
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

Trabalho de Conclusão de Curso

**INFLUÊNCIA DA OSCILAÇÃO INTRASAZONAL
(MJO) NA VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO
E TEMPERATURA
NO SUDESTE DO BRASIL**

Paloma da Costa Santos

Orientador: Prof. Dr. Luiz Felipe Gozzo

Bauru

2023

S237i	Santos, Paloma da Costa Influência da Oscilação Intrazonal (MJO) na variabilidade de precipitação e temperatura no Sudeste do Brasil / Paloma da Costa Santos. -- Bauru, 2023 20 p. : il., mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Meteorologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru Orientador: Luiz Felipe Gozzo 1. Oscilação de Madden-Julian. 2. precipitação. 3. temperatura. 4. Sudeste do Brasil. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Sumário

1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	2
2.1 Oscilação de Madden-Julian.....	2
2.2 Influência da Madden-Julian no padrão de precipitação no Sudeste do Brasil.....	3
2.3 Pergunta.....	7
2.4 Justificativa.....	7
3. OBJETIVO.....	7
3.1 Objetivo Geral.....	7
3.2 Objetivo Específico.....	7
4. METODOLOGIA.....	8
4.1 Dados.....	8
4.2 Métodos.....	8
• Filtro de Lanczos.....	8
5. RESULTADOS.....	9
6. CONCLUSÃO.....	12
• ANEXO I	13
• ANEXO II.....	19
7. REFERÊNCIAS.....	20

1. RESUMO

A Oscilação de Madden-Julian é um sistema intrasazonal que circula na região equatorial, categorizada por 8 fases em seu deslocamento para leste no período de aproximadamente 40 a 60 dias, é uma célula de convecção tropical com movimentos ascendentes e descendentes que, consequentemente, causam mudança no padrão de precipitação de algumas regiões, incluindo o Sudeste do Brasil, devido a fase convectiva intensificada e fase convectiva suprimida que aumentam e diminuem a chuva nessa região com o auxílio do trem de ondas gerado pela teleconexão PSA (*Pacific South America*). Neste trabalho foi investigado como ocorre a influência da Oscilação de Madden-Julian na variabilidade de precipitação desta região. As respostas do volume de chuva e mudança de temperatura no verão e inverno, respectivamente, foram analisadas. Deste modo, temos que na fase 4 da MJO, no verão há anomalia de OLR positiva, sendo assim, quando a fase convectiva intensificada está passando sob a Indonésia há menos chuva no Sudeste do Brasil devido a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) estar mais fraca, e no inverno há anomalia positiva de temperatura devido a anomalia anticiclônica da ZCAS que dificulta o deslocamento de frentes frias e ciclones para norte. Já na fase 8, no verão temos anomalia negativa de OLR e mais chuva no Sudeste do Brasil com o suporte da ZCAS mais intensa, enquanto a fase convectiva intensificada da MJO passa pelo Pacífico Central, e no inverno há anomalia negativa de temperatura, devido a anomalia ciclônica da ZCAS que favorece o deslocamento de frentes frias e ciclones para o norte causando tempo instável e menores temperaturas na região Sudeste do Brasil.

2. INTRODUÇÃO

2.1 Oscilação de Madden-Julian

A Oscilação de Madden-Julian (MJO) foi descoberta pelos norte-americanos Roland Madden e Paul Julian no início da década de 1970. É uma célula de convecção tropical que gera ascendência e descendência de ventos que origina-se geralmente na região equatorial do Oceano Índico e percorre a faixa equatorial de todo o globo deslocando-se para leste (Madden e Julian, 1972). É uma variabilidade intrasazonal que tem duração de 40 a 60 dias na forma de onda Kelvin-Rossby (Zhang, 2005).

A estrutura convectiva da MJO ocorre como resposta da dinâmica atmosférica quando há uma fonte de calor na superfície do mar e concentração de umidade em baixos níveis, gerando convecção, causada pela grande intensidade de radiação incidente na região equatorial do oceano Índico que aquece a atmosfera próxima à superfície, causando assim ascendência local dos ventos transportando a umidade para altos níveis. Em baixos níveis os ventos convergem como consequência das ondas de Rossby formando dois centros de baixa pressão a oeste da região de convecção, sendo um no hemisfério norte e um no hemisfério sul, e como consequência das ondas de Kelvin que ocorrem em altos e baixos níveis da troposfera. Já em altos níveis os ventos dissipam formando dois centros de alta pressão, sendo um no hemisfério norte e um no hemisfério sul.

O processo de ascendência e descendência dos ventos é baroclínico, isso implica em dizer que há uma inclinação na coluna de ar, onde há altas pressões em altos níveis verticalmente alinhadas a baixas pressões em baixos níveis, como mostra a figura 1 a seguir.

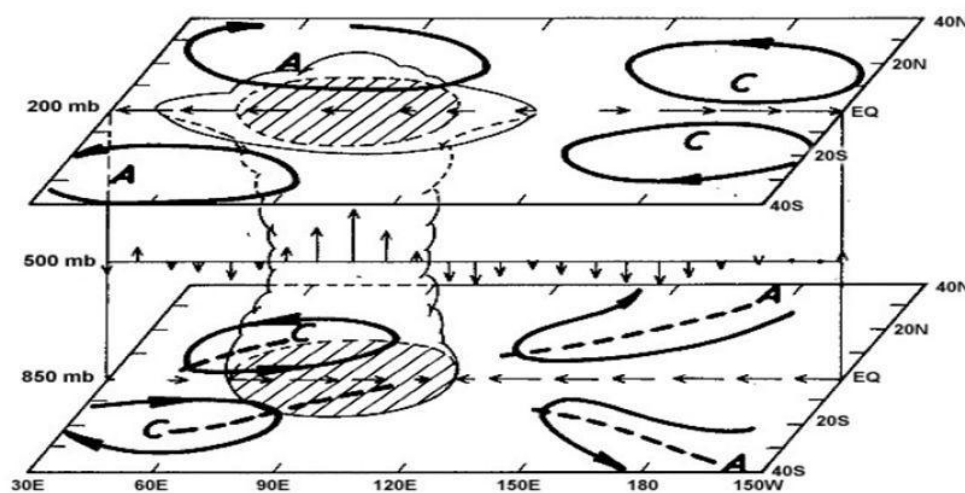


Figura 1: Representação esquemática da estrutura do vento em grande escala na MJO onde:

- A nuvem indica simbolicamente o centro convectivo
- As setas representam os ventos anômalos em 850 e 200 hPa e o movimento vertical em 500hPa
- As letras “A” e “C” marcam os centros de circulação ciclônica e anticiclônica, respectivamente
- As linhas pontilhadas marcam os cavados e cristas

Fonte: (Rui e Wang, 1999)

Essa estrutura é favorável para a formação de nuvens (Cb) por onde estiver passando, sendo assim pode determinar a variabilidade de precipitação nas ilhas do Pacífico, nas regiões de monções da Ásia e Austrália, ao longo da costa oeste da América do Norte na América do Sul e na África.

A figura 2 a seguir apresenta um esquema simplificado do perfil vertical da MJO ao longo da linha do equador. No quadro “A” há ascendência de vento na região da Indonésia indicada no quadrado azul e subsidência de ventos na região da América do Sul indicada pela seta vermelha. Já no quadro “E” há subsidência de ventos na região da Indonésia indicada pelo quadrado vermelho e ascendência de ventos na região da América do Sul, indicada pela seta azul.

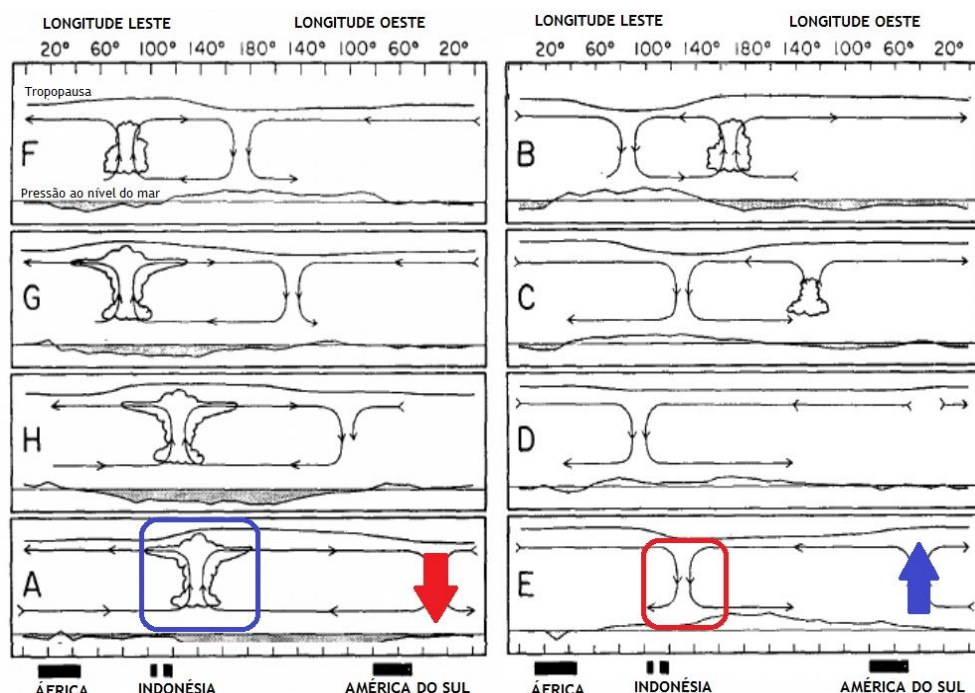


Figura 2: perfil vertical da Oscilação de Madden-Julian ao longo do equador
Fonte: Madden e Julian (1972)

Pode-se notar que ao decorrer do tempo da oscilação representado nos quadros, em “A” o pulso de radiação de onda longa (OLR), a ascendência dos ventos e as Cbs estão bem desenvolvidas sob a Indonésia. Já nos quadros “B” e “C” a coluna se apresenta sob o Oceano Pacífico e as nuvens se desintensificam (diminuem seu tamanho) enquanto que no quadro “D” já não há mais nuvens, porém a oscilação continua ocorrendo e a coluna de subsidência permanece se deslocando sob o oceano. No quadro “E” a subsidência chega à Indonésia enquanto que a ascendência está sob a América do Sul. Já no quadro “F” as nuvens Cb começam a se desenvolver com a ascendência novamente sob o Oceano Atlântico e em “G” a nuvem já está mais desenvolvida sob o continente africano. Por fim, nos quadros “H” e “A” a coluna ascendente acompanha nuvens Cb desenvolvidas novamente sob o oceano Índico e oeste da Indonésia.

2.2 Influência da Madden-Julian no padrão de precipitação no sudeste do Brasil

Os oito quadros apresentados no esquema de Madden-Julian, são representação das oito fases da oscilação realizadas através de análises de Funções Ortogonais Empíricas (EOFs) de

anomalias de OLR filtradas para a frequência de 30 a 60 dias, gerando campos de anomalia de precipitação como mostra a figura 3 a seguir.

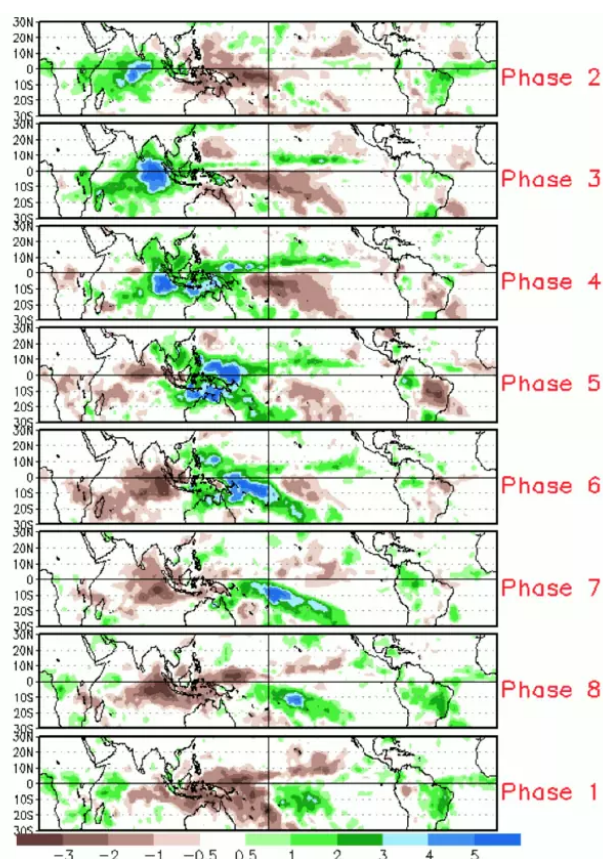


Figura 3: Diferença da precipitação média para todos os eventos MJO de 1979-2012 para novembro-março para as oito fases: sombreado verde indica chuva acima da média (fase convectiva intensificada), e o sombreado marrom mostra chuva abaixo da média (fase convectiva suprimida).

Fonte: Climate.gov

Pode-se observar na Figura 3 que a fase 2 apresenta o início do pulso de OLR, começo do desenvolvimento de nuvens Cb no oceano Índico e seca causada pela fase convectiva suprimida a leste da Indonésia, além de favorecimento de convecção intensa na região norte do Brasil. Na fase 3 a banda de nebulosidade (cor azul) se encontra mais desenvolvida a oeste da Indonésia, e a fase seca se desloca para o Pacífico Oriental (cor marrom). A fase 4 mostra a nebulosidade aumentando sua intensidade passando sob a Indonésia enquanto a fase seca se desloca para o Pacífico Central, além do desfavorecimento de chuvas no sudeste do Brasil. Na fase 5 é possível notar a fase convectiva intensificada a oeste da Indonésia enquanto a convecção suprimida passa sobre o nordeste do Brasil. A fase 6 mostra a banda de nebulosidade no Pacífico Oriental e a fase seca no Oceano Índico, além do desfavorecimento de chuvas no norte do Brasil. Na fase 7 podemos observar a nebulosidade começando a se desintensificar sobre o Pacífico Central enquanto a fase seca se encontra a oeste da Indonésia. A fase 8 mostra a nebulosidade menos intensa sobre o Pacífico Ocidental e forte favorecimento de chuvas no sudeste e centro-oeste do Brasil, além da convecção suprimida passando sob a Indonésia. E por fim, a fase 1 mostra a nebulosidade desintensificada sob a região equatorial terrestre, porém há favorecimento de chuvas no Pacífico Central, Nordeste e Norte do Brasil, e convecção suprimida causando seca sobre a região Norte da Austrália.

Como foi notado, as fases 8 e 4 da MJO favorecem e desfavorecem, respectivamente, o padrão de chuva no sudeste do Brasil. Essa situação é causada pela teleconexão PSA, que causa um trem de ondas de Rossby com centros de baixas e altas pressões alternadamente na região sul do Oceano Pacífico, do oceano Índico até o sudeste do Brasil. Porém esse padrão é variável de acordo com as estações chuvosa e seca e de acordo com as fases do PSA (Figura 4).

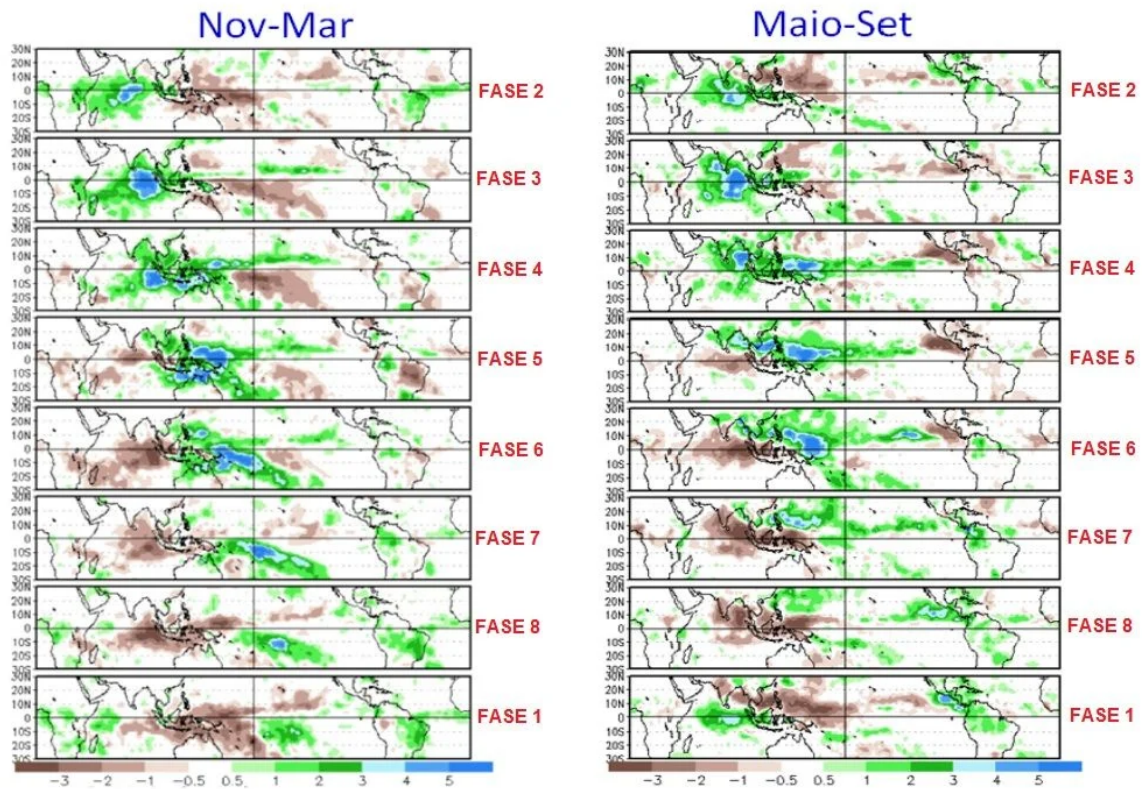


Figura 4: Diferença da precipitação média para todos os eventos MJO de 1979-2012 para novembro-março (à esquerda) e para maio-setembro (à direita) nas oito fases: sombreado verde indica chuva acima da média (fase convectiva intensificada), e o sombreado marrom mostra chuva abaixo da média (fase convectiva suprimida).

Fonte: Climate.gov

Comparando as fases 8 nos meses de verão (novembro-março) e de inverno (maio-setembro), observa-se que no verão o aumento da chuva está presente mais ao nordeste e norte do Brasil, enquanto que no inverno está mais ao sudeste do Brasil. Isso ocorre por conta da presença de maiores probabilidades de frentes frias no sudeste associadas ao JBN (Jatos de Baixos Níveis) que se desloca para o norte no inverno do hemisfério sul, juntamente com a oscilação que favorece o aumento de chuva nesta região, onde esse favorecimento é causado através do PSA. No verão, a MJO atua juntamente com a ZCAS levando a nebulosidade para o nordeste e norte do Brasil através do trem de ondas PSA.

O pulso de convecção originado no Oceano Índico e deslocado para leste influencia a variabilidade de precipitação no Sudeste do Brasil devido à sua interação com a teleconexão PSA que gera um trem de ondas pelo Oceano Pacífico até a costa leste do Brasil, alterando assim, o padrão de precipitação do Nordeste e Sudeste do Brasil de acordo com o deslocamento (fases) da Oscilação de Madden-Julian, dessa forma causa maior ou menor volume de chuva no verão e maiores ou menores temperaturas no inverno, conforme o deslocamento das fases convectiva intensificada e convectiva suprimida. Deste modo, temos que nas fases 4 da MJO a fase convectiva intensificada está presente sob a Indonésia e a fase convectiva suprimida está sob o Pacífico Central e nas fases 8 as fases convectiva e suprimida apresentam posições inversas.

Alvarez et al. (2016), que descreveram a influência da MJO na chuva e temperatura da América do Sul, observaram que nos meses de verão (DJF) há redução no volume de chuva no Sudeste do Brasil devido à presença de um anticiclone anômalo sobre o Atlântico como parte do trem de ondas barotrópico na fase 4 da MJO (Fig. 5) além de anomalias negativas de temperatura próximas ao Brasil Central durante o inverno (JJA) nesta fase. Na fase 8, observaram o comportamento oposto.

As figuras abaixo apresentam mapas de anomalias de altura geopotencial de Alvarez et al. (2016) para as fases 4 e 8 da MJO nos meses de verão e inverno.

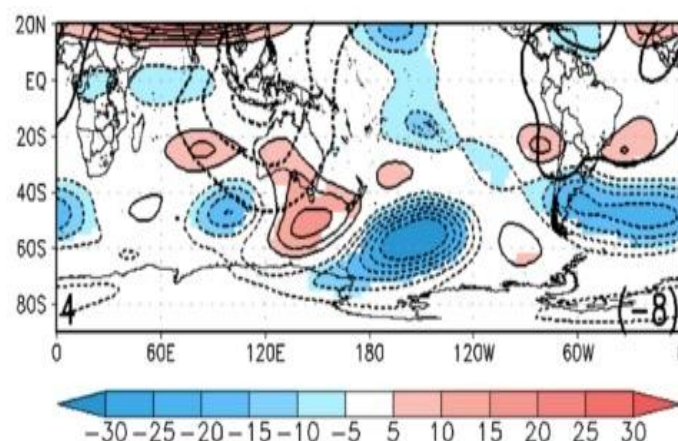


Figura 5: mapa de composição de anomalia de altura geopotencial na fase 4 da MJO em DJF em 250 hPa em metros geopotenciais

Fonte: Alvarez et al. (2016)

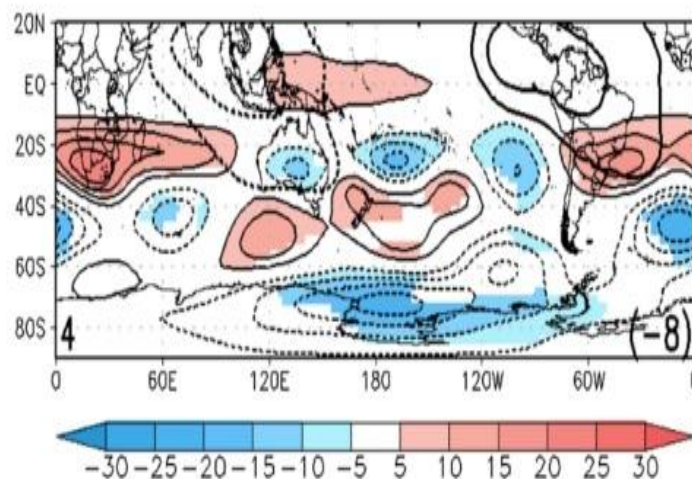


Figura 6: mapa de composição de anomalia de altura geopotencial na fase 4 da MJO em JJA em 250 hPa em metros geopotenciais

Fonte: Alvarez et al. (2016)

2.3 Pergunta

Quais são os impactos da Oscilação de Madden-Julian nos padrões de precipitação e temperatura no Sudeste do Brasil?

2.4 Justificativa

São quedas bruscas de temperatura e tempo seco no inverno ou temperaturas elevadas e chuvas isoladas e intensas no verão, que ocasionam muitas vezes inundações e deslizamentos em áreas de risco em pontos do Sudeste do Brasil, portanto é importante conhecer o comportamento e previsibilidade de anomalias de precipitação e temperatura. A previsibilidade dessas anomalias é especialmente importante no sudeste, pois é uma região subtropical, onde os efeitos das oscilações climáticas são menos definidos.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é descrever como a variabilidade de precipitação no verão e temperatura do ar no inverno do Sudeste do Brasil são influenciados pela MJO.

3.2 Objetivo Específico

Identificar as anomalias de OLR (na estação chuvosa) e temperatura (na estação seca) médias nas fases 4 e 8 da MJO e relacioná-las com o trem de ondas PSA.

4. METODOLOGIA

4.1 Dados

Os dados utilizados para a análise deste trabalho são radiação de onda longa (OLR) e temperatura do ar a 2m . Os dados são globais, com resolução horizontal de 2.5° de latitude e longitude, com resolução temporal diária da Reanálise 2 do *National Centers for Environmental Prediction/NCEP* (Kanamitsu et al., 2002). O período de análise foi de 2011 a 2021.

4.2 Métodos

O primeiro passo do estudo foi a coleta de dados no sites citados, estes foram filtrados utilizando Filtro de Lanczos descrito abaixo:

- **Filtro de Lanczos:**

O filtro de Lanczos é realizado escrevendo os dados originais em termos das componentes de Fourier e calculando a transformada dessas componentes gerando assim uma função resposta (Rf) que permite zerar as amplitudes de certas componentes indesejadas. A função resposta é uma função quadrada multiplicada pela componente intrasazonal, onde as oscilações menores que 30 dias e maiores que 90 dias foram multiplicadas por 0 e as oscilações entre 30 a 90 dias foram multiplicadas por 1. O filtro utilizado foi o passa-banda, onde subtrai-se um passa-baixa com determinada frequência por um passa-baixa de frequência menor, dessa forma o filtro permite somente o intervalo de oscilações intrassazonais.

Após a filtragem, foram selecionadas as datas em que a onda de Kelvin-Rossby apresentou amplitude maior que 1,5 nas fases 4 e 8 a cada ano da climatologia (2011 a 2021), para selecionar os períodos de amplitude mais forte da MJO (ou seja, períodos onde a oscilação apresenta anomalias de maior intensidade), e então foram selecionadas as datas de pico de amplitude maior (em cores). Essas datas foram obtidas no site de índice de Teleconexões da Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI (Souza e Reboita, 2021) e estão apresentadas no Anexo I deste trabalho.

As datas dos picos selecionadas foram inseridas nos scripts do software GrADS apresentado no Anexo II deste trabalho, para elaboração de mapas de composição e cálculo da média da variável, gerando assim, 4 mapas para as seguintes anomalias:

- Anomalia de OLR na fase 4 da MJO no verão
- Anomalia de OLR na fase 8 da MJO no verão
- Anomalia de Temperatura na fase 4 da MJO no inverno
- Anomalia de Temperatura na fase 8 da MJO no inverno

Após a obtenção dos mapas, as anomalias foram comparadas com os mapas de anomalia de altura geopotencial das fases 4 e 8 de Alvarez et al. (2016) para relacionar os resultados obtidos aqui com a propagação de ondas associada à MJO documentada na literatura.

5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os mapas de anomalias de OLR e temperatura durante as duas fases da MJO estudadas, para o período chuvoso e seco do Sudeste do Brasil.

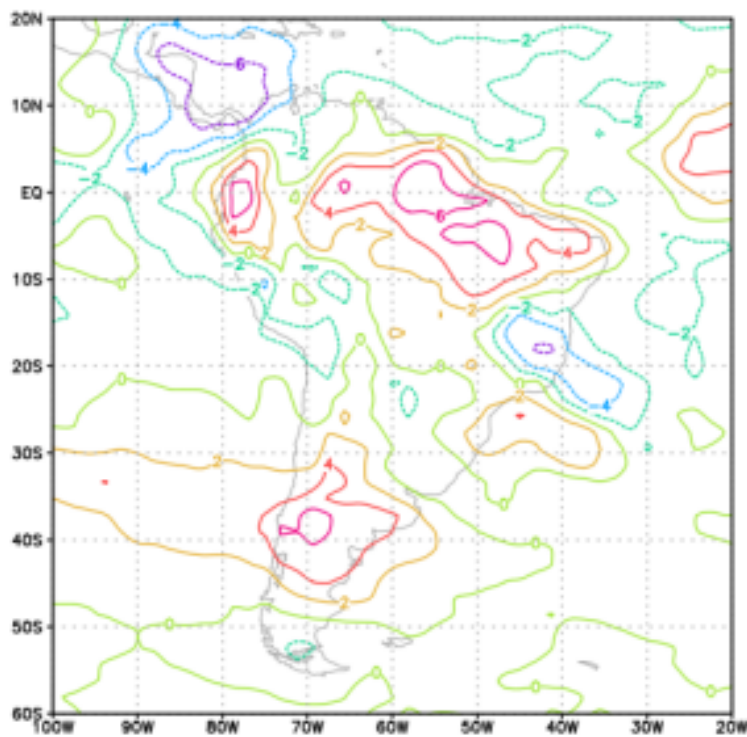


Figura 7: mapa de composição de anomalia de OLR (em $W. m^{-2}$) na fase 4 da MJO em ONDJFM.

Na estação chuvosa, nota-se que na fase 4 da MJO há anomalia positiva de OLR no Brasil Central e região Sul (Fig. 7), sendo assim, pode-se inferir que há menos nuvens e chuva na região. Como é possível notar na Figura 5 de Alvarez et al. (2016), isso ocorre por conta de um anticiclone anômalo presente na costa leste do Sudeste do Brasil que enfraquece a ZCAS devido ao escoamento em sentidos contrários de ambos sistemas e dificulta o deslocamento para norte de ciclones e frentes frias que ficariam estacionadas dando suporte para a ZCAS.

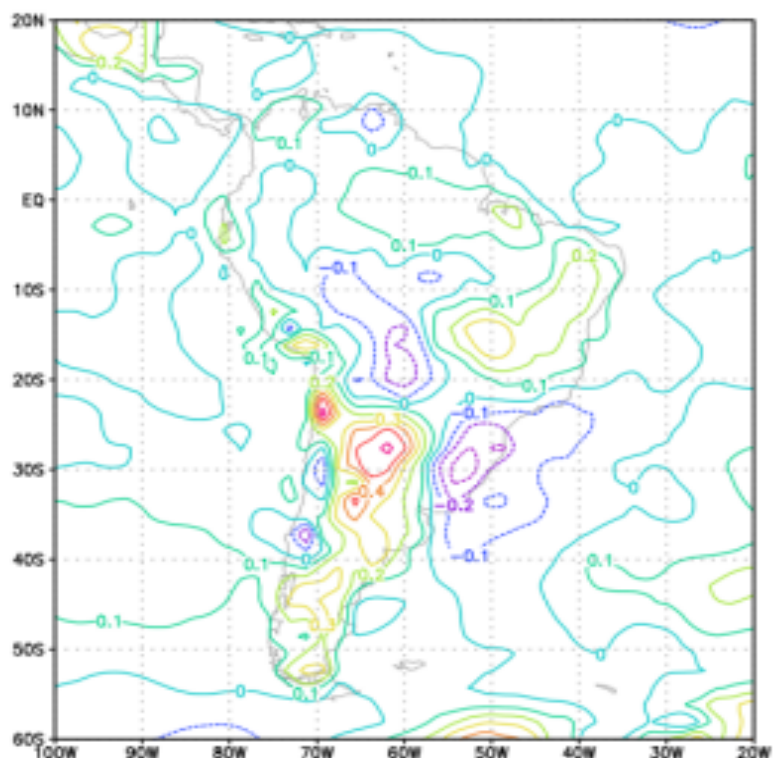


Figura 8: mapa de composição de anomalia de temperatura (em °C) na fase 4 da MJO em AMJJAS

No inverno, a fase 4 da MJO favorece anomalias positivas de temperatura no norte da região Sudeste, Brasil-central e na região Sudeste da Argentina (Fig. 8). As anomalias frias que predominam na região Sul do Brasil podem estar associadas à ciclogênese, comum nesta época do ano. Isso ocorre por conta da presença de um anticiclone anômalo sob o Sul e Sudeste do Brasil que causa tempo estável, e conseqüentemente, camadas mais espessas e temperaturas mais elevadas como verifica-se na Figura 6, onde há anomalia positiva de altura geopotencial na região.

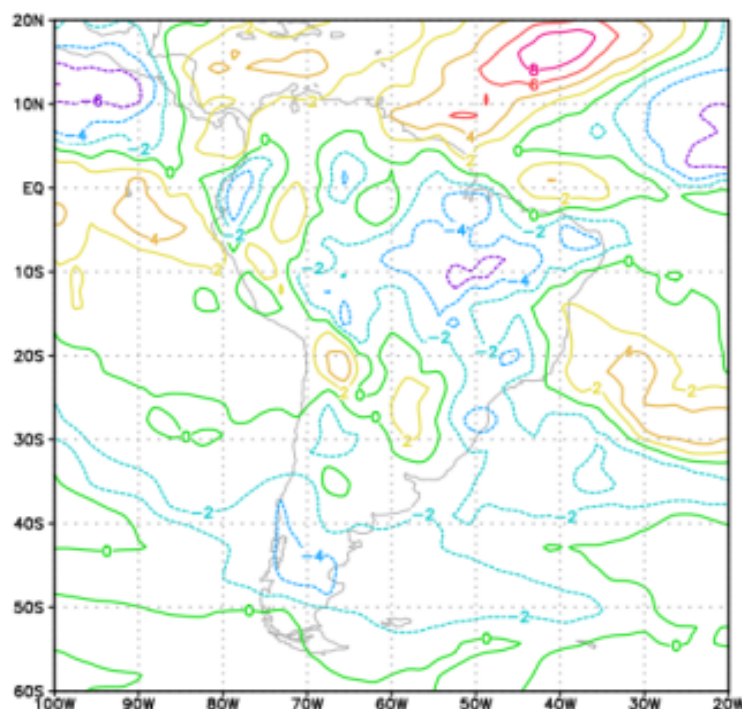


Figura 9: mapa de composição de anomalia de OLR (em $W. m^{-2}$) na fase 8 da MJO em ONDJFM.

A Figura 9 mostra a presença de anomalia negativa de OLR no Sudeste do Brasil durante os eventos da fase 8 da MJO na estação chuvosa. Para relacionar esta anomalia com o mapa do Alvarez et al. (2016), é necessário analisar a Figura 5, de anomalia de altura geopotencial, com sinal inverso, ou seja, regiões de anomalia negativa (positiva) na fase 4 tornam-se regiões de anomalia positiva (negativa) na fase 8. Neste caso, destaca-se um ciclone anômalo na costa leste do Sudeste, este sistema favorece o deslocamento de frentes frias que estacionam na região dando suporte para o escoamento da ZCAS. Estes sistemas acoplados favorecem um tempo instável, com mais nebulosidade e mais chuva na região e desintensifica o escoamento da ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul).

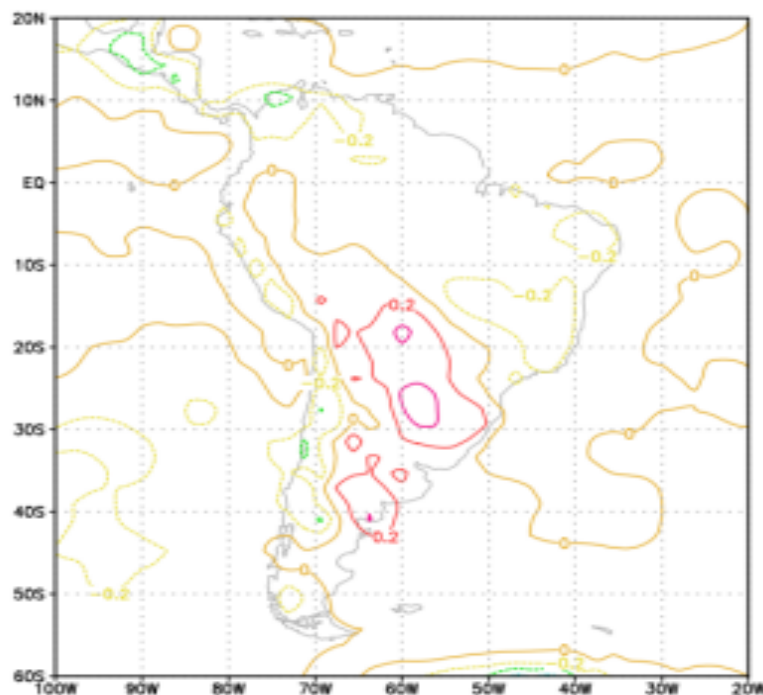


Figura 10: mapa de composição de anomalia de temperatura (em °C) na fase 8 da MJO em AMJJAS.

No inverno, a fase 8 da MJO apresenta anomalia negativa de temperatura no Sudeste do Brasil (Fig. 10). Neste caso, também é necessário analisar o mapa de composição de anomalia de altura geopotencial do Alvarez et al. (2016) da Figura 6 com sinal inverso, desta forma nota-se que há um ciclone anômalo na região Sudeste do Brasil. Este sistema favorece o deslocamento de frentes frias para norte causando tempo instável e menores temperaturas na região.

Portanto, nota-se que os mapas de anomalias de OLR e temperatura obtidos estão de acordo com os mapas de anomalias de altura geopotencial em 250hPA de Alvarez et al. (2016). Sendo assim, pode-se confirmar a influência da oscilação intrasazonal na variabilidade de precipitação e temperatura no sudeste do Brasil, causando maior e menor volume de chuva no verão e aumento ou queda brusca de temperatura no inverno.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que a oscilação intrasazonal influencia a previsibilidade no padrão de precipitação e temperatura na região Sudeste do Brasil, pois com o deslocamento das fases convectiva intensificada e suprimida para leste ocorre mudanças no padrão de precipitação em algumas regiões do Brasil, com sinal difuso sobre o Sudeste. O PSA pode posicionar-se mais para o norte da costa leste do Brasil, gerando tempo instável e mais chuva no Nordeste e tempo estável e menos chuva no Sudeste do Brasil, no caso da fase 4 da MJO no verão, e também pode posicionar-se mais ao sul, favorecendo tempo instável com mais chuva no Sudeste e Centro-oeste e tempo estável no Nordeste do Brasil, no caso da fase 8 da MJO. A comparação dos mapas de anomalias de OLR e temperatura obtidos com o trabalho do Alvarez et al. (2016) foi realizada, onde foi possível identificar os sistemas associados ao favorecimento ou desfavorecimento do deslocamento de ciclones e frentes frias para o norte, chegando no Sudeste e causando mudança de tempo local, quando um ciclone anômalo na costa leste do Sudeste está presente e dá suporte para a frente fria estacionar e se acoplar na ZCAS, causando tempo instável na região ou quando um anticiclone anômalo está presente na costa leste do Sudeste enfraquecendo a ZCAS devido ao escoamento em sentidos contrários causando tempo estável na região. Além do suporte do escoamento da ASAS no caso do anticiclone anômalo gerado pelo trem de ondas do PSA.

É importante salientar que este trabalho comparou um período ligeiramente diferente daquele de Alvarez et al. (2016), pois estudamos as estações chuvosa e seca, enquanto aquele trabalho mostrou resultados para verão (DJF) e inverno (JJA). Com isto podemos ter incluído alguns padrões das estações de transição, por isso, uma sugestão para trabalhos futuros seria apresentar estas anomalias especificamente para verão e inverno.

● ANEXO I

Este anexo apresenta as tabelas com todas as datas de MJO com amplitude da onda Kelvin-Rossby superior a 1,5 utilizadas neste trabalho. O valor do índice e as datas foram obtidos em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/mjo>

FASE 4				FASE 8			
22/03/2011	1,53187	24/03/2011	1,88443	24/01/2011	2,16616	24/01/2011	2,16616
23/03/2011	1,75342	05/12/2011	2,25749	25/01/2011	2,05545	14/10/2011	2,29022
24/03/2011	1,88443	24/12/2011	1,91174	26/01/2011	1,78588	16/05/2011	1,93381
25/03/2011	1,59000	30/04/2011	1,68891	27/01/2011	1,57592		
02/12/2011	2,01467			10/10/2011	1,76297		
03/12/2011	2,07190			11/10/2011	1,84206		
04/12/2011	2,21280			12/10/2011	2,06562		
05/12/2011	2,25749			13/10/2011	2,14646		
22/12/2011	1,51653			14/10/2011	2,29022		
24/12/2011	1,91174			14/05/2011	1,68742		
25/12/2011	1,68428			15/05/2011	1,87629		
29/04/2011	1,63884			16/05/2011	1,93381		
30/04/2011	1,68891			17/05/2011	1,86948		
				18/05/2011	1,77581		
				19/05/2011	1,64527		
				20/05/2011	1,19739		
				21/05/2011	1,71867		

Tabela 1: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2011. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

Tabela 2: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2011. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4				FASE 8			
06/03/2012	2,61000	06/03/2012	2,61000	09/02/2012	2,19239	09/02/2012	2,19239
07/03/2012	2,28970	07/09/2012	1,94886	10/02/2012	1,93501	06/04/2012	2,79513
08/03/2012	2,22887			11/02/2012	1,58716	22/06/2012	2,07016
09/03/2012	2,26213			12/02/2012	1,60038		
10/03/2012	2,06227			06/04/2012	2,79513		
11/03/2012	1,97079			07/04/2012	2,63263		
06/09/2012	1,65712			08/04/2012	2,41373		
07/09/2012	1,94886			09/04/2012	2,12539		
08/09/2012	1,82257			10/04/2012	1,83376		
09/09/2012	1,66489			15/06/2012	1,79790		
10/09/2012	1,57710			16/06/2012	1,66864		
				22/06/2012	2,07016		

Tabela 3: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2012. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

Tabela 4: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2012. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
05/01/2013	2,05604
06/01/2013	2,27101
17/02/2013	1,60620
18/02/2013	1,84187
19/02/2013	1,70390
20/02/2013	1,66736
21/02/2013	1,68286
22/02/2013	1,57110
06/04/2013	1,72312
07/04/2013	1,87197
09/04/2013	1,62782
10/04/2013	1,44877
11/04/2013	1,17734

06/01/2013	2,27101
18/02/2013	1,84187
07/04/2013	1,87197

FASE 8	
31/01/2013	2,07664
02/02/2013	2,08471
24/06/2013	2,14765
25/06/2013	2,08790
26/06/2013	2,22235
27/06/2013	2,17505
28/06/2013	2,02919

02/02/2013	2,08471
26/06/2013	2,22235

Tabela 5: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2013. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

Tabela 6: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2013. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
28/11/2014	1,95963
29/11/2014	2,22700
30/11/2014	2,50492
05/04/2014	2,19352
06/04/2014	1,88369
07/04/2014	1,79991
10/06/2014	1,24904
11/06/2014	1,92682
12/06/2014	2,23353
13/06/2014	2,14985
14/06/2014	1,89108
15/06/2014	1,67986
16/06/2014	1,52165

30/11/2014	2,50492
05/04/2014	2,19352
10/06/2014	1,24904

FASE 8	
27/02/2014	2,62006
06/03/2014	2,42360
07/03/2014	2,37968
08/03/2014	2,48092
09/03/2014	2,27428
10/03/2014	2,27271
11/03/2014	2,10119
02/05/2014	1,87769
03/05/2014	1,99427

27/02/2014	2,62006
08/03/2014	2,48092
03/05/2014	1,99427

Tabela 7: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2014. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

Tabela 8: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2014. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
06/11/2015	2,15406
07/11/2015	1,99437
08/11/2015	1,78023
09/11/2015	1,85933
10/11/2015	2,14675
11/11/2015	2,02430
12/11/2015	1,57032
12/12/2015	1,46830
13/12/2015	1,64438
14/12/2015	1,83689
15/12/2015	2,12090
16/12/2015	2,33553
04/04/2015	1,86844
05/04/2015	2,12620
06/04/2015	2,08186
07/04/2015	1,84211

06/11/2015	2,15406
16/12/2015	2,33553
05/04/2015	2,12620

FASE 8	
06/02/2015	1,58413
07/02/2015	1,60970
18/03/2015	4,00080
19/03/2015	3,58373
20/03/2015	3,42812
21/03/2015	2,92871
22/03/2015	2,53750
23/03/2015	2,24678
24/03/2015	2,10742
11/07/2015	2,11642
12/07/2015	2,05700
13/07/2015	1,87359
14/07/2015	1,72020

07/02/2015	1,60970
18/03/2015	4,00080
11/07/2015	2,11642

Tabela 9: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2015. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

Tabela 10: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2015. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
05/02/2016	1,62178
06/02/2016	2,00845
07/02/2016	1,95441
08/02/2016	1,78191
09/02/2016	1,81015
10/02/2016	1,87621
11/02/2016	1,91576
12/02/2016	1,86737
15/03/2016	4,32499
14/09/2016	1,62795
15/09/2016	1,84255
16/09/2016	1,73986
17/09/2016	1,61595
18/09/2016	1,58465
19/09/2016	1,63492

06/02/2016	2,00845
15/03/2016	4,32499
15/09/2016	1,84255

FASE 8	
07/01/2016	2,74167
08/01/2016	2,52896
09/01/2016	2,18809
10/01/2016	2,15885
11/01/2016	1,49249
25/02/2016	2,55455
02/03/2016	1,51115
03/03/2016	1,60129
12/11/2016	2,46321
13/11/2016	2,31632
14/11/2016	2,03500
15/11/2016	1,68120
24/04/2016	1,61257

07/01/2016	2,74167
25/02/2016	2,55455
03/03/2016	1,60129
24/04/2016	1,61257

Tabela 11: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2016. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

Tabela 12: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2016. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
31/01/2017	1,52156
05/03/2017	1,76171
06/03/2017	1,69530
09/10/2017	1,51022
10/10/2017	1,79289
11/10/2017	2,03695

31/01/2017	1,52156
05/03/2017	1,76171
11/10/2017	2,03695

Tabela 13: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2017. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 8	
13/02/2017	2,80790
14/02/2017	3,13846
15/02/2017	3,22538
16/02/2017	3,07720
21/12/2017	1,75766
22/12/2017	1,78720
23/12/2017	1,55764
30/04/2017	1,85080
02/05/2017	1,94723
03/05/2017	2,04747
04/05/2017	2,07244
05/05/2017	2,22960
06/05/2017	2,05630
07/05/2017	1,87829
08/05/2017	1,94144

15/02/2017	3,22538
22/12/2017	1,78720
30/04/2017	1,85080
05/05/2017	2,22960

Tabela 14: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2017. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
17/01/2018	1,86907
18/01/2018	1,95958
19/01/2018	1,77874
20/01/2018	1,70461
21/01/2018	1,50946
09/11/2018	1,83076
10/11/2018	1,91261
11/11/2018	1,93200
12/11/2018	1,87274
12/12/2018	2,15022
13/12/2018	2,43321
14/12/2018	2,23250
15/12/2018	2,09537
16/12/2018	2,22865
17/12/2018	2,01582
30/05/2018	1,76474
31/05/2018	1,66285

18/01/2018	1,95958
11/11/2018	1,93200
13/12/2018	2,43321
30/05/2018	1,76474

Tabela 15: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2018. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 8	
19/02/2018	1,73437
20/02/2018	1,58453
04/04/2018	2,53333
05/04/2018	2,35424
06/04/2018	2,20224

19/02/2018	1,73437
04/04/2018	2,53333

Tabela 16: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2018. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
06/03/2019	2,71337
07/03/2019	2,72542
08/03/2019	2,66181
09/03/2019	2,16791
10/03/2019	1,86788
11/03/2019	1,57691
28/04/2019	2,09613
29/04/2019	1,74069
30/04/2019	1,77806
08/08/2019	1,61251
09/08/2019	1,74043
10/08/2019	1,70352

07/03/2019	2,72542
28/04/2019	2,09613
09/08/2019	1,74043

Tabela 17: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2019. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 8	
06/01/2019	2,59148
07/01/2019	2,49551
08/01/2019	2,41472
09/01/2019	2,13565
10/01/2019	1,89572
11/01/2019	1,15038
20/01/2019	1,53808
13/02/2019	1,69715
18/02/2019	1,50286
19/02/2019	1,78489
20/02/2019	2,10547
21/02/2019	2,04660
22/02/2019	2,10533
14/11/2019	1,81156
18/11/2019	1,72794
13/05/2019	2,15955
14/05/2019	1,95811
15/05/2019	1,93818
16/05/2019	1,84375
17/05/2019	1,82911
18/05/2019	1,87280
19/05/2019	1,96377
20/05/2019	1,97317
21/05/2019	1,86324
22/05/2019	1,92095
23/05/2019	2,03840
24/05/2019	2,26484
25/05/2019	2,22460
18/09/2019	1,69095
19/09/2019	1,74375
20/09/2019	1,50538

06/01/2019	2,59148
20/01/2019	1,53808
13/02/2019	1,69715
20/02/2019	2,10547
18/11/2019	1,72794
13/05/2019	2,15955
19/09/2019	1,74375

Tabela 18: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2019. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
06/01/2020	1,66992
07/01/2020	2,34659
08/01/2020	2,69466
09/01/2020	3,11109
10/01/2020	3,33518
04/03/2020	1,84158
05/03/2020	1,84793
26/03/2020	1,81513
27/03/2020	1,90160
28/03/2020	1,99686
29/03/2020	2,07316
30/03/2020	2,08479
31/03/2020	1,65860
12/10/2020	1,91147
13/10/2020	1,98717
04/08/2020	1,64463
05/08/2020	1,85380
06/08/2020	1,98504
07/08/2020	1,96642
16/09/2020	1,62033
17/09/2020	1,59173

10/01/2020	3,33518
05/03/2020	1,84793
30/03/2020	2,08479
13/10/2020	1,98717
06/08/2020	1,98504
16/09/2020	1,62033

Tabela 19: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2020. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 8	
10/04/2020	1,95879
11/04/2020	2,05851
12/04/2020	1,78280
27/05/2020	1,70175
28/05/2020	1,60663
29/05/2020	1,54979
30/05/2020	1,78370
16/08/2020	1,63519
17/08/2020	1,8365
18/08/2020	1,63849
20/08/2020	1,56658

11/04/2020	2,05851
30/05/2020	1,78370
18/08/2020	1,63849

Tabela 20: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2020. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 4	
28/03/2021	1,68467
01/10/2021	1,70743
19/05/2021	1,91493
20/05/2021	1,86346
21/05/2021	1,64396
20/09/2021	1,53010
21/09/2021	1,55386
30/09/2021	1,63438

28/03/2021	1,68467
01/10/2021	1,70743
19/05/2021	1,91493
30/09/2021	1,63438

Tabela 21: datas em que as fases 4 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2021. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

FASE 8	
13/03/2021	1,66450
15/03/2021	1,51867
26/04/2021	2,65388
27/04/2021	2,97634
28/04/2021	3,00242
29/04/2021	3,16341
30/04/2021	3,41795

13/03/2021	1,66450
30/04/2021	3,41795

Tabela 22: datas em que as fases 8 da MJO apresentaram amplitudes maiores que 1,5 em 2021. As cores representam o maior pico da amplitude no período.

- **ANEXO II:**

Passos da elaboração de mapas de composição utilizando GrADS:

1. O arquivo de dados filtrados foi aberto pelo seguinte comando:
→ 'sdfopen NOMEDOARQUIVO.nc'
2. Foram determinadas a latitude e longitude da área em estudo (América do Sul) com o seguintes comandos:
→ LATITUDE: 'set lat -60 20'
→ LONGITUDE: 'set lon -100 -20'
3. Foram definidas as médias de anomalias de OLR para eventos da MJO na fase 4 no inverno pelo seguinte comando:

→ 'define anom1 = ulwrf (time=00zdiamesano)'

Esse comando foi repetido para cada data selecionada (da tabela) na fase 4 no inverno, por exemplo, houve um pico de amplitude da onda maior que 1,5 na fase 4 no dia 30/04/2011 (inverno), então o comando foi:

- 'define anom1 = ulwrf (time00z30apr2011)'
4. Após as definições, foi calculada a média de anomalias de OLR para eventos da MJO na fase 4 no inverno com o seguinte comando:

→ 'define mediaanomMJO4 = (anom1 + anom2 + anom3 + anom4 + anom5 + anom6 + anom7 + anom8 + anom9 + anom10 + anom11 + anom12 + anom13 + anom14)/14'
 5. Posteriormente foi elaborado o mapa de composição para a média de anomalia de OLR acima com o seguinte comando:

→ 'd mediaanomMJO4'

7. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, M. S. VERA, C. S. KILADIS, G. N. LIEBMANN, B. Influence of the Madden Julian Oscillation on precipitation and surface air temperature in South América. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. 2015.
- CASTRO CUNNINGHAM, C. A., & De Albuquerque Cavalcanti, I. F. (2006). Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(9), 1165-1180.
- DE SOUZA, Christie Andre; REBOITA, Michelle Simões. Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul. *Terræ Didática*, v. 17, p. e021009-e021009, 2021.
- FUNK, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1), 1-21.
- KANAMITSU, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S. K., Hnilo, J. J., Fiorino, M., & Potter, G. L. (2002). Ncep–doe amip-ii reanalysis (r-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11), 1631-1644
- MADDEN, R. A., & Julian, P. R. (1971). Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *Journal Of The Atmospheric Sciences*, 28, 702-708.
- MADDEN, R. A., & Julian, P. R. (1972). Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40–50 Day Period, *Journal of Atmospheric Sciences*, 29(6), 1109-1123. Retrieved Dec 19, 2022
- ZHANG, C. (2005), Madden-Julian Oscillation, *Rev. Geophys.*, 43, RG2003, doi:[10.1029/2004RG000158](https://doi.org/10.1029/2004RG000158).

Orientador

Aluna