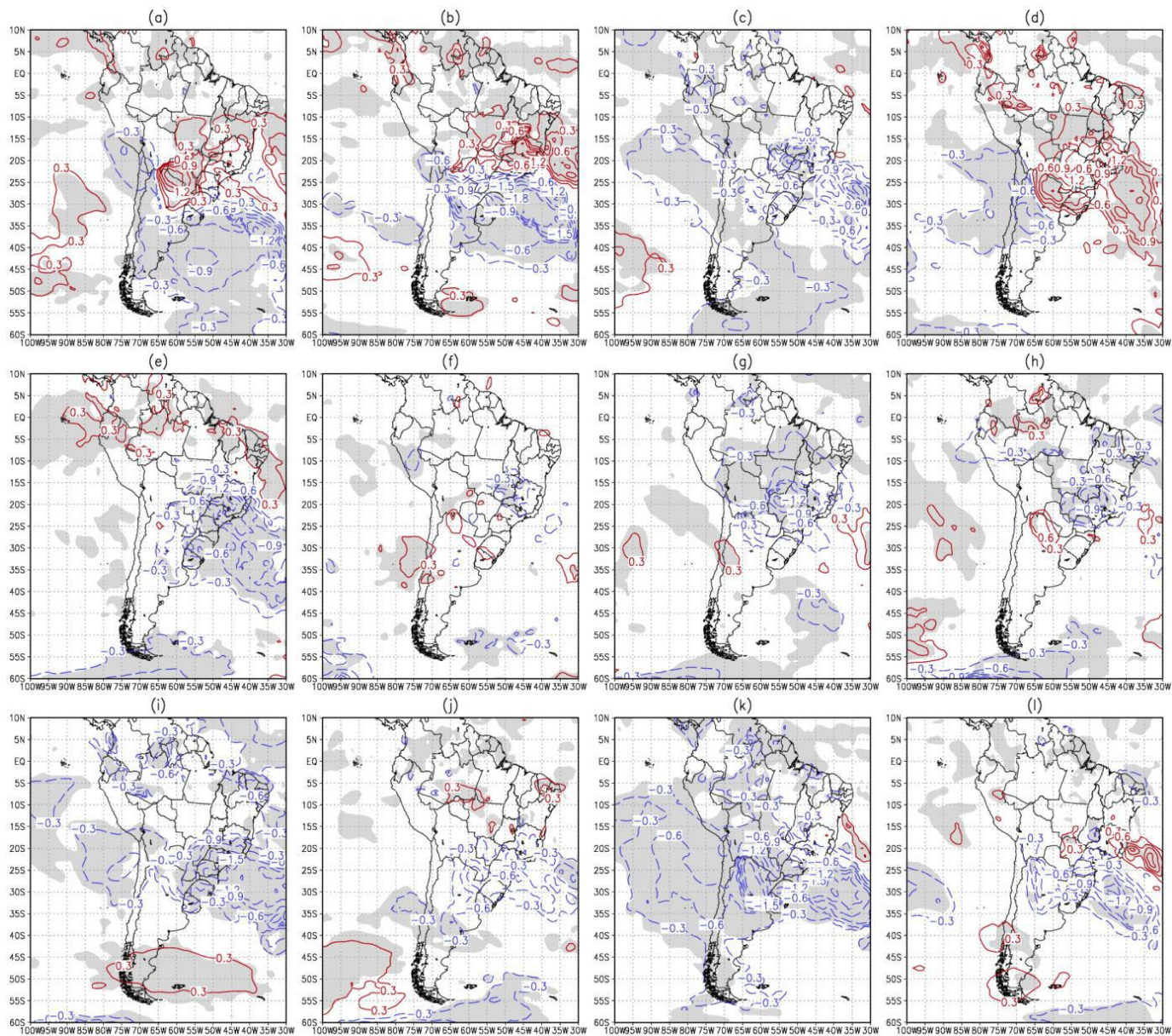


Figura 4.16: Compostos de anomalias de temperatura a 2 metros ($^{\circ}\text{C}$), para a fase positiva do SAM, dos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de $0,3^{\circ}\text{C}$.

Os compostos para precipitação (Figuras 4.17 e 4.18) e ROLE (Figuras 4.19 e 4.20) apresentam características bem marcantes e relacionadas entre si. Onde há anomalias positivas (negativas) de precipitação, há anomalias negativas (positivas) de ROLE, na maioria dos casos. Este resultado era esperado uma vez que, para a região tropical, anomalias negativas de ROLE representam uma maior convecção, que está relacionada a uma maior precipitação. Estes compostos mostram maiores diferenças entre as fases do SAM, quando comparados aos compostos da temperatura do ar a 2m (Figuras 4.15 e 4.16). Essas diferenças podem explicar em parte porque as correlações do índice NSAM com a precipitação e com ROLE não se mostraram relevantes em diversos meses (Figuras 4.6 e 4.7, respectivamente).

Nos meses de janeiro (Figuras 4.17a e 4.18a), março (Figuras 4.17c e 4.18c), novembro (Figuras 4.17k e 4.18k) e dezembro (Figuras 4.17l e 4.18l), os compostos apresentam uma banda de anomalias positiva com orientação NW-SE na fase positiva do SAM (Figura 4.18), sugerindo uma intensificação da ZCAS. Na fase negativa (Figura 4.17), as anomalias de precipitação apresentam padrões aproximadamente opostos da fase positiva, sugerindo um enfraquecimento da ZCAS. Note, entretanto, que em novembro, essa banda não está bem caracterizada na fase negativa. Esses meses também apresentam oposição de sinal ao norte e/ou ao sul dessa banda característica da região da ZCAS, o que é esperado como compensação da convergência/divergência de massa.

Em fevereiro (Figuras 4.17b e 4.18b), abril (Figuras 4.17d e 4.18d) e de junho a setembro (Figuras 4.17i e 4.18i) o SAM parece ter pouca influência sobre a precipitação, seja por apresentar poucas áreas com anomalias significativas ou por não apresentar alternância de sinal entre as fases do SAM. Em fevereiro (Figuras 4.17b e 4.18b), a fase negativa de SAM mostra anomalias de precipitação positivas sobre a Região Sudeste do Brasil e sobre o litoral nordeste da AS. Anomalias negativas de precipitação são apresentadas no norte da Argentina, Uruguai, Região Sul do Brasil e noroeste do estado de São Paulo. Na fase positiva de SAM, a maior parte do continente apresenta anomalias de precipitação positivas. Uma exceção é uma banda que abrange desde a costa do NEB, estendendo para o sul sobre a região central da AS até alcançar o Paraguai e a Argentina. Os compostos de ROLE e de precipitação também indicam um deslocamento para sul (norte) da ZCIT no Atlântico, na fase negativa (positiva) do SAM. Em abril (Figuras 4.17d e 4.18d), não há grande

diferença entre as fases do SAM, mantendo basicamente o mesmo padrão de anomalias em ambas as fases. A exceção acontece no nordeste da Argentina, onde há anomalia negativa (positiva) na fase positiva (negativa) do SAM. O mês de junho (Figuras 4.17f e 4.18f) apresenta oposição de sinal das anomalias, com anomalias negativas (positivas) no SEAS na fase positiva (negativa), porém na fase negativa, não há significância estatística. Assim como fevereiro (Figuras 4.17b e 4.18b), junho também apresenta uma inversão das anomalias na região da ZCIT do Atlântico, sendo positiva na fase positiva e negativa na fase negativa. Em julho (Figuras 4.17g e 4.18g), anomalias positivas no SEAS e negativas em algumas regiões no norte da AS persistem para as duas fases do SAM. No Oceano Pacífico tropical norte há inversão de sinal, sendo negativa (positiva) na fase negativa (positiva) do SAM, mostrando uma possível relação com a ZCIT no Pacífico. Agosto (Figuras 4.17h e 4.18h) e setembro (Figuras 4.17i e 4.18i) também não apresentam inversão de sinais entre as fases do SAM. Na fase positiva, observa-se, em ambos os meses, anomalias positivas na porção centro-norte da AS.

Maio (Figuras 4.17e e 4.18e) apresenta anomalias negativas (positivas) para a fase positiva (negativa) do SAM desde o SEAS até a Bolívia. Durante a fase positiva do SAM, anomalias positivas ocorrem sobre uma ampla área no norte e nordeste da AS. Na fase negativa, essa região possui anomalias negativas, porém abrangendo uma área menor e pouco significativa. Uma característica relevante dos compostos de precipitação e ROLE é a influência na região do SEAS. Durante os meses de março a junho (Figuras 4.17c-4.17f; 4.18c-4.18f; 4.19c-4.19f; 4.20c-4.20f), anomalias positivas (negativas) de precipitação ocorrem durante a fase negativa (positiva) do SAM. Entretanto, conforme discutido mais acima, nem todos os meses possuem significância estatística.

Outubro (Figuras 4.17j e 4.18j; 4.19j e 4.20j) apresenta ligeira alternância de sinais durante as fases, com dipolo de anomalias positivas (negativas) no SEAS e negativas (positivas) na Região Sudeste e parte da Região Centro-Oeste do Brasil na fase positiva (negativa) do SAM. Veja que o sinal no SEAS é oposto aos apresentados nos meses de março a junho. No extremo norte da AS, há troca de sinais com anomalias positivas (negativas) na fase positiva (negativa) do SAM.

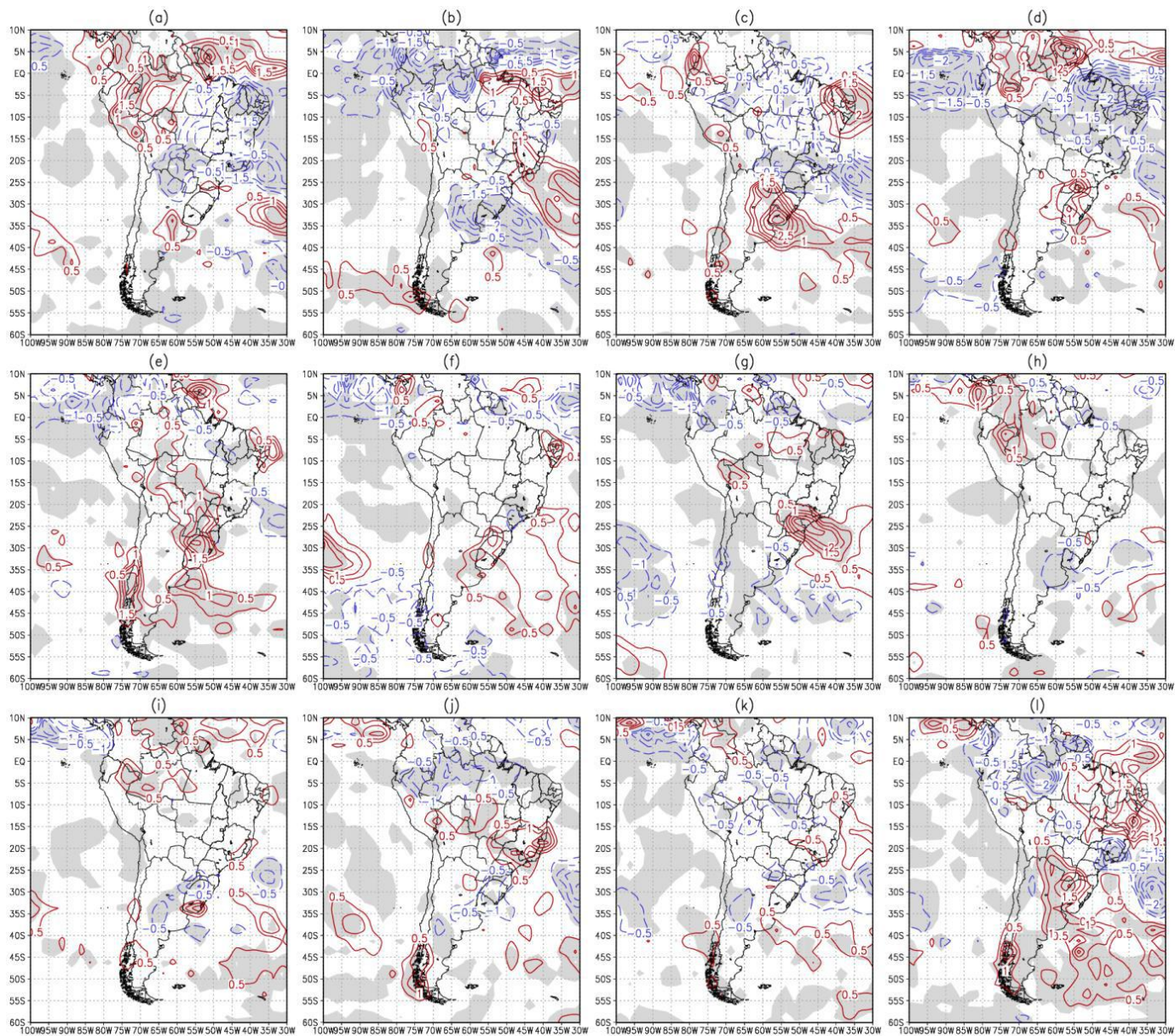


Figura 4.17: Compostos de anomalias de precipitação (mm/dia), para a fase negativa do SAM, dos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 0,5 mm/dia.

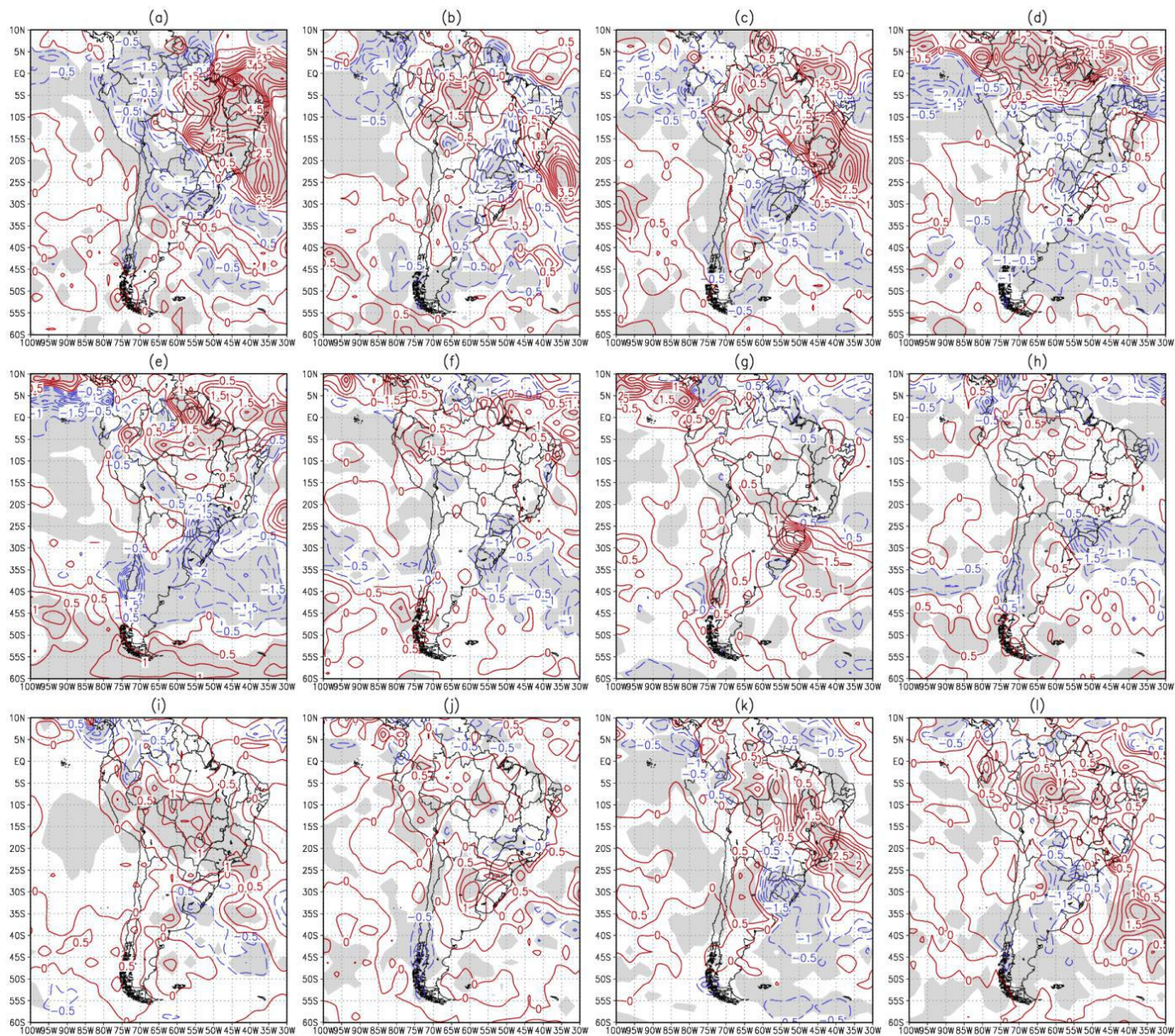


Figura 4.18: Compostos de anomalias de precipitação (mm/dia), para a fase positiva do SAM, dos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 0,5 mm/dia.

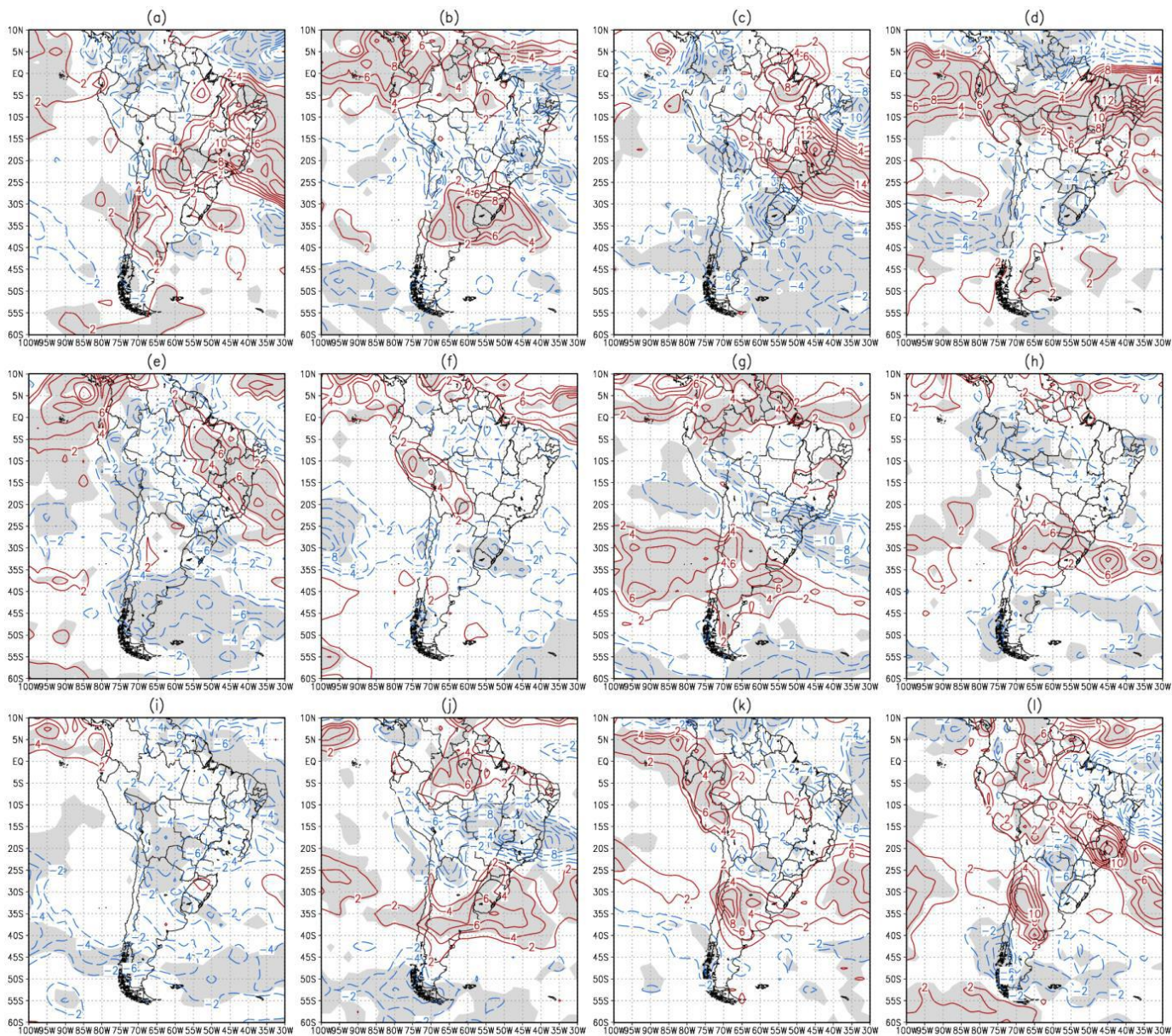


Figura 4.19: Compostos de anomalias de ROLE ($W.m^{-2}$), para a fase negativa do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de $2 W.m^{-2}$.

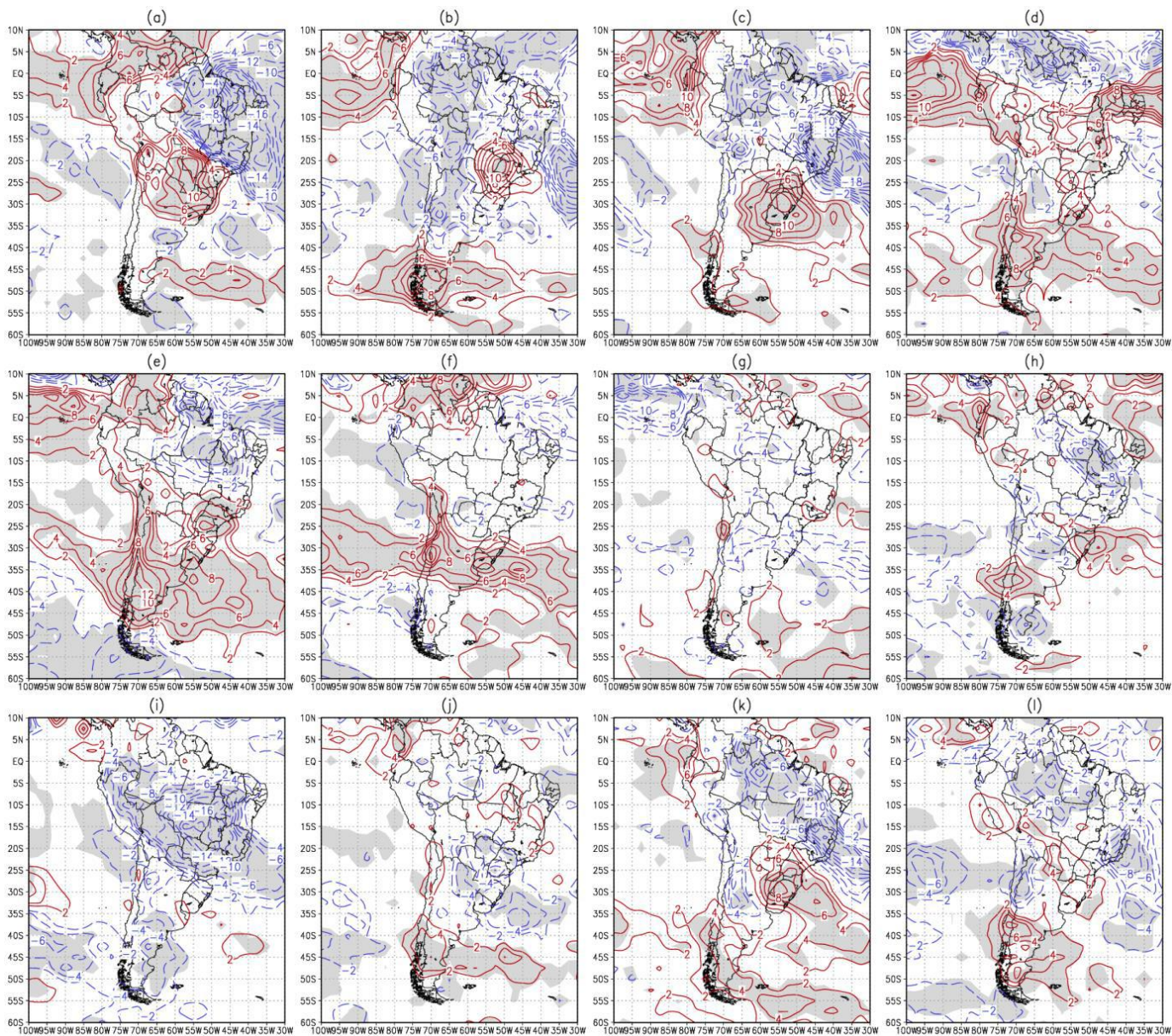


Figura 4.20: Compostos de anomalias de ROLE ($W.m^{-2}$), para a fase positiva do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de $2 W.m^{-2}$.

Para complementar os resultados apresentados, avaliou-se os compostos de anomalia de TSM para cada fase do SAM. As Figuras 4.21 e 4.22 apresentam os compostos relativos à fase negativa e positiva do SAM, respectivamente. Assim como na correlação (Figura 4.8), os compostos de TSM mostram anomalias na região do Pacífico Equatorial, e também um dipolo de anomalias no sudoeste do Atlântico Sul. Entretanto, Essas anomalias não se comportam sempre da mesma forma.

Os meses de janeiro a maio (Figuras 4.21a-e, respectivamente) e setembro (Figura 4.21i) apresentam anomalias negativas no Pacífico Equatorial, na fase negativa do SAM, o que discordaria dos resultados da correlação. Já na fase positiva (Figuras 4.22a-e, respectivamente), esses meses apresentam anomalia positiva no Pacífico Equatorial oeste e negativa no Pacífico Equatorial leste. Os meses de junho (Figura 4.21f), julho (Figura 4.22g) e de outubro a dezembro (Figuras 4.22j-l, respectivamente) apresentaram anomalias negativas no Pacífico Equatorial leste e positivas no Pacífico Equatorial oeste, na fase negativa. Em geral, esses meses apresentaram o mesmo sinal na fase positiva, ou então todo o Pacífico Equatorial com anomalias negativas (Figuras 4.21f, 4.22g e 4.22j, 4.22k, 4.22l). A única exceção foi o mês de julho, onde houve oposição entre as fases (Figuras 4.21g e 4.22g). Em agosto (Figuras 4.21h e 4.22h), há uma alternância de sinal no Pacífico Equatorial central, com anomalias negativas (positivas) na fase negativa (positiva) do SAM. Entretanto, o sinal da fase negativa não é significativo.

Com relação ao Atlântico, os meses de janeiro a março (Figuras 4.22a-c, respectivamente), maio (Figura 4.22e) e de setembro a dezembro (Figuras 4.22i-l, respectivamente) apresentam um dipolo negativo no Atlântico sudoeste na fase positiva do SAM, o que corroboraria com os resultados da correlação. Entretanto, esse dipolo só é oposto na fase negativa, durante os meses de março (Figura 4.21c), maio (Figura 4.21e), novembro (Figura 4.21k) e dezembro (Figura 4.21l). Agosto também apresenta um dipolo nessa região com oposição de sinal entre as fases do SAM, porém o dipolo é negativo (positivo) na fase negativa (positiva) do SAM (Figuras 4.21h e 4.22h). Esse resultado concorda com o sinal de correlação positiva que aparece no Atlântico Sul tropical (Figura 4.8h).

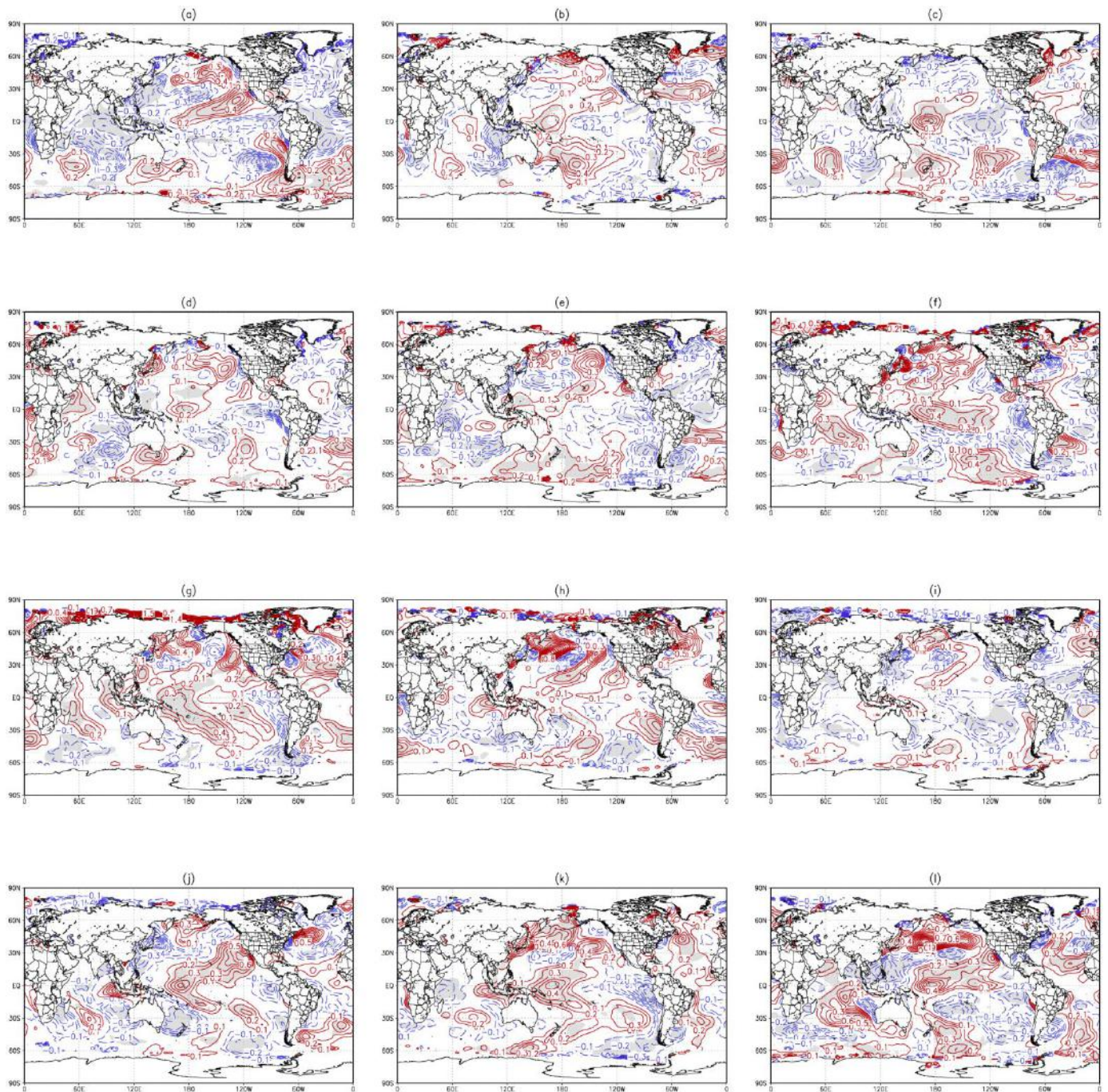


Figura 4.21: Compostos de anomalias de TSM, para a fase negativa do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 0,3°C.

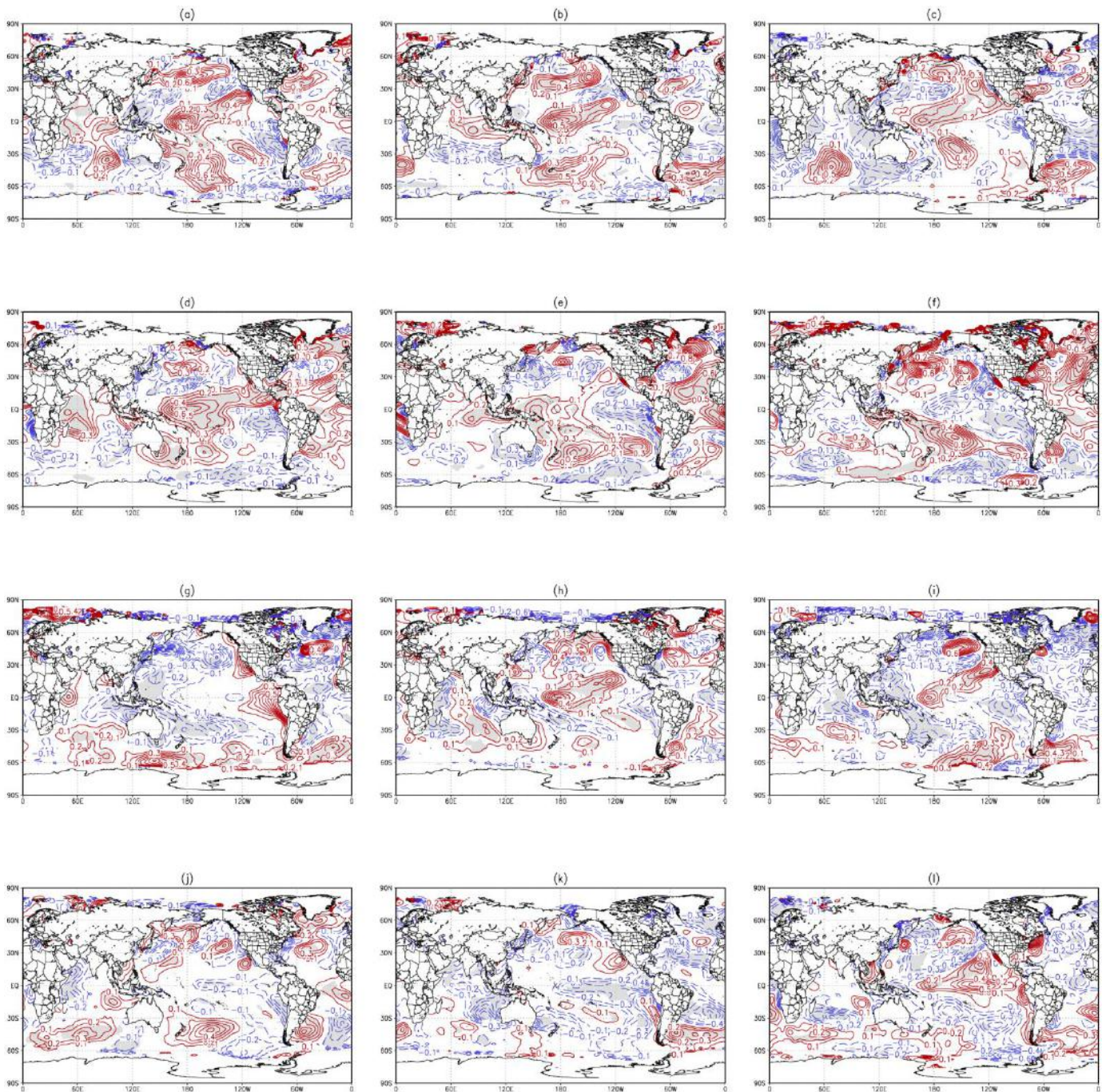


Figura 4.22: Compostos de anomalias de TSM, para a fase positiva do SAM, nos meses de janeiro a dezembro (a-l, respectivamente). Contorno: linha vermelha - valores positivos; linha azul – valores negativos. Áreas com 90% de significância estão sombreadas (teste t-student). Os contornos são de 0,3°C.

4.3 Estudo de Caso

Para verificar na prática os resultados dos compostos, foi analisado o padrão de anomalias de precipitação e temperatura em janeiro de 2017, como estudo de caso (Figura 4.23). Ressalta-se que este mês está fora do período usado para a análise de compostos. Janeiro de 2017 apresentou fase negativa de SAM (-0,98) sem ocorrência de ENOS. Os resultados mostram mais semelhança com a análise de compostos para precipitação do que a temperatura.

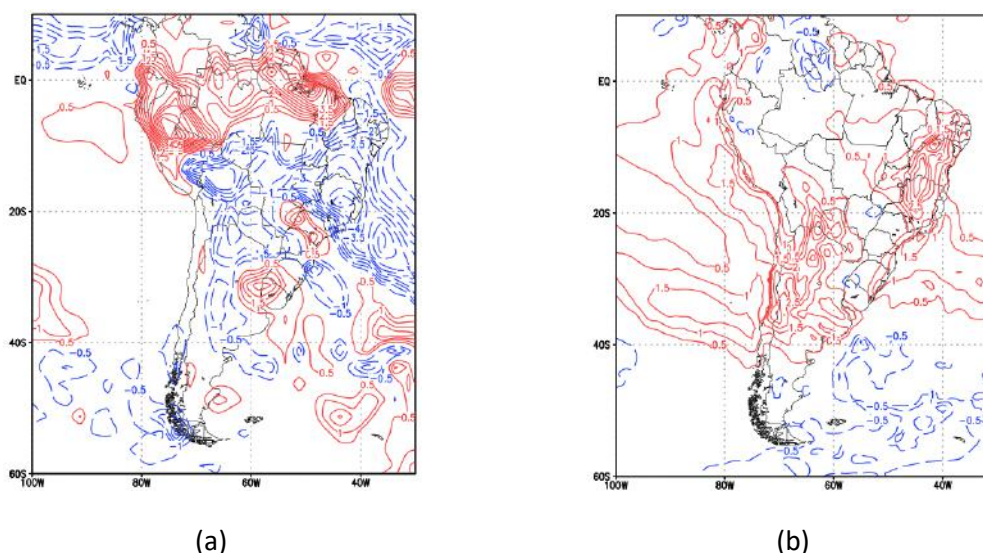


Figura 4.23: (a) anomalia de Precipitação (contorno de 0,5 mm.dia-1) e (b) anomalia de temperatura do ar de 2 m (contorno de 0,3°C) para de janeiro de 2017. Contorno vermelho: valores positivos; contorno azul: valores negativos.

Como o composto de anomalia de precipitação (Figura 4.17a), janeiro de 2017 mostra anomalias negativas no centro-leste da AS, norte da Argentina, Paraguai e Bolívia. Esses resultados indicam enfraquecimento do padrão ZCAS. De acordo com o boletim climático do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) (Infoclima - <http://infoclima1.cptec.inpe.br/>), houve uma formação de apenas dois episódios fracos de ZCAS fracos, contribuindo para anomalias positivas de precipitação apenas sobre São Paulo e parte do Mato Grosso do Sul. Observe que essas anomalias positivas também são vistas em nossos resultados. As principais diferenças entre os resultados do composto de precipitação e os resultados de anomalia de precipitação para janeiro de 2017 são: as anomalias positivas na parte

norte da AS estende-se mais para leste do que nos compostos; as anomalias negativas sobre a região da ZCAS estendem-se mais para oeste do que nos compostos.

Sobre a anomalia de temperatura para janeiro de 2017 (Figura 4.23b), em todo o continente existem anomalias positivas de temperatura, contrastando com o composto de precipitação (anomalias negativas de temperatura - Figura 4.15a). No entanto, este mês apresenta anomalias positivas no litoral, sul da Bahia e sobre grande parte da Região Sul, o que está de acordo com resultados do composto.

Esses resultados mostram que os compostos podem ser um bom indicador da influência do SAM no clima da AS, principalmente na precipitação.

4.4 Geadas

Com a relação encontrada entre o SAM e a temperatura, foi notado a importância de um estudo mais aprofundado de uma possível relação entre o SAM, o ENOS e as geadas na Região Sul do Brasil. Com este fim, foi analisado estatisticamente, para o período de 1981 a 2010, a influência associada, desses sistemas nas geadas. A região de estudo compreende a Região Sul do Brasil (24°S-34°S/47°W-57°W) e para os meses de maio a setembro. A escolha dessa região e desses meses está relacionado a maior ocorrência de geadas (SELUCHI 2009, p.151).

4.4.1 Tabelas de simultaneidade de ENOS com SAM mês a mês

Nesta seção é apresentado o total anos de simultaneidade entre as fases do SAM e ENOS, as Tabelas de 4.2 a 4.6, apresentam os totais de anos para cada par de ocorrência, de maio a setembro.

Trabalhos prévios (e.g. L'HEUREUX; THOMPSON, 2006; VASCONCELLOS, 2012) mostram que em geral, há maior frequência de SAM negativo em anos de EN. Entretanto, nos resultados aqui apresentados, é observado que a relação entre o SAM e as fases de ENOS com a frequência de geadas, varia para cada mês, não tendo um padrão definido.

Tabela 4.2: Total de anos onde há simultaneidade de fases de ENOS e SAM, para o mês de maio de 1981 a 2010.

Maio				
	EN	LN	N	Total
SAM+	4 (82/93/97/98)	3 (89/99/2000)	8 (94/95/2003/2004/2005/2006/2009/2010)	15
SAM-	3 (87/83/92)	3 (85/88/2008)	9 (81/84/86/90/91/2001/2002/2007/96)	15
Total	7	6	17	30

Tabela 4.3: Total de anos onde há simultaneidade de fases de ENOS e SAM, para o mês de junho de 1981 a 2010.

Junho				
	EN	LN	N	Total
SAM+	3(82/83/93) 4 (87/92/97/200	0 4(85/88/99/200	12 (81/84/86/90/96/98/2001/2004/2006/2008/2010)	15
SAM-	2)	0)	7 (91/94/95/2003/2005/2007/2009)	15
Total	7	4	19	30

Tabela 4.4: Total de anos onde há simultaneidade de fases de ENOS e SAM, para o mês de julho de 1981 a 2010.

Julho				
	EN	LN	N	Total
SAM+	2 (97/2004) 4 82/87/91/200	4 (88/98/99/201 0)	9 (83/84/85/86/89/93/2003/2006/2008) 11 (81/90/92/94/95/96/2000/2001/2005/2007/2	15
SAM-	2)	0	009)	15
Total	6	4	20	30

Tabela 4.5: Total de anos onde há simultaneidade de fases de ENOS e SAM, para o mês de agosto de 1981 a 2010.

Agosto				
	EN	LN	N	Total
SAM+	6 (82/87/91/97/2002/2004)	2 (98/2010)	11 (83/85/86/90/92/93/94/2001/2003/2005/2008)	19
SAM-	0	2 (88/99)	9 (82/84/89/95/96/2000/2006/2007/2009)	11
Total	6	4	20	30

Tabela 4.6: Total de anos onde há simultaneidade de fases de ENOS e SAM, para o mês de setembro de 1981 a 2010.

Setembro				
	EN	LN	N	Total
SAM+	3(82/86/2004)	2(95/2010) 4	7(84/85/90/92/93/2001/2008)	12
SAM-	5(87/97/2002/2006/2009)	(88/98/99/2007)	9 (81/83/89/91/94/96/2000/2003/2005)	18
Total	8	6	16	30

Sendo N, ENOS Neutro; SAM+, é a fase positiva do SAM e, conseqüentemente SAM-, fase negativa do SAM. Onde não há valores é quando não possui simultaneidade das fases de ENOS e SAM.

4.4.2 Tabelas de Contingência mensais das frequências de geadas

Trabalhos anteriores (e.g. REBOITA, 2009) mostram que na fase negativa do SAM foi observado que a trajetória dos ciclones em todo o HS move-se para norte, comparada à fase positiva, e que no setor da AS e Atlântico Sul há intensa atividade frontogenética. Com os resultados obtidos da correlação de temperatura e SAM, viu-se importante fazer um estudo dessa possível influência do SAM associado ou não ao ENOS, nas geadas.

Foram analisados os meses de maio a setembro, de 1981 a 2010. As Tabelas de 4.7 a 4.11 apresentam os resultados obtidos para cada mês. O comportamento das geadas varia de mês para mês, não havendo um único padrão. Porém foi identificado que, em geral, quando o SAM está negativo, há maior ocorrência de geadas em todos os meses. Para maio (Tabela 4.7), observa-se que a maior frequência de geadas ocorre para a configuração de SAM negativo com LN. Junho

(Tabela 4.8) apresenta maior frequência para SAM negativo e EN. Enquanto julho (Tabela 4.9), mês que há maior frequência dentre os meses de estudo, e agosto (Tabela 4.10), o maior valor é para o caso de SAM negativo com N. Setembro (Tabela 4.11) é o mês onde há menos ocorrência de geadas, devido ao encerramento da estação de geadas, a maior frequência fica para a configuração SAM negativo EN.

Tabela 4.7: Tabela de contingência de frequência de geadas para o mês de maio de 1981 a 2010.

Frequência de Geadas – Maio			
	EN	LN	N
SAM+	24,75	7,67	8,75
SAM-	82,33	87,67	41,44

Tabela 4.8: Tabela de contingência de frequência de geadas para o mês de junho de 1981 a 2010.

Frequência de Geadas – Junho			
	EN	LN	N
SAM+	224,67	0,00	177,83
SAM-	352,25	292,25	162,29

Tabela 4.9: Tabela de contingência de frequência de geadas para o mês de julho de 1981 a 2010.

Frequência de Geadas – Julho			
	EN	LN	N
SAM+	213,00	374,25	239,67
SAM-	174,25	0,00	520,82

Tabela 4.10: Tabela de contingência de frequência de geadas para o mês de agosto de 1981 a 2010.

Frequência de Geadas – Agosto			
	EN	LN	N
SAM+	103,83	138,00	36,18
SAM-	0,00	122,00	139,67

Tabela 4.11: Tabela de contingência de frequência de geadas para o mês de setembro de 1981 a 2010.

Frequência de Geadas – Setembro			
	EN	LN	N
SAM+	4,33	1,50	31,43
SAM-	57,40	35,25	18,00

5. Sumário e conclusões

Neste trabalho, testou-se uma nova metodologia para o cálculo do índice SAM (aqui chamado de NSAM), onde se utilizou para o cálculo do EOF, as anomalias de altura geopotencial em 700 hPA na região ao sul de 30°S (na literatura, utiliza-se ao sul de 20°S). O objetivo dessa modificação foi minimizar a influência da região tropical no índice. Comparação com o índice do CPC/NCEP/NOAA mostrou uma boa correlação. As principais diferenças ocorreram nos anos extremos, onde o NSAM apresentou valores mais intensos, tanto positivos, quanto negativos. Isso provavelmente deve-se a exclusão da região tropical no cálculo, que poderia “amortecer” o sinal do índice. Embora o NSAM não contabilize a região tropical no seu cálculo, resultados das correlações e dos compostos com anomalia de altura geopotencial em diversos níveis da atmosfera apresentaram, além do padrão do SAM, influência na região tropical em diversos meses, principalmente nos níveis mais baixos da atmosfera. O padrão SAM apresenta uma estrutura barotrópica equivalente, corroborando com artigos anteriores (e.g. THOMPSON; WALLACE, 2000).

Os resultados em geral mostraram que o SAM possui relação com o clima na AS, entretanto, seu impacto difere mês a mês e nem sempre há uma influência oposta entre as fases do SAM. Os padrões apresentados nos compostos não são sempre coincidentes com os resultados da correlação. Uma possível explicação para essas discrepâncias está no fato de haver diferença entre as fases (nem sempre com influências opostas). Outro ponto é que, na análise dos compostos, foram considerados somente os anos extremos e excluídos os anos de ocorrência de ENOS, o que pode interferir nos resultados.

As Regiões Sudeste e Centro-Oeste e o SEAS se destacam em boa parte dos meses. Entre os resultados obtidos, destaca-se que na maior parte dos meses, há a presença de uma correlação negativa do NSAM com a temperatura do ar a 2m no SEAS e em parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. O NEB também parece ser afetado em alguns meses. Em janeiro, abril e novembro, por exemplo, os resultados apresentam correlação negativa do NSAM com a temperatura do ar nessa região. Nos compostos, fica evidente a oposição de anomalias entre as fases do SAM em diversos meses. Em janeiro, na fase negativa do SAM, há anomalias negativas de

temperatura a 2 metros em grande parte do Brasil. A exceção ocorre no litoral, ao sul da Bahia e sobre grande parte da Região Sul. Para a fase positiva do SAM, no mesmo mês, notam-se sinais opostos sobre a parte central e nordeste da AS, incluindo partes do Brasil, norte da Argentina e Paraguai. O Uruguai apresenta uma configuração diferente, com anomalias positivas (negativas) de temperatura na fase negativa (positiva) do SAM. Nos meses de fevereiro e dezembro, há um dipolo de anomalias entre o SEAS e regiões ao norte, sendo um dipolo positivo (negativo) durante a fase positiva (negativa) do SAM. Em março, maio, julho, agosto, setembro e novembro também há inversão de sinais com anomalias negativas (positivas) em parte do continente na fase positiva (negativa), abrangendo diferentes áreas significativas, dependendo do mês. Novembro possui a maior abrangência do sinal no continente. Ressalta-se que os resultados desses meses são opostos ao de janeiro.

Os resultados de precipitação e ROLE são, em geral, bastante similares, o que já era esperado. Para a precipitação, março e novembro apresentam uma correlação negativa no SEAS e positiva numa banda com orientação NO-SE ao norte, sugerindo uma intensificação (enfraquecimento) da ZCAS na fase positiva (negativa) do SAM. Os compostos de precipitação mostraram maiores diferenças entre as fases do SAM, quando comparados aos compostos da temperatura do ar a 2m. Essas diferenças podem explicar em parte porque as correlações do índice NSAM com a precipitação não se mostraram relevantes em diversos meses. Nos compostos, além dos meses de março e novembro, os meses de dezembro e janeiro também sugerem uma intensificação (enfraquecimento) da ZCAS na fase positiva (negativa) do SAM. Entretanto, em novembro, essa banda não está bem caracterizada na fase negativa. Esses meses também apresentam oposição de sinal ao norte e/ou ao sul dessa banda característica da região da ZCAS, o que é esperado como compensação da convergência/divergência de massa. Reboita et al. (2009) e Vasconcellos e Cavalcanti (2010) também encontraram relação do SAM com a ZCAS, com intensificação na fase positiva do SAM e o oposto na fase negativa. Vasconcellos (2012) também essa relação do SAM com a ZCAS em novembro, porém a alternância de sinal era mais clara nos seus resultados, o que não ocorreu nos resultados apresentados aqui. Ressalta-se que Vasconcellos (2012) calculou o índice SAM com anomalias de altura geopotencial em 700 hPa, entre 20° e 90°S - neste trabalho, usou-se 30°-90°S - e não retirou dos seus compostos os anos com ENOS.

Uma característica relevante dos compostos de precipitação é a influência na região do SEAS. Durante os meses de março a junho, anomalias positivas (negativas) de precipitação ocorrem durante a fase negativa (positiva) do SAM. Outubro apresenta um dipolo de anomalias positivas (negativas) no SEAS e negativas (positivas) na Região Sudeste e parte da Região Centro-Oeste do Brasil na fase positiva (negativa) do SAM. A anomalia do SEAS desse dipolo comporta-se de maneira oposta aos dos meses de março a junho.

Os resultados também sugerem uma influência do SAM na ZCIT. Os compostos indicam que, em fevereiro e junho, há um deslocamento para sul (norte) da ZCIT no Atlântico, na fase negativa (positiva) do SAM.

Os resultados dos mapas de correlação e dos compostos de TSM divergem na região do Pacífico Equatorial. Nos meses de dezembro a fevereiro, na região do Pacífico tropical é encontrada correlação negativa entre o índice NSAM e a TSM, sendo mais intensa em novembro. Esse resultado sugere uma relação com o ENOS, principalmente com a região Niño 3.4, sendo que, quando ocorre um EN (LN), o SAM estaria em fase negativa (positiva). Entretanto, essa relação não é vista nos outros meses e, ao contrário dos meses de verão (NDJF), abril e agosto apresentam correlação positiva entre o NSAM e a TSM no Pacífico tropical. Em geral, nos compostos, apesar do haver sinal de anomalias no Pacífico Equatorial, eles não invertem entre as fases do SAM. Essa divergência entre os resultados dos compostos e da correlação no Pacífico somente ressaltam a importância de isolar os efeitos do SAM com o ENOS.

Com relação ao Atlântico, os meses de janeiro a março, maio e de setembro a dezembro apresentam um dipolo negativo no Atlântico sudoeste na fase positiva do SAM. Entretanto, esse dipolo só é oposto na fase negativa do SAM, durante os meses de março, maio, novembro e dezembro. Agosto também apresenta um dipolo nessa região com oposição de sinal entre as fases do SAM, porém o dipolo é negativo (positivo) na fase negativa (positiva) do SAM. Esse dipolo pode afetar o clima na AS, em especial no SEAS, onde os resultados para a precipitação e para a temperatura mostraram uma influência do SAM em diversos meses nessa região.

Para confirmar os resultados dos compostos, realizou-se um estudo de caso para o mês de janeiro de 2017 (SAM negativo e ENOS neutro). Ressalta-se que esse

é um ano não está no período dos compostos (1981-2010). Os resultados mostram mais semelhança com a análise de compostos para precipitação do que a temperatura.

Com a relação encontrada entre o SAM e a temperatura, foi notado a importância de um estudo mais aprofundado de uma possível relação entre o SAM, o ENOS e as geadas na Região Sul do Brasil. Julho é o mês com maior ocorrência de geadas, corroborando com resultados prévios (SELUCHI 2009, p.151). O comportamento das geadas varia de mês para mês, não havendo um único padrão. Porém foi identificado que, em geral, quando o SAM está negativo, há maior ocorrência de geadas em todos os meses.

6. Referências

- ADLER, R. F. ET AL.. The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *Journal of Hydrometeorology*, v. 4, p.1147-1167, 2003.
- AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 10, p. 317-335.
- BALDWIN, M. P.; THOMPSON, D. A critical comparison of stratosphere-troposphere coupling indices. *Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society*, v. 135, n. 644, p. 1661–1672, Oct. Part A 2009. 21
- BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S. A. A manual for EOF and SVD analysis of climatic data. Montreal: McGill University, 1997. 247 p. 21
- CARVALHO, L. M. V. Opposite Phases of the Antarctic Oscillation and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity in the Tropics during the Austral Summer. *Journal of Climate*, v. 18, p. 702-718. Mar. 2005.
- CARVALHO, L. M. V, E JONES, C.. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 10, p. 95-109.
- CAVALCANTI, I.F.A ET AL. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. ISBN 978-85-86238-92-5
- DEE, D. P. ET AL.. The ERA-INTERIM reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R Meteorol. Soc*, p. 137: 553-597. Abr, 2011.
- GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. L23704, p. 4p., Dec. 2006.
- GONG D, WANG S. 1999. Definition of Antarctic oscillation index. *Geophysical Research Letters* 26: 459–462.
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of climate*, v. 22, p.1589-1609. DOI: 10.1175/2008JCLI2429.1. 2009.
- HAN, T.; WANG, H.; SUN, J. Strengthened Relationship between the Antarctic Oscillation and ENSO After the Mid-1990s during Austral Spring. *Advances in Atmospheric Sciences*, v. 34, p. 54-65. Jan, 2017.
- Huang, B., Peter W. Thorne, et. al, 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. *J. Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation: Oceanic-atmospheric changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, v. 36A, n. 5, p. 490–504, Oct. 1984. 1

LEE, H.-T.; SCHRECK, C. J.; KNAPP, K. R. Generation of the Daily OLR Climate Data Record. In: 2014 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 22-26 September 2014, Geneva, Switzerland, 2014.

L'HEUREUX, M. L.; THOMPSON, D. W. J. Observed relationships between the el niño-southern oscillation and the extratropical zonal-mean circulation. *Journal of Climate*, v. 19, n. 2, p. 276–287, Jan. 2006.

LORENZ, E. N. Rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, v. 6, n. 3, p. 293–335, 1986. Article review of: Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Science Report 1, Statistical Forecast Project. Depto. of Meteorology. Mass: Institute of Technology, 1956. 21

MARSHALL, G., 2003: Trends in the southern annular mode from observations and reanalyses. *J. Climate*, 16, 4134–4143.

MENDES, M. C. D., CAVALCANTI, I. F. A. The relationship between the Antarctic oscillation and blocking events over the South Pacific and Atlantic Oceans. *International journal of climatology* (2013). DOI: 10.1002/joc.3729.

PIKE, A. C. Intertropical *Convergence Zone studied with an interacting atmosphere and ocean model. Monthly Weather Review*, v.99, n. 6, p. 469-477, 1971

RAO, V. B.; CARMO, A. M. C.; FRANCHITO, S. H. Interannual variations of storm tracks in the southern hemisphere and their connections with the antarctic oscillation. *International Journal of Climatology*, v. 23, n. 12, p. 1537–1545, 2003.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Relationship between the southern annular mode and the southern hemisphere atmospheric systems. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 48–55, mar. 2009. 9, 17, 59

SELUCHI, M. Geadas. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 10, p. 131-161.

SILVESTRI, G., VERA, C. Nonstationary Impacts of the Southern Annular Mode on Southern Hemisphere Climate. *Journal of climate*, v. 22, p. 6142-6148. Nov, 2009.

TEDESCHI, R. G ET AL. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *Int. J. Climatol.* 33: 1382–1400 (2013). DOI: 10.1002/joc.3519

THOMPSON, D.W., WALLACE, J.M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability. *Journal of Climate*, v. 13, p. 1000–1016, 2000.

Trenberth KE. 1997. The definition of El Niño. *Bulletin of American Meteorological Society* 78: 2771–2777.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over southeastern Brazil in the austral summer and relations with the southern hemisphere annular mode. *Atmospheric Science Letters*, v. 11, n. 1, p. 21–26, Jan.-Mar. 2010.

VASCONCELLOS, F. C. *A oscilação Antártica-mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a América do Sul/oceanos adjacentes*. 2012. 192 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.09.19.33-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. San Diego, CA: Academic Press, 2006. 627 (International Geophysics Series 91) ISBN978-0-12-751966-1