



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFERICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

ANALISE DA UTILIZAÇÃO DO INDICE ONI NA PREVISIBILIDADE DE
CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

LINCOLN OLIVEIRA DE SOUZA

MACEIÓ, LAGOAS, BRASIL

OUTUBRO DE 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFERICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

ANALISE DA UTILIZAÇÃO DO INDICE ONI 3.4 NA PREVISIBILIDADE DE
CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

LINCOLN OLIVEIRA DE SOUZA

Orientadora: Prof. Dr. Maria Luciene Dias de Melo

Trabalho de conclusão de curso apresentado á
Universidade Federal de Alagoas - UFAL, para
obtenção do título de Meteorologista, modalidade
bacharelado

MACEIÓ, LAGOAS, BRASIL

OUTUBRO DE 2021

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- S729a Souza, Lincoln Oliveira de.
Análise da utilização do índice ONI 3.4 na previsibilidade de chuvas no Nordeste do Brasil / Lincoln Oliveira de Souza. – 2021.
51 f. : il.
- Orientadora: Maria Luciene Dias de Melo.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2021.
- Bibliografia: f. 45-51.
1. Precipitação (Meteorologia) - Anomalias. 2. Índice Oceânico Niño. 3. La Niña (Corrente oceânica). 4. El Niño (Corrente oceânica). I. Título.

CDU: 551.515.4



ATA DE APRESENTAÇÃO PÚBLICA DO TCC

ALUNO: Lincoln Oliveira de Souza

ORIENTADOR: Maria Luciene Dias de Melo

TÍTULO DO TRABALHO: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO ONI NA PREVISIBILIDADE DE CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL

DATA: 30/09/2021 HORA: 08:30h

LOCAL: Apresentação on-line via RNP - ICAT/UFAL

BANCA EXAMINADORA

PRESIDENTE: Profa. Dra. Maria Luciene Dias de Melo

SEGUNDO COMPONENTE: Prof. Dr. Fabrício Daniel dos Santos Silva

TERCEIRO COMPONENTE: Msc. Vinicius Oliveira

QUARTO COMPONENTE: _____

QUADRO DE AVALIAÇÃO

| Banca Examinadora | Apresentação | Conteúdo | Domínio do Assunto | Média Parcial | Assinatura |
|---------------------|--------------|----------|--------------------|---------------|------------|
| Presidente | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | |
| Segundo Componente | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | |
| Terceiro Componente | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | |

MÉDIA FINAL: 9,5

COMPROVANTE DE ENTREGA DA VERSÃO FINAL DO TCC

O TCC obteve média final 9,5, conforme quadro de avaliação acima, homologado por esta coordenação.

Entregue na versão final no dia 18 de outubro de 2021.

Assinatura do(a) Coordenador (a):



Documento assinado digitalmente
Glauber Lopes Mariano
Data: 18/10/2021 07:22:17-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

DEDICATORIA

Dedico este trabalho de conclusão da graduação a minha mãe, e irmãos, que mesmo quando pensei que não fosse ser capaz de ver o caminho, se mantiveram firme em ser o meu Norte. A Fernanda Gomes por ter uma capacidade afetiva além da minha compreensão e ao Vinicius Oliveira que de muitas formas me incentivaram e ajudaram para que fosse possível a concretização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas do meu convívio que acreditaram e contribuíram, mesmo que indiretamente, para a conclusão deste curso.

A minha mãe Rosineide Oliveira da Silva Souza, pelo amor incondicional e pela paciência. Por ter feito o possível para me oferecerem a oportunidade de estudar e cursar uma faculdade federal, acreditando e respeitando minhas decisões e nunca deixando que as dificuldades acabassem com os meus sonhos, serei imensamente grato.

Aos meus irmãos Lilian, Renata e Edcarlos, que mesmo inconscientemente me incentivaram, sendo além de irmãos amigos, a correr atrás dos meus objetivos, agradeço verdadeiramente.

A minha esposa, Fernanda Gomes, por ter sentido junto comigo, todas as angústias e felicidades, acompanhando cada passo dessa jornada de perto. Pelo carinho, amizade, e apoio depositados, além da companhia, melhor convívio, não poderia encontrar.

A um amigo de longa data, Ronney, que em todas as oportunidades cabíveis deixou claro que este trabalho deveria ser realizado.

Aos amigos, Myke, Diego e Mauro que sempre mantiveram seu incentivo para que eu retomasse e concluísse essa fase da minha vida, vocês sempre foram bons amigos.

Ao amigo Vinicius Oliveira, que sem sua ajuda a realização deste trabalho não teria sido possível. E pelas ótimas histórias vividas e longos papos de esquina, pela amizade e por ajudar a tornar a vida acadêmica muito mais divertida.

Ao professor Luiz Carlos Baldiciero Molion, pelo empenho, paciência e credibilidade, obrigada por tudo.

Por fim, não posso deixar de agradecer a Prof. Dr. Maria Luciene Dias de Melo, que aceitou ser a minha orientadora, mesmo após tantos anos e tantas idas e vindas, obrigada por tudo.

EPIGRAFE

AUTOPSILOGRAFIA

O poeta é um fingidor.
Finge tão completamente
Que chega a fingir que é dor
A dor que deveras sente.

E os que lêem o que escreve,
Na dor lida sentem bem,
Não as duas que ele teve,
Mas só a que eles não têm.

E assim nas calhas da roda
Gira, a entreter a razão,
Esse comboio de corda
Que se chama o coração.

(Fernando Pessoa)

SOUZA, Lincoln Oliveira. ANALISE DA UTILIZAÇÃO DO INDICE ONI NA PREVISIBILIDADE DE CHUVAS NO NORDESTE DO BRASIL. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, Brasil. Outubro, 2020. Orientador: Maria Luciene Dias de Melo, Dr.

RESUMO

Neste trabalho foi utilizado o índice oceânico Niño 3.4 (ONI), para o período de 1980 a 2020, tendo como objetivo principal avaliar a relação dos intervalos de fases positiva, neutra e negativa do ONI e a sua influência na variabilidade da precipitação no nordeste do Brasil. Para isso utilizou-se os dados de precipitação (P) da University of Delaware (UDEL). Segmentou-se o Nordeste do Brasil (NEB) em três regiões de interesse, “leste”, “centro-sul” e “Norte”. Optou-se por esse recorte por causa das condições específicas dos sistemas predominantemente causadores de chuvas em momentos distintos. O ONI é construído em trimestres, onde é utilizado o mês atual com os dois meses seguintes iniciando em dezembro. Foi realizado anomalias de P com o ONI positivo, negativo e neutro para determinar as anomalias positivas ou negativas de P. Ainda, foram realizadas correlações entre o ONI e o Niño 3.4 para os trimestres FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, OND e por último NDJ, com o índice Niño simultâneo e com o índice Niño liderando (“lead”) e um, dois e três trimestres. Buscando observar padrões que possam contribuir com as previsões de chuva na região, foi observado que de maneira geral, quando ocorrer La Niña, pode-se esperar anomalias de precipitação (P) acima da média na parte Norte e Leste do NEB. Entretanto, se ocorrer La Niña no trimestre de NDJ a precipitação em grande parte do NEB tende a ser em torno e/ou abaixo da média e se ocorrer El Niño, em torno e/ou acima da média. As correlações entre o Niño 3.4 e precipitação da UDEL se mostraram boas, ou seja, correlações que variaram de maneira geral em torno de 0,4, apresentando um nível de significância estatística das correlações acima de 95% na maioria das análises feitas no NEB, tanto com o índice simultâneo, como com o índice adiantado (lead) em um, dois ou três trimestres, o que significa dizer que o Niño 3.4 é um bom previsor para as chuvas de um a três trimestres de antecedência na maioria dos trimestres estudados, principalmente nos trimestres do início do ano (fevereiro, março e abril – FMA por exemplo).

Palavras chaves: Anomalia de precipitação; índice oceânico Niño (ONI); La Niña; El Niño.

SOUZA, Lincoln Oliveira. ANALYSIS OF THE USE OF THE ONI INDEX IN THE PREDICTABILITY OF RAINS IN NORTHEAST BRAZIL. Graduate Monography in Meteorology, Atmospheric Science Institute, Alagoas Federal University, Maceió – AL, Brazil. October, 2021. Adviser: Maria Luciene Dias de Melo, Dr.

ABSTRACT

In this work, the oceanic index Niño 3.4 (ONI) was used, for the period from 1980 to 2020, with the main objective of evaluating the relationship of the positive, neutral and negative phase intervals of the ONI and its influence on the rainfall variability in the northeast of the Brazil. For this, precipitation data (P) from the University of Delaware (UDEL) was used. The Northeast of Brazil (NEB) was segmented into three regions of interest, “East”, “Center-South” and “North”. Was chosen this cut because of the specific conditions of the systems that predominantly cause rainfall at different times. ONI is built in quarters, where the current month is used with the next two months starting in December. P anomalies were performed with ONI positive, negative and neutral to determine the positive or negative anomalies of P. Furthermore, correlations were performed between ONI and Niño 3.4 for the quarters FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, OND and finally NDJ, with the Niño index simultaneously and the Niño index leading and one, two and three quarters. Seeking to observe patterns that may contribute to rainfall forecasts in the region, it was observed that, in general, when La Niña occurs, precipitation anomalies (P) above average can be expected in the northern and eastern parts of the NEB. However, if La Niña occurs in the NDJ quarter the precipitation in much of the NEB tends to be around and/or below average and if El Niño occurs, around and/or above average. The correlations between Niño 3.4 and UDEL precipitation proved to be good, that is, correlations that generally ranged around 0.4, presenting a level of statistical significance of the correlations above 95% in most of the analyzes carried out in the NEB, with both the simultaneous index and the lead index in one, two or three quarters, which means that Niño 3.4 is a good predictor for rains one to three quarters in advance in most quarters studied, mainly in the quarters at the beginning of the year (February, March and April – FMA, for example).

Keywords: Precipitation anomaly; Niño oceanic index (ONI); La Niña; El Niño.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Circulação observada no Oceano Pacífico equatorial em anos normais. Célula de Walker. Fonte: CPTEC/INPE..... | 03 |
| Figura 2a: Condições de El Niño. Fonte: CPTEC/INPE..... | 04 |
| Figura 2b: Condições de La Niña. Fonte: CPTEC/INPE..... | 04 |
| Figura 3: Serie temporal do Índice Multivariado do ENOS, adaptada de WOLTER e TIMLIN, 1998..... | 06 |
| Figura 4a: Padrão do comportamento da TSM na fase negativa da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA..... | 07 |
| Figura 4b: Padrão do comportamento da TSM na fase positiva da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA..... | 07 |
| Figura 5: Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico (MANTUA et. al, 1997)..... | 08 |
| Figura 6: Formação da brisa marítima durante o dia e da brisa terrestre em direção ao oceano, durante a noite. Fonte: NDU..... | 15 |
| Figura 07: Área de estudo..... | 21 |
| Figura 08a: Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em FMA. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 23 |
| Figura 08b: Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em FMA. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 23 |
| Figura 08c: Anomalia de Precipitação em anos neutros em FMA. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 24 |
| Figura 09a: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 25 |
| Figura 09b: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 1 trimestre adiantado em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 25 |

| | |
|--|----|
| Figura 10a: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 2 trimestres adiantado em relação a P (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 26 |
| Figura 10b: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 3 trimestres adiantado em relação a P (novembro, dezembro e janeiro – NDJ). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 26 |
| Figura 11a: Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em MAM. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 27 |
| Figura 11b: Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em MAM. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 27 |
| Figura 11c: Anomalia de Precipitação em anos neutros em MAM. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 27 |
| Figura 12a: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 28 |
| Figura 12b: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 1 trimestre adiantado em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 28 |
| Figura 13a: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 2 trimestres adiantados em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 29 |
| Figura 13b: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 3 trimestres adiantados em relação a P (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 29 |
| Figura 14a: Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em AMJ. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 30 |
| Figura 14b: Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em AMJ. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 30 |
| Figura 14c: Anomalia de Precipitação em anos neutros em AMJ. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 30 |

- Figura 15a:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo em relação a P (março, abril e maio – MAM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 31
- Figura 15b:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 1 trimestre adiantado em relação a P (março, abril e maio – MAM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 31
- Figura 16a:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 2 trimestres adiantado em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 32
- Figura 16b:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 3 trimestres adiantado em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 32
- Figura 17a:** Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em MJJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 33
- Figura 17b:** Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em MJJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 33
- Figura 17c:** Anomalia de Precipitação em anos neutros em MJJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 33
- Figura 18a:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo em relação a P (abril, maio e junho – AMJ). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 34
- Figura 18b:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 1 trimestre adiantado em relação a P (abril, maio e junho – AMJ). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>. 34
- Figura 19a:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 2 trimestres adiantado em relação a P (março, abril e maio – MAM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 35
- Figura 19b:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 3 trimestres adiantado em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 35

| | |
|---|----|
| Figura 20a: Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em JJA. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 36 |
| Figura 20b: Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em JJA. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 36 |
| Figura 20c: Anomalia de Precipitação em anos neutros em JJA. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 36 |
| Figura 20d: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 36 |
| Figura 21a: Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em OND. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 35 |
| Figura 21b: Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em OND. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 37 |
| Figura 21c: Anomalia de Precipitação em anos neutros em OND. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 37 |
| Figura 22a: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo em relação a P (setembro, outubro e novembro – SON). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 38 |
| Figura 22b: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 1 trimestre adiantado em relação a P (setembro, outubro e novembro – SON). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 38 |
| Figura 23a: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 2 trimestres adiantado em relação a P (agosto, setembro e outubro – ASO). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 39 |
| Figura 23b: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 3 trimestres adiantado em relação a P (julho, agosto e setembro – JAS). Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 39 |
| Figura 24a: Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em NDJ. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 40 |
| Figura 24b: Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em NDJ. Fonte dos dados: https://psl.noaa.gov/ | 40 |

- Figura 24c:** Anomalia de Precipitação em anos neutros em NDJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 40
- Figura 25a:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo em relação a P (outubro, novembro e dezembro – OND). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 41
- Figura 25b:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 1 trimestre adiantado em relação a P (outubro, novembro e dezembro – OND). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 41
- Figura 26a:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 2 trimestres adiantado em relação a P (setembro, outubro e novembro – SON). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 42
- Figura 26b:** Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice 3 trimestres adiantado em relação a P (agosto, setembro e outubro – ASO). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>..... 42

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: composição dos meses utilizado em cada sigla do ONI..... | 18 |
| Tabela 2: Períodos quentes (vermelho) e frio (azul) com base em um limite de +/- 0,5 o C para o Índice de Niño Oceânico (ONI) [média contínua de 3 meses das anomalias de TSM ERSST.v5 na região de Niño 3.4 (5 o N-5 o S, 120 o -170 o W)]..... | 22 |
| Tabela 3: Graus de liberdade e os níveis de significância dos coeficientes de correlação. Fonte: Adaptada de https://psl.noaa.gov/data/correlation/significance.html | 24 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|---|
| AMJ | Abril, Maio e Junho |
| AS | Atlântico Sul |
| ASO | Agosto, Setembro e Outubro |
| AT | Atlântico Tropical |
| CGA | Circulação Geral da Atmosfera |
| DJF | Dezembro, Janeiro e Fevereiro |
| ENOS | Niño Oscilação Sul |
| ESRL | Earth Reserarch Laboratory |
| FA | Fase Quente |
| FF | Fase Fria |
| FMA | Fevereiro, Março e Abril |
| JAS | Julho, Agosto e Setembro |
| JFM | Janeiro, Fevereiro e Março |
| JJA | Junho, Julho e Agosto |
| MAM | Março, Abril e Maio |
| MJJ | Maio, Junho e Julho |
| NCAR | National Center for Atmospheric Research |
| NCEP | National Centers for Environment Prediction |
| NDJ | Novembro, Dezembro e Janeiro |
| NEB | Nordeste Brasileiro |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |

| | |
|-------|--|
| OMJ | Oscilação Madden Julian |
| OND | Outubro, Novembro e Dezembro |
| ONI | Índice do ENOS |
| OS | Oscilação Sul |
| P | Precipitação |
| PNM | Pressão ao Nível do Mar |
| POAs | Perturbações Ondulatórias nos Alísios |
| SON | Setembro, Outubro e Novembro |
| TSM | Temperatura da superfície do mar |
| VCANs | Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis |
| ZCAS | Zona de convergência da América do Sul |
| ZCIT | Zona de Convergência Intertropical |

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA..... | IV |
| AGRADECIMENTOS | V |
| EPIGRAFE | VI |
| RESUMO | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| LISTA DE FIGURAS | IX |
| LISTA DE TABELAS | XIV |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | XV |
| SUMÁRIO..... | XVII |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA | 2 |
| 2.1 A Influência do Oceano Pacífico no Clima | 2 |
| 2.1.1 El Niño-Oscilação Sul (ENOS) | 2 |
| 2.1.1.1 Índice Multivariado do ENOS (IME)..... | 5 |
| 2.1.1.2 Efeitos do El Niño/La Niña no Nordeste do Brasil (NEB) | 6 |
| 2.1.2 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)..... | 7 |
| 2.1.3 Sistemas atmosféricos que influenciam no clima do Nordeste do Brasil (NEB).... | 8 |
| 2.1.4 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)..... | 9 |
| 2.1.5 Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) | 11 |
| 2.1.6 Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POAs)..... | 12 |
| 2.1.7 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) | 13 |
| 2.1.8 Sistemas Frontais | 14 |
| 2.1.9 Brisas Marítima e Terrestre | 15 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 3.1 Dados | 16 |
| 3.2 Sobre os dados | 16 |
| 3.2.1 Interpolação espacial e preenchimento de falhas | 17 |
| 4 METOLOGIA | 19 |
| 4.1 Índice do Oceanic Niño Index (ONI) | 19 |
| 4.2 Área de estudo | 20 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1 Correlação entre precipitação e Niño 3.4 | 21 |
| 4.3 Softwares Utilizados..... | 22 |
| 5 RESULTADOS | 23 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 43 |
| 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 45 |

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos são um dos grandes controladores do clima do planeta. E, certamente, a variabilidade das chuvas no Nordeste no Brasil deve ser influenciada por variações na temperatura superficial do mar.

O Nordeste Brasileiro (NEB) está submetido a adversidades climáticas que afetam a precipitação sobre a região, com uma alta variabilidade espacial e temporal dos totais pluviométricos. Segundo Molion e Bernardo (2002), tal variabilidade pode ser descrita em três regiões básicas: o norte do NEB com precipitação que varia de 400mm/ano (interior) a mais de 2000mm/ano (litoral), com os meses mais chuvosos de fevereiro a maio (FMAM); a região sul do NEB com precipitação variando entre 600mm/ano a 3000mm/ano, com período mais chuvoso compreendido entre os meses de novembro a fevereiro (NDJF); o leste do NEB, que tem sua precipitação variando entre 600 a 2500mm/ano, e o período mais chuvoso vai de abril a julho (AMJJ). Essa variação no regime de chuvas na região é consequência da atuação de diversos sistemas sinóticos, tais como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POAs), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), Sistemas Frontais e Brisas Marinha e Terrestre. Dentre os vários fatores que condicionam o regime pluviométrico no semi-árido nordestino, tem-se a presença de sistemas sinóticos de escalas temporal e espacial distintas, que por sua vez, têm um papel fundamental na qualidade da estação chuvosa local. Por conseguinte, nas escalas interanual e interdecadal, a interação dos sistemas de escala global com os de escalas menores, promove totais pluviométricos acima e/ou abaixo da média climatológica. Um fator que pode atuar significativamente na climatologia e hidrologia, tanto aos níveis regionais quanto globais, é o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que é um fenômeno interanual e afeta o tempo e o clima em diversos locais do planeta, incluindo o Brasil, envolvendo interações oceânicas e atmosféricas associadas a alterações na circulação de Walker no Pacífico (PHILANDER, 1990; NEELIN et al., 1998). O objetivo deste trabalho foi determinar uma relação entre o ONI 3.4 e as anomalias de precipitação (P) nos três setores do NEB a fim de contribuir com a previsão da precipitação (P) em relação a média esperada para o período com até 3 meses de antecedência.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 A Influência do Oceano Pacífico no Clima

O papel dos oceanos é importante não somente pelo imenso reservatório de água, mas principalmente pelo controle climático, através da redistribuição de calor sobre o planeta. A variação da TSM influencia consideravelmente o clima no planeta. Espera-se que uma variação de meso e grande escala ocasione condições climáticas significativas, nas quais são destacados a seguir os principais fenômenos associados à variação de TSM do Oceano Pacífico (BEZERRA, 2006).

2.1.1 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

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

A componente atmosférica do fenômeno ENOS, a Oscilação Sul (OS), pode ser caracterizada por meio do Índice de Oscilação Sul (IOS) que expressa a intensidade e a fase do fenômeno. Esse índice é calculado baseado na diferença mensal ou sazonal da Pressão ao Nível do Mar (PNM) entre o Pacífico Central (Tahiti) e o Pacífico Oeste (Darwin/Austrália). Um dos métodos utilizados para o cálculo do IOS é o de Troup, que é a anomalia padronizada da diferença da PNM, entre Tahiti e Darwin, calculado com a seguinte fórmula:

$$IOS = \frac{[Pdif - Pdifmed]}{DP(Pdif)}$$

Para a qual:

$Pdif =$ (média mensal da PNM em Tahiti) - (média mensal da PNM em Darwin)

$Pdifmed =$ Média climatológica do $Pdif$ para o mês em questão

$DP(Pdif) =$ Desvio Padrão dos dados climatológicos para o $Pdif$ do mês em questão.

A multiplicação por 10 é uma convenção. Usando essa convenção, o alcance do IOS varia de -35 a $+35$, e o valor do IOS pode ser cotado como um número inteiro.

A componente oceânica é representada pelo evento El Niño/La Niña, nome dado ao aquecimento/resfriamento anormal das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Equatorial Central e Leste (RASMUSSON e CARPENTER, 1982). A OS apresenta anomalias climáticas extremas que estão relacionadas com as (FF) Fase Quente e (FQ) Fase Fria do ENOS (PHILANDER, 1990).

Na Figura 1, observa-se as condições atmosféricas e oceânicas sobre o Oceano Pacífico, observado em anos considerados normais, ou seja, quando o El Niño ou La Niña não são detectados, indicando águas superficiais relativamente mais aquecidas no Pacífico Equatorial Oeste, próximo à costa australiana e região da Indonésia, e relativamente mais frias junto à costa oeste da América do Sul. Nestas circunstâncias, o ar sobe devido à água quente (áreas de baixa pressão), ocorrendo fortes chuvas sobre essa região, descendo sobre o oceano (área de alta pressão) nas proximidades da costa sul-americana, onde as chuvas são escassas. Esse movimento do ar das áreas de alta pressão para as de baixa pressão atmosférica sobre o Pacífico Equatorial é denominado “Célula de Walker” (BEZERRA, 2006).

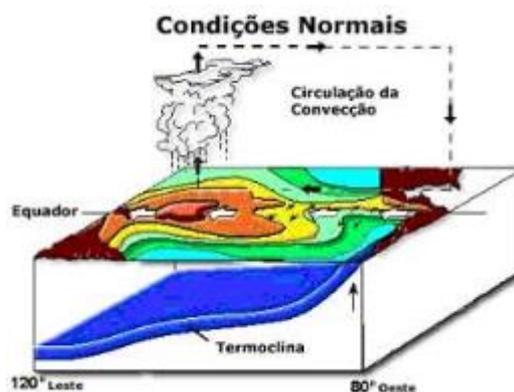


Figura 1: Circulação observada no Oceano Pacífico equatorial em anos normais. Célula de Walker. Fonte: CPTEC/INPE.

Na presença do El Niño (Figura 2a), a intensidade dos ventos alísios diminui. Sem a força dos alísios, o acúmulo de água aquecida no lado oeste do Pacífico espalha-se pelo Oceano Pacífico Equatorial Central, chegando até o litoral Peruano, tornando a termoclina da região mais profunda. Na Austrália, as áreas onde havia bastante chuva

passam a ser observadas secas, enquanto que as chuvas que deveriam estar precipitando são verificadas sobre o oceano, nas proximidades da Polinésia. Ao mesmo tempo, as chuvas que eram observadas próximo ao litoral sul-americano adentram o continente e passam a cair no interior do Peru. O ar que sobe provocando as precipitações no Peru vai descer seco exatamente na região litorânea do NEB, diminuindo as chuvas nessa região. Já em anos de La Niña, as TSMs durante o episódio diminuem para cerca de 2° a 3°C da média climatológica. Os ventos alísios são mais intensos que a média climatológica; com isso, as águas irão ficar “represadas” no Pacífico Equatorial Oeste, portanto as águas mais quentes geram evaporação e, conseqüentemente, movimentos ascendentes, que, por sua vez, provocam nuvens de chuva e que geram a célula de Walker, que, em anos de La Niña, fica mais alongada que o normal, e o desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental irá aumentar (Figura 2b).

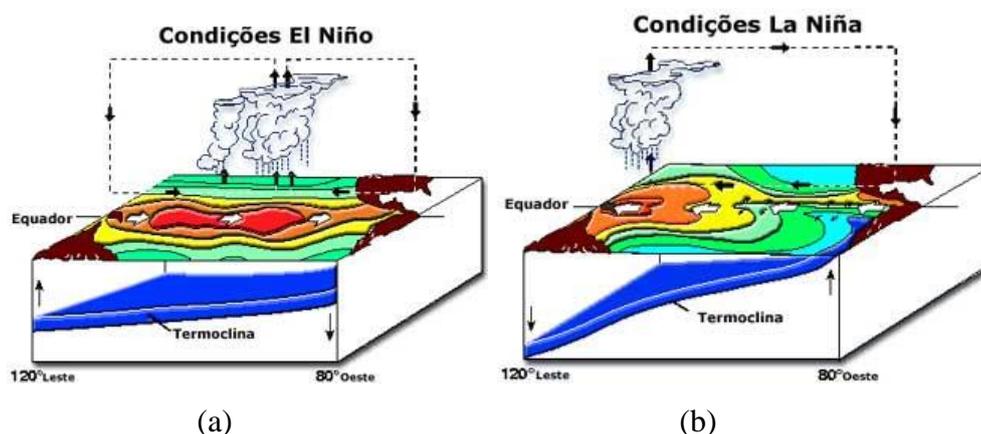


Figura 2: Condições de (a) El Niño e (b) La Niña. Fonte: CPTEC/INPE.

Durante a fase negativa da OS (El Niño), tanto a alta do Pacífico Sudeste como a baixa da Indonésia enfraquecem e o gradiente de pressão zonal desaparece, ocasionando o enfraquecimento dos alísios na zona equatorial. Esse enfraquecimento dos ventos alísios incita ondas oceânicas de Kelvin equatoriais, que se deslocam para extremidade leste do Pacífico em um período de 2-3 meses, onde se manifestam no aquecimento da superfície oceânica, atingindo um pico máximo, aproximadamente em março-abril na marcha anual (HASTENRATH, 1985). Ao mesmo tempo, esse enfraquecimento do campo de ventos força uma onda de Rossby, fora dos trópicos, que se deslocam para oeste do Pacífico seis meses depois. À medida que a onda de Kelvin se propaga, eleva o nível do mar e

aprofunda a termoclina no leste do Pacífico, enquanto a onda de Rossby tem o efeito oposto, restabelecendo a termoclina. Essa é uma das possíveis gênese de um evento El Niño e a condição que precede o evento da onda de Kelvin parece ser o acúmulo de águas anormalmente quentes entre 150-250m de profundidade no Pacífico Ocidental (CAVALCANTI, 2002).

A Circulação de Walker na atmosfera ao longo do Pacífico Equatorial se desintensifica, manifestada no enfraquecimento dos ventos alísios e dos ventos superiores de Oeste. A convecção também é reduzida, assim como a precipitação e movimentos ascendentes sobre o dipolo da Indonésia (ANDRADE, 2007).

Investigando o padrão de precipitação em escala regional e global que tinha associação com o ENOS, Ropelewski e Halpert (1987) observaram que quatro regiões na Austrália, duas na América do Norte, duas na América do Sul, duas na Índia, duas na África, e uma na América Central, apresentavam variações no padrão de precipitação associadas a esse fenômeno. Sobre o Brasil, estudos indicaram que existem três áreas de atuação do El Niño, nas regiões do semiárido do NEB, norte e leste da Amazônia e sul do Brasil. O norte e leste da Amazônia junto com o NEB são afetados pela diminuição da precipitação.

2.1.1.1 Índice Multivariado do ENOS (IME)

O monitoramento do ENOS é feito fundamentando o Índice Multivariado do ENOS (IME) nas seis variáveis principais observadas no Pacífico Tropical. Estas seis variáveis, computadas pelo COADS (Comprehensive Ocean – Atmosphere Data Set), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), são: (PNM) componente zonal e meridional do vento em superfície e (TSM) temperatura do ar em superfície e uma fração de nebulosidade. O IME é computado separadamente para cada um dos doze meses do ano e pode ser expresso como médias bimestrais (Dez-Jan, Jan-Fev,..., Nov-Dez). Este índice é calculado usando a primeira Componente Principal (CP) não rotacionado de todos os seis campos observados e combinados. Inicialmente, é normalizada a variação total de cada campo, e depois, é executada a extração do primeiro CP na matriz de covariância dos campos combinados. Os valores negativos do IME representam a FF do ENOS (La Niña), e os valores positivos representam a FQ do ENOS (El Niño) (LOPES, 2006).

A Figura 3 reproduz a variação com o tempo do IME, descrito e elaborado por Wolter e Timlin (1998). Os números positivos (negativos) mostram as intensidades dos El Niños (La Niñas). Nota-se a predominância de eventos La Niña no período 1950 a 1976, em contraste com a alta frequência de eventos severos de El Niño entre 1977 e 1998.

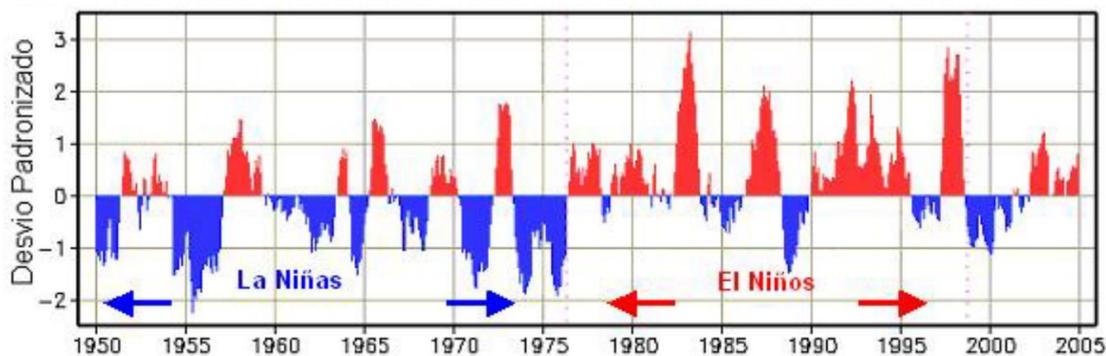


Figura 3: Serie temporal do Índice Multivariado do ENOS, adaptada de WOLTER e TIMLIN, 1998.

2.1.1.2 Efeitos do El Niño/La Niña no Nordeste do Brasil (NEB)

Em algumas regiões dos trópicos, as variações na precipitação têm sido relacionadas com o ENOS. Uma dessas regiões é o NEB, onde a redução da precipitação na estação chuvosa tem sido relacionada com o El Niño. A conexão do ENOS com o NEB ocorre através da circulação atmosférica, sendo atribuída a um deslocamento para leste da circulação de Walker com movimentos ascendentes anômalos (aumento da convecção) sobre o Pacífico Equatorial Central e Leste e movimentos descendentes (inibição da convecção) sobre o Atlântico Tropical e a área continental do NEB (HASTENRATH, 1976; KOUSKY *et al.*, 1984; KAYANO *et al.*, 1988; ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; KILADIS e DIAZ, 1989; RAO e HADA, 1990). Padrões anômalos contrários da circulação atmosférica, TSM, precipitação no NEB são observados em episódios de La Niña (KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989; KAYANO e ANDREOLI, 2004). Em anos de El Niño, no NEB, ocorre uma diminuição das chuvas. Algumas áreas do sertão nordestino podem ficar sem nenhum registro de chuva, nos meses de estiagem e nos meses em que poderia ser observada chuva não há chuva. Sendo assim, as secas podem durar até dois anos em períodos de El Niño. Mas os períodos de estiagem não se limitam apenas ao sertão. Até mesmo, no litoral, é observada uma grande deficiência de chuva. Já em

episódios do La Niña, o principal efeito no NEB é a chegada das frentes frias até esta região, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas; em geral, podem ocorrer chuvas acima da média na região semi-árida do NEB (BEZERRA, 2006).

2.1.2 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

Semelhante ao ENOS, a ODP é uma flutuação da TSM do Oceano Pacífico, porém apresenta uma configuração com variações de prazo mais longo, variando em uma escala de tempo interdecadal. As TSMs tornam-se mais frias e mais quentes a cada 20 a 30 anos, enquanto nos eventos ENOS persistem por cerca de 6 a 18 meses (MANTUA *et al.*, 1997). Da mesma forma que o ENOS, a ODP apresenta duas fases. A FF (Figura 4a) é caracterizada por anomalias negativas de TSMs no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSMs positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios. Já a FQ (Figura 4b), apresenta configuração contrária, com anomalias de TSMs positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical (MOLION, 2005). Para medir a fase e a intensidade da ODP, utiliza-se um índice definido por Mantua *et al.* (1997), o Índice de Oscilação Decadal do Pacífico (IODP). Este índice baseia-se na CP do primeiro modo da análise de funções ortogonais empíricas das anomalias das TSMs ao norte de 20°N no Pacífico (SILVA, 2006). A última FF ocorreu no período de 1947-1976, e a FQ se estendeu de 1977-1998 (Figura 5)

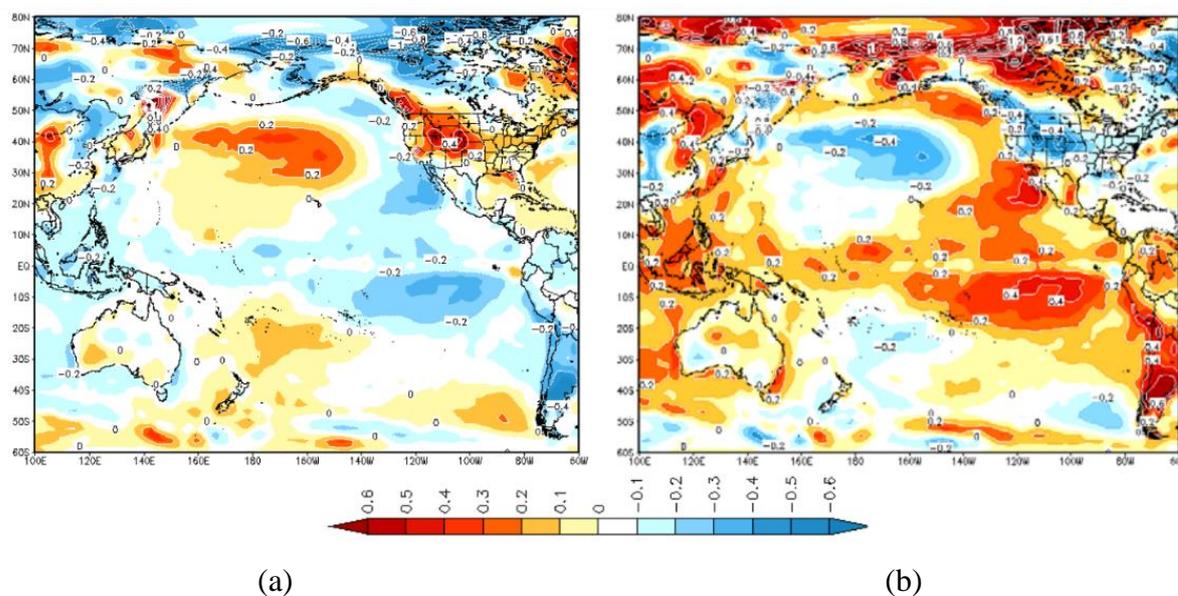


Figura 4: Padrão do comportamento da TSM nas fases (a) negativa e (b) positiva da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

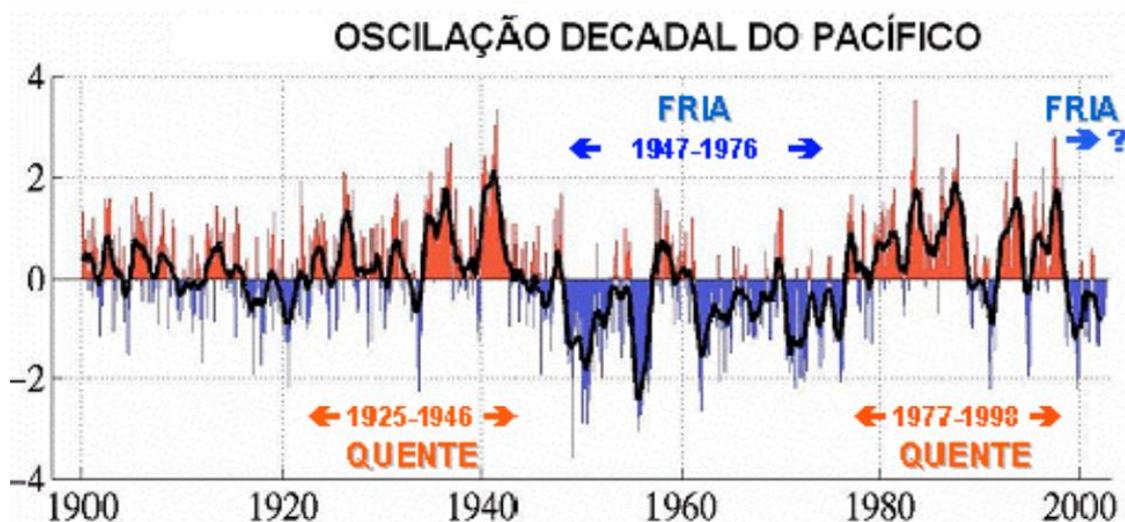


Figura 5: Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico (MANTUA *et. al*, 1997).

2.1.3 Sistemas atmosféricos que influenciam no clima do Nordeste do Brasil (NEB)

O NEB, situado na faixa tropical, aproximadamente entre 1°S e 18°S e 35°W e 47°W, está submetido a adversidades climáticas, as quais, interagindo entre si, conferem-lhe características climáticas peculiares que afetam a precipitação sobre a região, e estão relacionadas com uma alta variabilidade espacial e temporal dos totais pluviométricos. Essa variação no regime de chuvas na região é consequência da atuação de diversos sistemas sinóticos, tais como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Sistemas Frontais e Brisas Marinha e Terrestre. Por conseguinte, nas escalas interanual e interdecadal, a interação dos sistemas de escala global com os de escalas menores promove totais pluviométricos acima e/ou abaixo da média climatológica.

2.1.4 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT é formada a partir da interação entre a confluência dos ventos alísios, região do cavado equatorial, região de máxima TSM e de máxima convergência de massa (UVO, 1989). A confluência dos ventos de nordeste e sudeste originados dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e do Atlântico Sul caracteriza uma região de baixa pressão atmosférica, de convecção profunda e intensa nebulosidade, associada aos altos índices pluviométricos. Essa estreita banda de convergência dos ventos alísios e fluxo de umidade se estendem pela bacia oceânica inteira, com uma orientação, na sua maior parte, de sudoeste para nordeste, definindo a ZCIT (HASTENRATH, 1985). O posicionamento da ZCIT é de extrema importância na definição da qualidade da quadra chuvosa sobre o setor norte do NEB. Contudo, é fato que aspectos meteorológicos em escala global podem acentuar ou inibir o desempenho de sistemas principais como a ZCIT. A ZCIT influencia nas precipitações observadas sobre os continentes africano, americano e asiático (FERREIRA, 1996) e (Frierson et al. 2013). Na escala planetária, a ZCIT está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley, atuando no sentido de transferir calor sensível e latente dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais, para os níveis superiores da troposfera (energia potencial) e para as médias e altas latitudes, através da subsidência sobre a região do cinturão de alta pressão subtropical, contribuindo para manutenção do balanço térmico global (HASTENRATH, 1985). Na ZCIT, predominam convergências na baixa troposfera, movimentos ascendentes na média troposfera, divergência na alta troposfera, bem como água precipitável concentrada em sua região durante o ano todo (CURTIS e HASTENRATH, 1999), havendo interação de diferentes sistemas tais como: a zona de confluência dos ventos alísios, zona do cavado equatorial, zona de máxima TSM e a zona de máxima convergência e cobertura de nuvens convectivas (UVO, 1989). Esses sistemas localizam-se mais ao norte do equador geográfico, resultando de assimetrias climáticas proeminentes sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical decorrente da interação oceano-atmosfera e da desigual distribuição dos continentes (PHILANDER *et al.*, 1996). Os sistemas que interagem para produzir a ZCIT também possuem um deslocamento conjunto meridional no ciclo anual, decorrente do deslocamento relativo do sol entre os trópicos. Em sua marcha anual, a ZCIT alcança sua posição mais ao norte, aproximadamente 15°N, durante o verão boreal, e a sua posição mais ao sul, aproximadamente 5°S, durante o mês de abril (CITEAU *et al.*, 1988, HASTENRATH e HELLER, 1977, HASTENRATH e LAMB, 1977, HASTENRATH,

1985) bem como sofre variações sazonais com referência a sua posição geográfica, permanecendo perto do equador geográfico nas longitudes predominantemente oceânicas, tais como os Oceanos Pacífico e Atlântico e mostrando somente pequenas variações sazonais (BARAI, 2005). Seu posicionamento está associado à nebulosidade e a estação chuvosa na região Norte do Brasil. Sobre o continente, a ZCIT migra com a latitude em função da estação do ano, à medida que aumenta o aquecimento solar sobre a superfície (FISCH *et al.*, 1999). Diferentes variáveis físicas são usadas com a finalidade de se fazer um estudo da localização da ZCIT, como a cobertura de nuvens, componente meridional do vento nos baixos níveis e PNM. Estoque e Douglas (1978), analisando a estrutura vertical da ZCIT, observaram uma variação de acordo com a zona do cavado equatorial, e consideraram como variável representativa da ZCIT, a região de máxima nebulosidade. Segundo Mendes *et al.* (2000, 2001), a temperatura de brilho e Radiação de Onda Longa (ROL) são duas das mais importantes ferramentas para se obter o posicionamento médio da ZCIT. Existem duas teorias que buscam explicar as causas da formação da ZCIT. A teoria térmica da Circulação Geral da Atmosfera, que atribui a formação desse sistema ao aquecimento da superfície na região do equador, e a teoria dinâmica que diz que a convergência dos ventos alísios provoca a convergência do ar e movimentos ascendentes sobre o equador como a resposta dos processos de formação das famílias dos ciclones e anticiclones nas regiões polares (FEDOROVA, 2001). No NEB, em anos chuvosos, onde também se observa chuva acima da média sobre a Amazônia e Atlântico Equatorial, a ZCIT permanece ao sul de suas posições latitudinais médias até abril, enquanto, em anos de seca, a ZCIT retorna ao Hemisfério Norte em março. Além disso, há evidências observacionais de que os mecanismos responsáveis pelo deslocamento latitudinal da ZCIT estejam associados a uma cadeia de processos de interação entre o oceano e a atmosfera, envolvendo o acoplamento lateral com distúrbios atmosféricos extratropicais de ambos os hemisférios. Esses contribuem para o aparecimento de anomalias de TSM ao norte e ao sul do equador com sinais opostos, formando, assim, um gradiente meridional de anomalias de TSMs, responsável pelo deslocamento e permanência da ZCIT mais para o sul ou para o norte (FEDOROVA, 2001).

2.1.5 Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS)

Difundida como Zona de Convergência do Atlântico Sul, embora se posicione sobre o continente, (sugerindo-se, a aplicação de termo mais conveniente - Zona de Convergência da América do Sul), essa zona tem sido subjetivamente definida como uma banda de nebulosidade convectiva, que se estende de noroeste a sudeste sobre a América do Sul e mostra uma interação entre sistemas tropicais e extratropicais. Sua área de atuação engloba o centro sul da Bacia Amazônica, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e se prolonga até o Oceano Atlântico Sudoeste. É usualmente identificada pela convergência de umidade na baixa troposfera, penetração de ar frio ao sul da banda de nebulosidade; presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, associado a movimentos ascendentes e orientado na direção noroeste-sudeste em 500hPa; pela presença da Alta da Bolívia em altos níveis e um cavado sobre a região NEB e, em determinadas situações, um vórtice ciclônico e uma faixa de vorticidade anticiclônica em altos níveis, (KODAMA 1992, QUADRO, 1994, SANCHES e SILVA DIAS, 1996). Oliveira (1986), através de uma climatologia usando imagens de satélites geostacionários entre 1979-1984, notou que os sistemas frontais, frequentemente se associam e interagem com convecção tropical, embora nem todos os sistemas frontais o façam com a mesma intensidade. Há uma variação mensal no número de eventos de associação de sistemas frontais com a convecção. Para haver forte interação entre os sistemas frontais e a convecção, parece ser necessário que os sistemas frontais apresentem ampla penetração continental, sendo a região entre 15°S e 25°S uma das regiões preferenciais para essas ocorrências. Durante o período de primavera-verão no Hemisfério Sul, sistemas frontais posicionam-se, preferencialmente, sobre a parte central do continente sul-americano, com seu eixo no sentido noroeste-sudeste, de inclinação variável, associados a uma zona de convergência de umidade que, posteriormente, foi denominada de Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) (MOLION e BERNARDO, 2002). A formação da ZCAS depende tanto de forçantes locais quanto remotas. Está associada com a convecção na região Amazônica e Brasil Central e com a disponibilidade de umidade e baroclinicidade (FIGUEROA *et al.*, 1995). Quanto aos fatores remotos, Casarin e Kousky (1986) mostraram que a convecção na região centro-oeste do Pacífico, especificamente na Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), implicava uma posterior intensificação da ZCAS, sugerindo um mecanismo de propagação do tipo Oscilação Madden Julian (OMJ). Diversos podem ser os fatores

locais, porém o único consenso parece ser quanto ao papel da convecção na região Amazônica. Em um estudo observacional das zonas de convergência sub-tropicais, Kodama (1993) mostrou que essas zonas aparecem somente quando duas condições de grande escala são satisfeitas: o escoamento de ar quente e úmido, em baixos níveis, em direção às altas latitudes e um Jato Subtropical (JST), em altos níveis, fluindo em latitudes subtropicais. O escoamento em baixos níveis intensifica a convergência do fluxo de umidade enquanto, combinado com o JST, intensifica a frontogênese no campo da temperatura potencial equivalente, influenciando na geração da instabilidade convectiva (HURRELL e VINCENT, 1991). Para Molion (2004), a ZCAS se forma quando a Alta da Bolívia (processo termodinâmico) já está bem desenvolvida e ocorre a penetração de um sistema frontal (processo dinâmico) que se acopla a Alta da Bolívia e fica “ancorado”, amplificando a atividade convectiva sobre a região. Existem, ainda, outros mecanismos que estão sendo sugeridos para explicar a ocorrência da ZCAS, como, por exemplo, a interação oceano-atmosfera na zona de confluência entre a Corrente das Malvinas e a Corrente do Brasil (NOBRE, 1988), e as interações não-lineares entre as diversas escalas de fenômenos atmosféricos. No entanto, esses mecanismos ainda não foram comprovados em estudos.

2.1.6 Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POAs)

Os ventos alísios originam-se no centro das altas subtropicais nos dois hemisférios, fluem para oeste em direção ao equador e confluem na zona do cavado equatorial, constituindo, na escala planetária, o ramo baixo da circulação de Hadley. Ocupam, aproximadamente, metade da superfície do globo, funcionando como acumuladores e exportadores de calor sensível e latente, colhido da superfície oceânica e exportado para regiões extratropicais. Frequentemente, esse sistema de ventos alísios sofre perturbações provocadas principalmente pela incursão de sistemas frontais tanto do Hemisfério Norte como do Hemisfério Sul, gerando distúrbios ondulatórios, conhecidos como POAs. As POAs são mecanismos de mesoescala que se propagam para oeste com velocidade de 6° a 8° de longitude/dia, porém não há condições de se desenvolverem sobre o oceano, devido à forte inversão de temperatura e umidade, sempre presente no campo dos alísios, e, geralmente, se intensificam quando chegam à costa da América do Sul, devido ao aumento da convergência do fluxo de umidade e ao contraste térmico entre o continente e o oceano (ANDRADE, 2007). A penetração de sistemas frontais do

Hemisfério Norte em latitudes equatoriais, sobre o Atlântico Norte ou sobre o continente africano, principalmente em anos de La Niña, no período de novembro-abril, e a penetração de sistemas frontais do Hemisfério Sul em latitudes equatoriais sobre o Atlântico Sul, no período de maio-agosto, são os principais mecanismos causadores dos distúrbios nos alísios. Quando essas perturbações entram em fase com a brisa marinha, elas chegam a penetrar 300km para o interior do continente. Se confluírem com a brisa terrestre, podem se intensificar sobre a costa e causar tempestades, com totais pluviométricos superiores a 50mm/dia e rajadas de vento superiores a 50km/h (MOLION e BERNARDO, 2002). As POAs também se originam, quando a ZCIT se encontra com uma atividade acima da normal, favorecendo a formação de grandes complexos convectivos, com rajadas descendentes, com massas de ar de características termodinâmicas distintas, que funcionam como mini-sistemas frontais gerando novas células e perturbação nos alísios (MOLION, 1987). As POAs existem praticamente o ano todo, porém, dependendo do período em que se propagam e do seu tipo de formação, apresentam características distintas e variações em seu comprimento de onda (ANDRADE, 2007).

2.1.7 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs)

Os VCANs formam-se sobre o Atlântico Sul, principalmente durante o verão do Hemisfério Sul, e apresentam máxima ocorrência no mês de janeiro. É um sistema de baixa pressão em grande escala, formado na alta troposfera, cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que a sua periferia (GAN, 1983). De acordo com sua origem e formação, dois tipos de vórtices foram estabelecidos: de Palmén e de Palmer (FRANK, 1970). O tipo Palmer se origina nos trópicos, enquanto que o tipo Palmén origina-se nos subtropicais (PALMER, 1951).

2.1.8 Sistemas Frontais

Os sistemas frontais são um dos sistemas sinóticos mais importantes sobre a América do Sul. Tais sistemas são ativos durante o ano todo, e podem penetrar até latitudes tropicais, sendo partes fundamentais nos regimes de precipitação e temperatura em quase todo o continente (LEMOS e CALBETE, 1996; QUADRO *et al.*, 1996). Kousky (1979) e Kousky e Ferreira (1981) mostraram que penetrações de sistemas frontais em latitudes baixas também produzem um efeito pronunciado na atividade convectiva da faixa tropical da América do Sul. Quando as frentes frias entram no continente sul americano, elas geralmente apresentam dois tipos de deslocamento: desloca-se para leste, trajetória que só modifica o tempo no sul do continente, ou se deslocam com uma componente para norte (nordeste) e que, nesse caso, modificam o tempo em todo o continente sul americano, frequentemente chegando até latitudes tropicais com intensidade considerável (LEMOS e CALBETE, 1996). Segundo Oliveira (1986), vários fatores, como, por exemplo, a existência de uma alta pressão no Brasil Central e a intensificação do jato podem contribuir para que as frentes frias não atinjam as latitudes de 35°-25°S. No verão, alguns sistemas podem permanecer semi-estacionários sobre a região Sudeste, configurando, assim, a ZCAS. Algumas frentes frias, porém, atingem o NEB e se deslocam para o oceano, onde, posteriormente, ocorre uma frontólise. Oliveira (1986) observou também que na faixa latitudinal de 35°S-25°S há uma redução do número de eventos, mas o máximo ainda ocorre em julho (7,7). No entanto, a máxima interação entre sistemas frontais e a convecção tropical é no mês de novembro. Para os sistemas que atingem as latitudes de 25°S-20°S, o máximo se dá em outubro (5 casos). As frentes que ultrapassam 20°S rumo ao nordeste são menos frequentes, no entanto, na maior parte das vezes, estão associadas com a convecção tropical na Amazônia, com o máximo ocorrendo em novembro. Notou-se, também, que a trajetória dos sistemas frontais, quando se encontravam ao sul de 40°S era mais zonal. Entre 35°S e 40°S, algumas frentes ganham trajetória mais meridional e atingem as latitudes mais baixas, enquanto outras seguem zonalmente.

2.1.9 Brisas Marítima e Terrestre

O ar em movimento, devido ao aquecimento e arrefecimento da superfície terrestre, forma-se, respectivamente, das zonas de baixas e altas pressões nas várias escalas espaciais. Para equilibrar essas diferenças de pressão, o ar se desloca de uma alta para uma baixa pressão, dando origem ao que chamamos de vento (BORBA, 2005). Os sistemas de ventos locais resultam do aquecimento e resfriamento diferenciais que se estabelecem entre a terra e a água. Frequentemente se observam, em dias quentes, ventos que sopram cruzando a linha da costa. Pela manhã, o escoamento é praticamente nulo, pois a diferença de temperatura entre a terra e o mar é pequena. Durante o dia, a superfície da terra (e o ar em contato com ela) recebe radiação solar, fazendo com que as superfícies isotérmicas se elevem sobre a terra mais do que sobre o mar. Uma região com pressão relativamente baixa desenvolve-se sobre o continente durante o dia, e uma pressão relativamente alta encontra-se sobre o oceano. Isso produz um movimento ascendente sobre o continente e um movimento descendente sobre o oceano, existindo, assim, um escoamento no sentido da terra nos níveis baixos e um escoamento no sentido do oceano nos altos níveis (Figura 6). Consequentemente, sobre o continente existe convergência em baixos níveis e divergência em altos níveis. Fecha-se uma célula de circulação chamada brisa marítima (FEDOROVA, 1999).

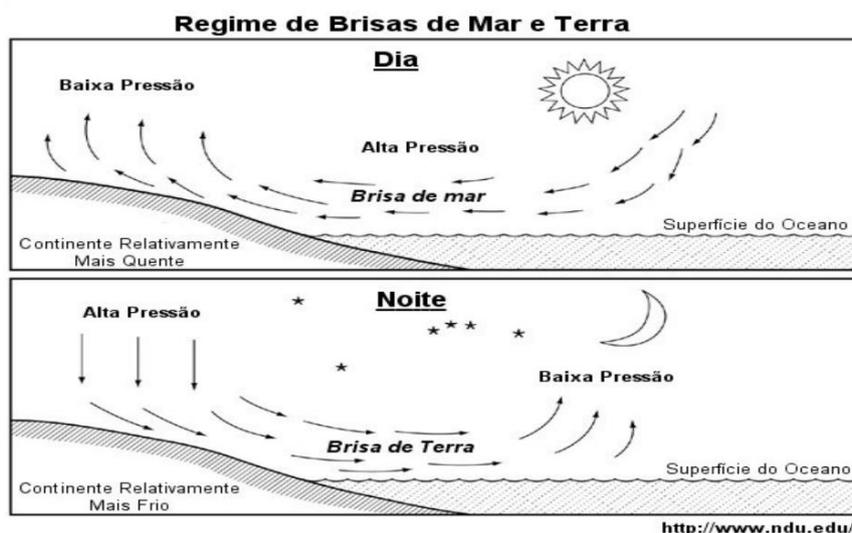


Figura 6: Formação da brisa marítima durante o dia e da brisa terrestre em direção ao oceano, durante a noite. Fonte: NDU

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados

Para a realização deste estudo, foram utilizados o conjunto de dados de precipitação da University of Delaware (UDEL), para o período de 1980 a 2020, hospedados no Center for Climatic Research Department of Geography University of Delaware Newark, disponíveis através do site do Earth System Research Laboratory (ESRL), pertencente à Physical Science Laboratory (PSL) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), espaçados em $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (55 x 55km aproximadamente), para analisar as anomalias de precipitação dos trimestres, como segue na Tabela 1:

Tabela 1: composição dos meses utilizado em cada sigla do ONI.

| Sigla | Meses contidos no trimestre | | |
|--------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| FMA | Fevereiro | Março | Abril |
| MAM | Março | Abril | Mai |
| AMJ | Abril | Mai | Julho |
| MJJ | Mai | Junho | Julho |
| JJA | Junho | Julho | Agosto |
| OND | Outubro | Novembro | Dezembro |
| NDJ | Novembro | Dezembro | Janeiro |

Conforme utilizado no Índice de Niño Oceânico (ONI) indicado na tabela 2.

3.2 Sobre os dados

Cort Willmott & Kenji Matsuura, da University of Delaware, reuniram dados de um grande número de estações, tanto do GHCN2 (Global Historical Climate Network) O resultado é uma climatologia mensal de precipitação, e uma série temporal, que vai de 1900 a 2020, de precipitação total mensal. e complementa bem o conjunto de dados ICOADS (Conjunto Internacional de Dados Oceano-Atmosfera Abrangente). A descrição completa dos dados está disponível nas páginas da web na Universidade de Delaware. Os dados de precipitação total mensal medida (P, mm), foram compilados a partir de várias fontes atualizadas, incluindo uma versão recente da Global Historical Climatology Network (GHCN2); o Atmospheric Environment Service / Environment Canada; o

Instituto Hidrometeorológico em São Petersburgo, Rússia (cortesia de Nikolay Shiklomanov); Dados GC-Net (Steffen et al., 1996); Registros de estação da Groenlândia do Projeto de Estação Meteorológica Automática (cortesia de Charles R. Stearns da Universidade de Wisconsin-Madison); os dados diários da Índia do National Center for Atmospheric Research (NCAR); Arquivo de Sharon Nicholson de dados de precipitação africana (2001); Webber e Willmott (1998) registros mensais de estação de precipitação na América do Sul, no site existem notas completas sobre as estações, de forma a citar aqui apenas um breve resumo. Os valores de P das estações não foram ajustados para reduzir o enviesamento.

3.2.1 Interpolação espacial e preenchimento de falhas

Os valores de estação para precipitação mensal total medida pelo “Rain gauge” (P) foram interpolados em uma grade de latitude / longitude de 0,5 por 0,5 graus, onde os nós da grade estão centralizados em 0,25 graus. A “interpolação auxiliada por clima” (CAI) (Willmott e Robeson, 1995) foi usada para estimar os campos de precipitação total mensal. Ao usar uma climatologia de fundo baseada em uma rede relativamente densa de estações, o CAI pode aumentar a precisão de séries temporais espacialmente interpoladas de variáveis climáticas mensais. Para a climatologia de fundo usada aqui, dois métodos climatológicos foram fundidos. No primeiro, foi utilizado as estações com series temporais de precipitação maiores do que dez anos de dados observados para cada mês. Na segunda foi utilizado método climatológico de Legates e Willmott (1990). Foram incluídas na climatologia de fundo do CAI somente as estações que não fazem parte das estações do método Legates e Willmott. Um valor P mensal em cada estação da série temporal foi diferenciado de nossa média climatológica P para aqueles meses que estavam disponíveis ou foi interpolado espacialmente para a localização da estação. A interpolação tradicional (Willmott et al., 1985) foi então realizada nas diferenças mensais da estação para obter um campo de diferença quadriculado. Finalmente, cada campo de diferença mensal em grade foi adicionado às estimativas em grade da climatologia do mês no conjunto correspondente de pontos de grade.

A interpolação tradicional foi realizada com a versão esférica do algoritmo de Shepard, que emprega um método de ponderação de distância aprimorado (Shepard, 1968;

Willmott et al., 1985). O número de estações próximas que influenciaram uma estimativa de nó de grade totalizou uma média de 20 estações. Isso resultou na redução dos erros de validação, proporcionando um campo de precipitação visualmente mais realista.

Para indicar (aproximadamente) os erros de interpolação espacial, foi utilizado uma validação cruzada (Willmott e Matsuura, 1995). Foi removida uma estação de cada vez, o valor da precipitação foi então interpolado para o local da estação removida com os dados das estações próximas. A diferença entre o valor real da estação e o valor interpolado é uma estimativa local do erro de interpolação. Depois da realização da validação para cada estação, a estação removida foi recolocada de volta na grade. Para reduzir os vieses da grade nos resultados da validação cruzada, os valores absolutos dos erros nas estações foram interpolados para a mesma resolução espacial do campo de precipitação.

4 METOLOGIA

4.1 Índice do Oceanic Niño Index (ONI)

Para a realização das figuras de anomalia de precipitação (P), foram utilizados os trimestres FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, OND e NDJ do Oceanic Niño Index (ONI) dos últimos 40 anos (período entre 1980 e 2020). O índice ONI utiliza médias contínuas de 3 meses das anomalias da TSM na região do Niño 3.4 (5N-5S, 170W-120W), com base em períodos centrados em 30 anos e atualizados a cada 5 anos. Os eventos El Niño ou La Niña são definidos quando as TSMs da região do Niño 3.4 excedem +/- 0,4 ° C por um período de três meses ou mais. O ONI é uma medida do El Niño-Oscilação Sul, e outros índices podem confirmar se características consistentes com um fenômeno acoplado oceano-atmosfera acompanharam esses períodos.

Tabela 2: Períodos quentes (vermelho) e frio (azul) com base em um limite de +/- 0,5 °C para o Índice de Niño Oceânico (ONI) [média contínua de 3 meses das anomalias de TSM ERSST.v5 na região de Niño 3.4 (5 o N-5 o S, 120 o -170 o W)].

| Ano | DJF | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1980 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| 1981 | -0.3 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.1 |
| 1982 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 1.1 | 1.6 | 2.0 | 2.2 | 2.2 |
| 1983 | 2.2 | 1.9 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 0.7 | 0.3 | -0.1 | -0.5 | -0.8 | -1.0 | -0.9 |
| 1984 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.4 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.6 | -0.9 | -1.1 |
| 1985 | -1.0 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.6 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.4 |
| 1986 | -0.5 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.2 |
| 1987 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 |
| 1988 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | -0.3 | -0.9 | -1.3 | -1.3 | -1.1 | -1.2 | -1.5 | -1.8 | -1.8 |
| 1989 | -1.7 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.1 |
| 1990 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| 1991 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.5 |
| 1992 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.1 |
| 1993 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.1 |
| 1994 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 1.0 | 1.1 |
| 1995 | 1.0 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | -0.2 | -0.5 | -0.8 | -1.0 | -1.0 | -1.0 |
| 1996 | -0.9 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.5 |
| 1997 | -0.5 | -0.4 | -0.1 | 0.3 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.4 |
| 1998 | 2.2 | 1.9 | 1.4 | 1.0 | 0.5 | -0.1 | -0.8 | -1.1 | -1.3 | -1.4 | -1.5 | -1.6 |
| 1999 | -1.5 | -1.3 | -1.1 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.1 | -1.1 | -1.2 | -1.3 | -1.5 | -1.7 |
| 2000 | -1.7 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.7 | -0.6 | -0.6 | -0.5 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.7 |
| 2001 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.3 |
| 2002 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.3 | 1.1 |
| 2003 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.0 | -0.3 | -0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2004 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 2005 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.3 | -0.6 | -0.8 |
| 2006 | -0.9 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.9 |
| 2007 | 0.7 | 0.2 | -0.1 | -0.3 | -0.4 | -0.5 | -0.6 | -0.8 | -1.1 | -1.3 | -1.5 | -1.6 |
| 2008 | -1.6 | -1.5 | -1.3 | -1.0 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.2 | -0.2 | -0.4 | -0.6 | -0.7 |
| 2009 | -0.8 | -0.8 | -0.6 | -0.3 | 0.0 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 1.0 | 1.4 | 1.6 |
| 2010 | 1.5 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | -0.2 | -0.7 | -1.0 | -1.3 | -1.6 | -1.6 | -1.6 | -1.6 |
| 2011 | -1.4 | -1.2 | -0.9 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.5 | -0.6 | -0.8 | -1.0 | -1.1 | -1.0 |
| 2012 | -0.9 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | -0.2 |
| 2013 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.3 |
| 2014 | -0.4 | -0.5 | -0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| 2015 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.9 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.6 |
| 2016 | 2.5 | 2.1 | 1.6 | 0.9 | 0.4 | -0.1 | -0.4 | -0.5 | -0.6 | -0.7 | -0.7 | -0.6 |
| 2017 | -0.3 | -0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | -0.1 | -0.4 | -0.7 | -0.8 | -1.0 |
| 2018 | -0.9 | -0.9 | -0.7 | -0.5 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.8 |
| 2019 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| 2020 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | -0.1 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.9 | -1.2 | -1.3 | -1.2 |

4.2 Área de estudo

A área de estudo representada na Figura 7 é o Nordeste do Brasil (NEB). O regime de precipitação do NEB é dividido em setores norte, leste e centro-sul em períodos diferentes. No período de fevereiro a maio, as chuvas são mais frequentes no setor norte do NEB (cor amarela no mapa). Nos meses de maio a agosto, as chuvas são mais abundantes no setor leste (cor azul). Já no restante do NEB, costuma chover mais de outubro a janeiro.

O principal sistema causador de chuvas no setor norte é a ZCIT, que costuma atuar da segunda quinzena de fevereiro até primeira quinzena de maio, aproximadamente. No setor leste, o principal sistema é perturbação ondulatória dos alísios causadas pela aproximação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), além de ondas de leste. No final do ano, de outubro a janeiro, os principais sistemas são aproximação de Frentes Frias, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), principalmente no sul da Bahia e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).



Figura 07: Região Nordeste do Brasil. Em amarelo, o regime pluviométrico no período FMAM. Em azul, o regime pluviométrico no período MJJA. Em laranja, o regime pluviométrico no período ONDJ.

4.2.1 Correlação entre precipitação e Niño 3.4

Para a realização das correlações entre o Niño 3.4 e precipitação (P) da University of Delaware (UDEL), foi utilizado anos entre 1948 e 2017 hospedados no site <https://psl.noaa.gov/data/correlation/>. Os dados de P da UDEL para correlação só vão até 2017. No entanto, o período de 69 anos de correlações é bem representativo. Foram feitas correlações espaciais entre o Niño 3.4 e a precipitação, utilizando o índice adiantado de 0 a 3 meses. Essas correlações foram elaboradas para se determinar o caráter preditivo do índice em questão e estimar a evolução dessa variável no domínio espaço-temporal.

Para a interpretação foi utilizado um teste de hipótese para qualificar os valores das correlações e determinar a significância estatística dos resultados obtidos, isto é, o nível de significância dos coeficientes de correlação. Essa técnica determina o quanto significativo são os resultados. A Tabela 3 mostra a significância das correlações, de acordo com seus 45 respectivos graus de liberdade, adaptada de <https://psl.noaa.gov/data/correlation/significance.html>.

Tabela 3: Graus de liberdade e os níveis de significância dos coeficientes de correlação.
 Fonte: Adaptada de <https://psl.noaa.gov/data/correlation/significance.html>.

| Graus de Liberdade | 0,900 | 0,950 | 0,980 | 0,990 | 1,000 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 3 | 0,904 | 0,920 | 0,950 | 0,980 | 0,990 |
| 4 | 0,801 | 0,830 | 0,890 | 0,940 | 0,960 |
| 5 | 0,713 | 0,760 | 0,830 | 0,890 | 0,920 |
| 6 | 0,644 | 0,700 | 0,770 | 0,840 | 0,880 |
| 7 | 0,588 | 0,650 | 0,730 | 0,800 | 0,840 |
| 8 | 0,544 | 0,610 | 0,690 | 0,760 | 0,810 |
| 9 | 0,508 | 0,570 | 0,650 | 0,730 | 0,780 |
| 10 | 0,477 | 0,540 | 0,620 | 0,700 | 0,750 |
| 40 | 0,219 | 0,264 | 0,312 | 0,366 | 0,402 |
| 41 | 0,216 | 0,260 | 0,308 | 0,361 | 0,397 |
| 42 | 0,213 | 0,257 | 0,304 | 0,357 | 0,392 |
| 43 | 0,210 | 0,254 | 0,300 | 0,353 | 0,388 |
| 44 | 0,208 | 0,251 | 0,294 | 0,349 | 0,384 |
| 45 | 0,206 | 0,248 | 0,294 | 0,345 | 0,379 |

Por exemplo, dado o grau de liberdade de 40 anos, os testes do nível de significância indicaram que, para um coeficiente de correlação com valor em módulo de 0,36 têm-se uma significância de 99% de chance que as variáveis realmente estejam correlacionadas. Ou seja, apenas 1% de chance que a hipótese nula se confirme, isto é, que as variáveis não estejam relacionadas.

4.3 Softwares Utilizados

Os campos das variáveis meteorológicas foram construídos utilizando o software Python, para a geração das Figuras.

5 RESULTADOS

Foram elaboradas anomalias de precipitação (P) dos trimestres fevereiro, março e abril (FMA), março, abril e maio (MAM), abril, maio e junho (AMJ), maio, junho e julho (MJJ), junho, julho e agosto (JJA), outubro, novembro e dezembro (OND) e novembro, dezembro e janeiro (NDJ) com o Oceanic Niño Index (ONI) entre 1980 e 2020. Ainda, elaboradas correlações entre o Niño 3.4 e P, tanto simultâneo como com o Niño 3.4 adiantado (“leads”) para verificar seu caráter preditivo. Os leads utilizados, que produziram as maiores correlações, em módulo, foram de 1 a 3 trimestres, ou seja, Niño 3.4 adiantado de 1 a 3 trimestres em relação a P.

Na Figura 08, são apresentados os mapas de anomalia de P no trimestre FMA com os anos, onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade para o período entre 1980 e 2020. Com exceção do estado da Bahia, pode-se observar anomalias positivas de P em anos de La Niña (Figura 08.b). Quando ocorre neutralidade ou El Niño, as anomalias de precipitação são negativas (Figuras 08a e 08c).

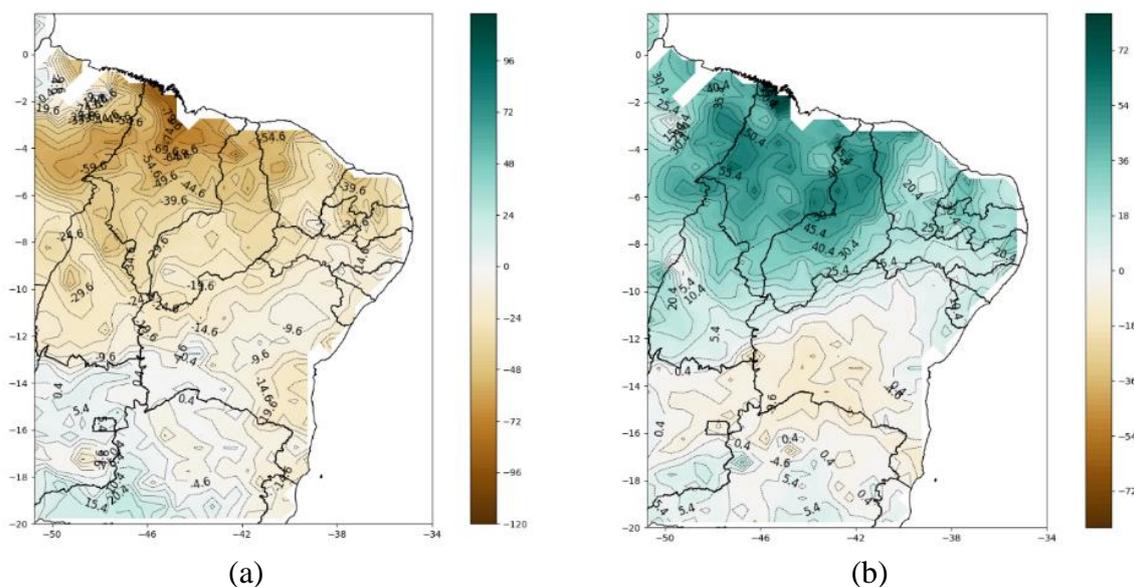
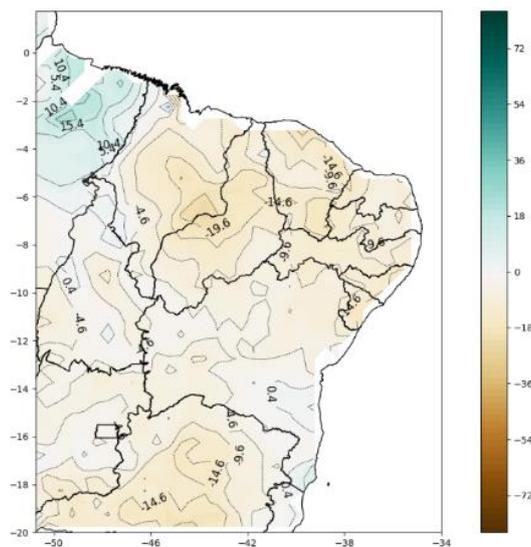


Figura 08: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em FMA. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em FMA. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>



(c)

Figura 08:(c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em FMA. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Em relação a correlação, notou-se que os estados do norte do NEB apresentaram os maiores valores de correlações (em torno de 0,4 negativo) e nas demais áreas, com exceção da Bahia, valores superiores a 0,2 negativo, tanto com o índice simultâneo, como com o índice adiantado em 1 trimestre em relação a P. O nível de significância estatística das correlações excedeu 95% na maioria das análises dessas regiões. Isso significa dizer que, quando tiver La Niña, as chuvas tendem a ser acima da média e que o índice Niño 3.4 é um bom previsor para essas regiões com antecedência de 1 trimestre (janeiro, fevereiro e março – JFM) pelo menos (Figura 09a e 09b).

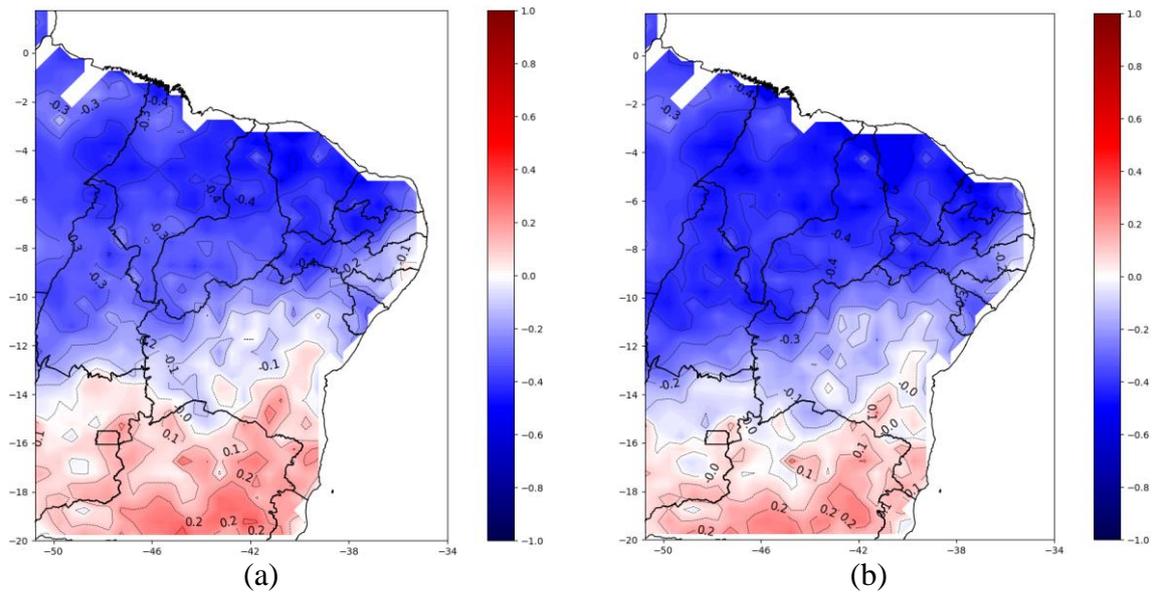


Figura 09: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) simultâneo e (b) 1 trimestre adiantado em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Na Figura 10(a) e 10(b), observam-se os leads de dois e três trimestres de adiantamento do Niño 3.4 com relação à P e observou-se praticamente a mesma configuração anterior, ou seja, com exceção da região central da Bahia, o restante do NEB continuou apresentando valores em torno de 0,4 para o setor norte e acima de 0,2 no setor leste, com significância estatística superior a 99% e 95%, respectivamente. Com isso, o Niño 3.4 continua sendo um bom previsor para essas regiões com até 3 trimestres de antecedência.

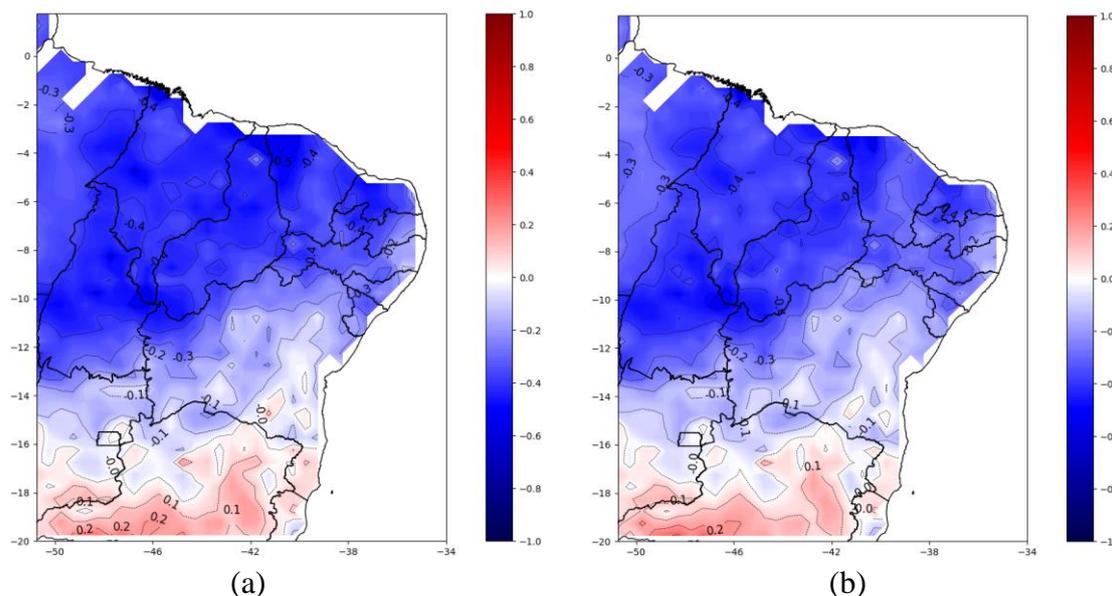


Figura 10: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) 2 trimestres adiantado em relação a P (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF) e (b) 3 trimestres adiantado em relação a P (novembro, dezembro e janeiro – NDJ). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

A Figura 11, mostra os mapas de anomalia de P no trimestre MAM com os anos onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade também para o período entre 1980 e 2020. Assim como no trimestre anterior, com exceção da região central e sudoeste do estado da Bahia, pode-se observar anomalias positivas de P em anos de La Niña (Figura 11b). Quando ocorre El Niño, as anomalias de precipitação são negativas (Figura 11a) e quando ocorre anos de neutralidade no ONI de MAM, de modo geral as chuvas tendem a ficar próximas da normalidade/levemente abaixo da normalidade (Figura 11c). Essa tendência de anomalias positivas de precipitação em anos de La Niña e anomalias negativas em anos de El Niño já são esperadas, pois a literatura indica essa situação, principalmente nos estados do setor norte do NEB. No entanto, observa-se a mesma configuração para os estados do leste do NEB, tanto no trimestre FMA, como no MAM.

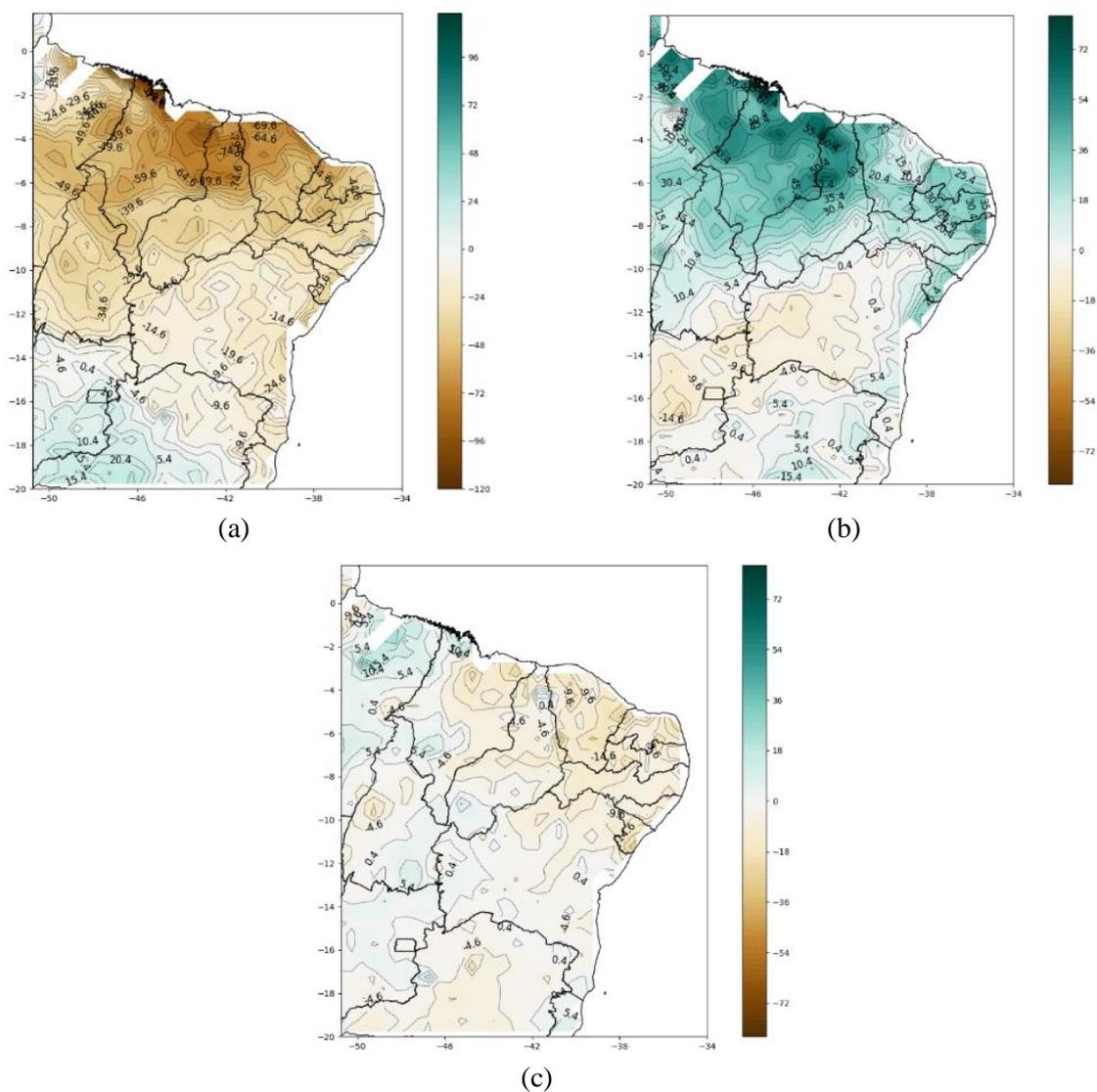


Figura 11: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em MAM. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em MAM. (c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em MAM. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Em relação a correlação entre Niño 3.4 e P para o trimestre MAM, grande parte do NEB apresentaram valores de correlações em torno de 0,4. Somente o centro-sul da Bahia apresentou valores inferiores a 0,2 tanto com o índice simultâneo, como com o índice adiantado em 1 trimestre em relação a P. O nível de significância estatística das correlações é da ordem de 99% na maioria dos estados do NEB. Isso significa dizer que, quando tiver La Niña, as chuvas tendem a ser acima da média e que o índice Niño 3.4 é um bom predictor para essas regiões com antecedência de 1 trimestre (fevereiro, março e abril – FMA), ou seja, se persistir as condições de La Niña no Pacífico, as chuvas tendem a ser acima da média (Figura 12a e 12b).

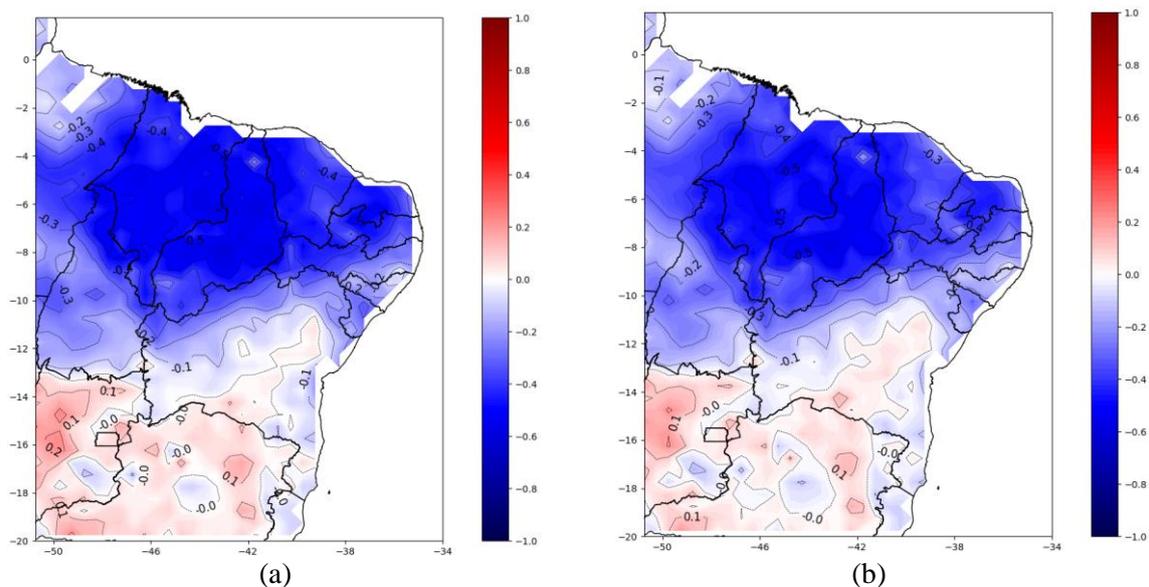


Figura 12: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) simultâneo e (b) 1 trimestre adiantado em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Na Figura 13a e 13b, observa-se claramente que ainda mantêm praticamente a configuração no NEB, com os leads de 2 e 3 trimestres de adiantamento do Niño 3.4 com relação a P. o NEB de maneira geral permaneceu com uma correlação forte (da ordem de 0,4), mantendo o nível de significância estatística acima de 99%, tanto para dois, como para três trimestres, indicando ser um bom predictor. Se no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro – DJF observarmos El Niño, significa dizer que grande parte do NEB deverá apresentar chuvas abaixo da normal climatológica e se apresentar La Niña, acima da normal climatológica em MAM.

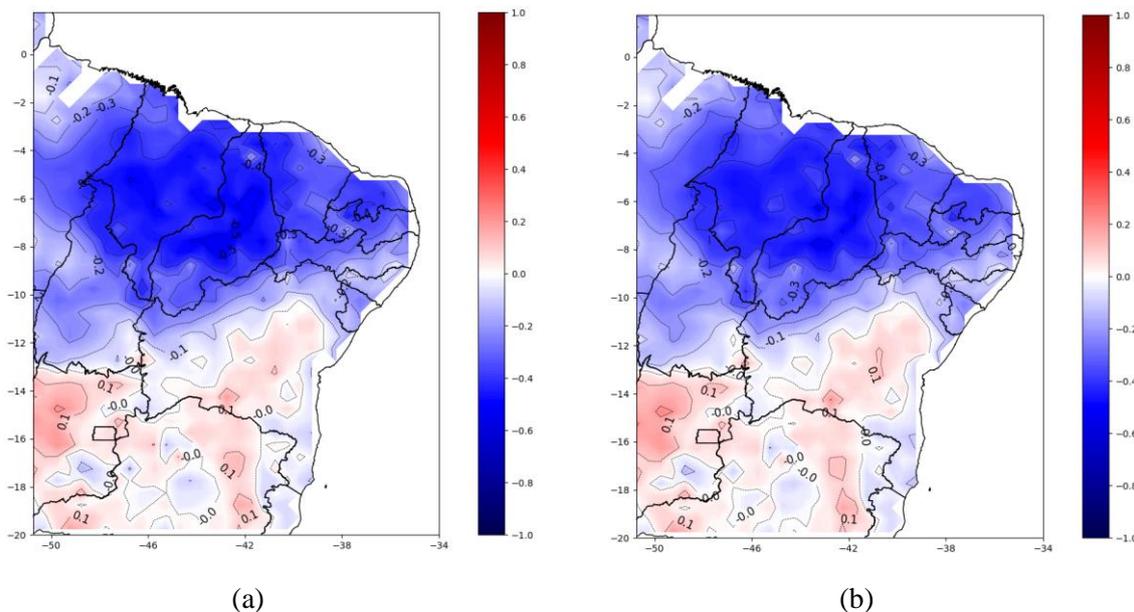


Figura 13: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) 2 trimestres adiantado em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM) e (b) 3 trimestres adiantado em relação a P (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Os mapas de anomalia de P no trimestre AMJ com os anos onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade também para o período entre 1980 e 2020 estão representados na Figura 14. Em anos onde o ONI foi positivo maior ou igual a 0,5, ou seja, em ONI considerado El Niño, ocorreram anomalias em torno e levemente positivas de P em praticamente do estado da Bahia. Nos demais estados do NEB, observou-se anomalias negativas de P (Figura 14a). Em anos de La Niña em AMJ, observou-se que o estado da Bahia ficou com anomalias ligeiramente positivas na metade leste e negativas na metade oeste e nos demais estados do NEB, anomalias positivas de P, até mesmo nos estados de leste do NEB, onde começa as chuvas da pré-estação (Figura 14b). Já em anos considerados neutros, as chuvas tendem a ficar próximo da normal climatológica em todo o NEB, em alguns estados ligeiramente acima e em outros, ligeiramente abaixo da normal climatológica (Figura 14c). Essa tendência de anomalias positivas de precipitação em anos de La Niña e anomalias negativas em anos de El Niño também já são esperadas, principalmente no setor norte do NEB, pois a literatura indica tal situação. Ainda se observa a mesma tendência nos estados de leste do NEB, assim como nos trimestres anteriores (FMA e MAM). No entanto, visualiza-se que o estado da Bahia se comporta diferente dos demais, ou seja, as chuvas tendem a ficar dentro da média tanto em El Niño,

La Niña e neutralidade, o que indica que o Niño 3.4 não possui uma correlação forte com as chuvas dessa região.

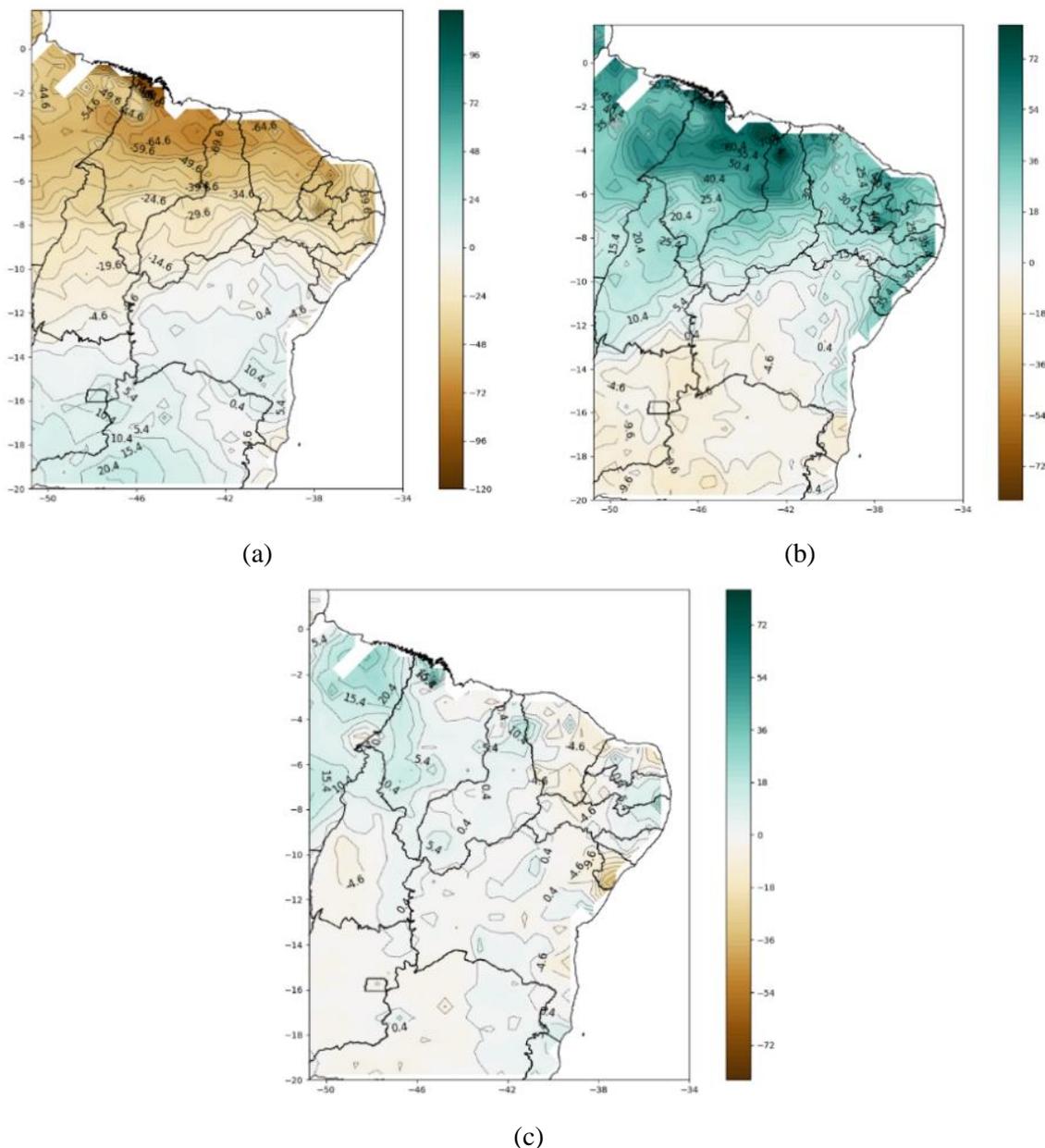


Figura 14: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em AMJ. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em AMJ. (c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em AMJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Em relação a correlação entre Niño 3.4 e P para o trimestre AMJ, os estados do Maranhão, Piauí, Ceará e centro-norte do Rio Grande do Norte e oeste de Pernambuco apresentaram valores de correlações em torno de 0,4 tanto com o índice simultâneo, como adiantado em um trimestre em relação a P. O norte/oeste da Bahia, Sergipe, Alagoas, centro-leste de Pernambuco e Paraíba apresentaram valores acima de 0,2 também nos

dois índices (simultâneo e adiantado em um trimestre). O nível de significância estatística das correlações para esse trimestre é superior a 95% nessas áreas do NEB. Isso significa dizer que, quando tiver La Niña, as chuvas tendem a ser acima da média e que o índice Niño 3.4 é um bom previsor para essas regiões no trimestre MAM (Figura 15a e 15b).

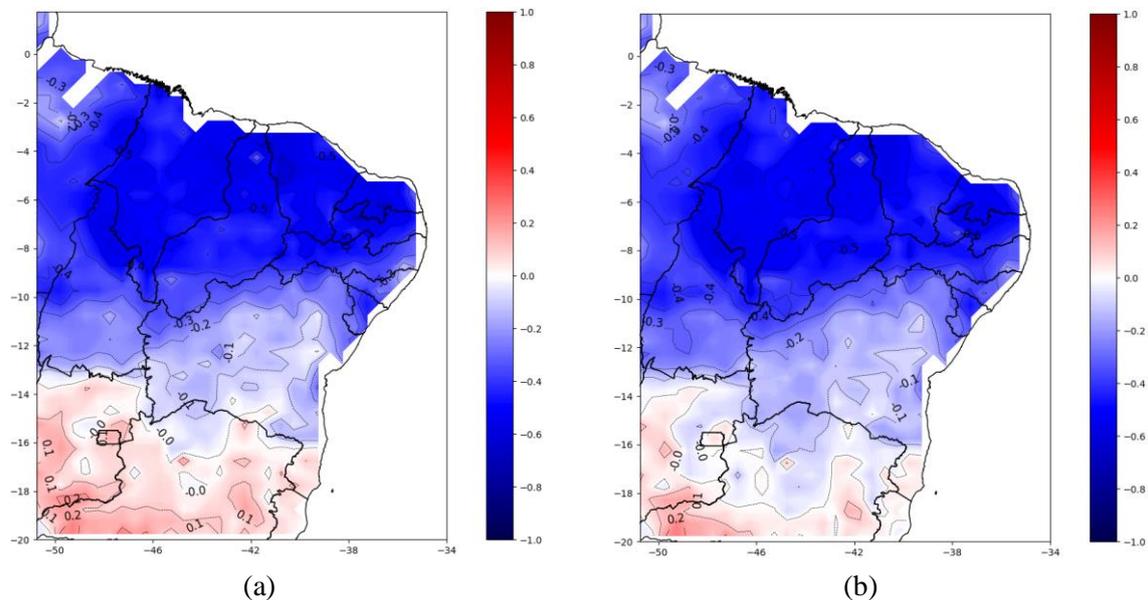


Figura 15: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) simultâneo e (b) 1 trimestre adiantado em relação a P (março, abril e maio – MAM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Na Figura 16a e 16b, observa-se os leads de 2 e 3 trimestres de adiantamento do Niño 3.4 com relação a P. Nelas, com exceção do centro-sul da Bahia, o NEB de maneira geral permaneceu com uma correlação forte (entre 0,2 e 0,4), mantendo o nível de significância estatística acima de 95%, tanto para dois, como para três trimestres, indicando ser um bom previsor, pois as correlações são com 40 anos de dados. Com isso, se no trimestre janeiro, fevereiro março – JFM observar-se La Niña, significa dizer que essas regiões do NEB deverão apresentar chuvas acima da normal climatológica em AMJ.

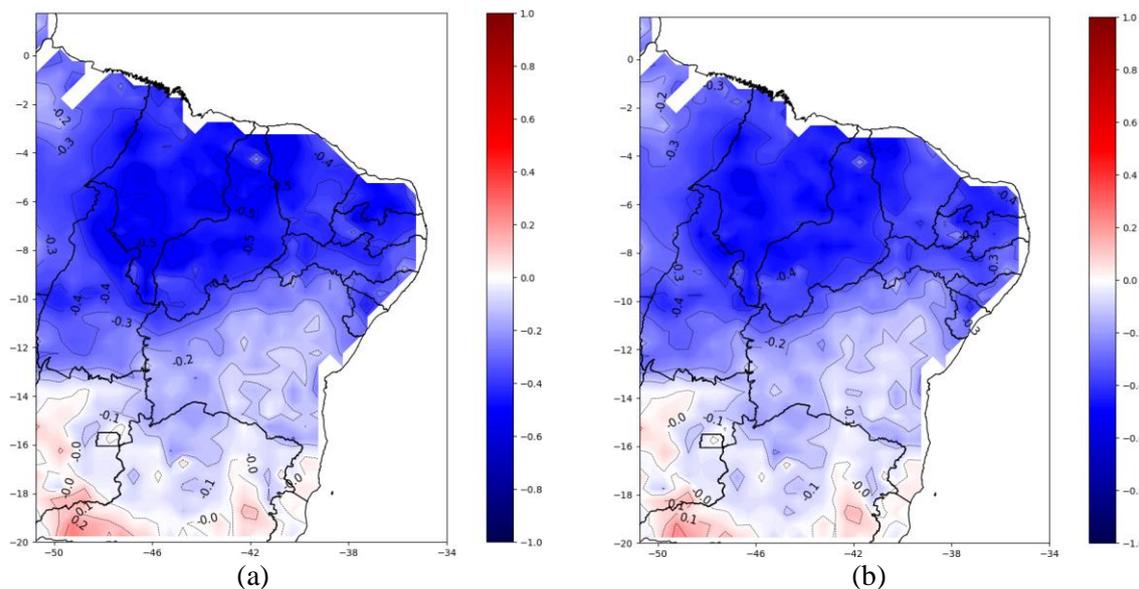


Figura 16: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) 2 trimestres adiantado em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA) e (b) 3 trimestres adiantado em relação a P (janeiro, fevereiro e março – JFM). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

A Figura 17, mostra os mapas de anomalia de P no trimestre MJJ com os anos onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade também para o período entre 1980 e 2020. Pode-se observar que as chuvas ficam próximas da normal climatológica nos anos onde o ONI foi considerado La Niña na Bahia, centro-sul do Piauí, Ceará e oeste Pernambucano. Nas demais áreas do NEB, as anomalias foram levemente acima da normal climatológica em MJJ que é considerado pós estação chuvosa no norte do NEB e estação chuvosa do setor leste do NEB (Figura 17b). Quando ocorre ONI neutro (Figura 17c), de modo geral o NEB apresenta anomalias próximas/levemente acima da normal e em anos de El Niño, com exceção da Bahia, o restante do NEB apresenta chuvas abaixo da média.

Essa tendência de anomalias levemente positivas de precipitação em anos de El Niño e anomalias levemente negativas em anos de La Niña na Bahia é a mesma do trimestre anterior (AMJ), indicando que o Niño 3.4 não possui boa correlação com as precipitações dessa região ou possui correlação inversa, ou seja, correlação positiva.

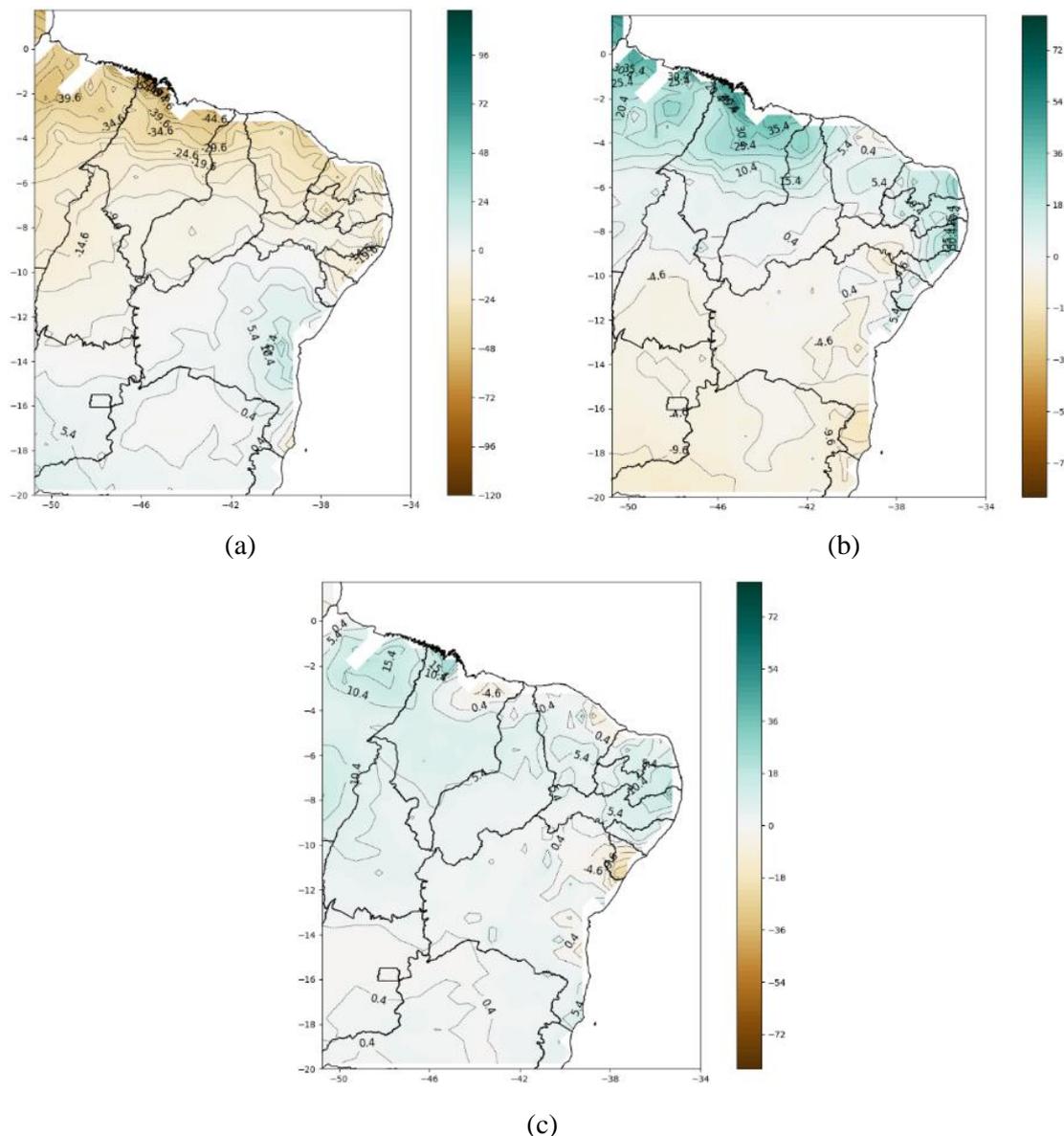


Figura 17: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em MJJ. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em MJJ. (c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em MJJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Nas correlações entre Niño 3.4 e P para o trimestre MJJ mostradas na Figura 18, grande parte da Bahia possui um nível de significância estatística das correlações para esse trimestre superior a 95% e uma correlação positiva em torno de 0,2 tanto no índice simultâneo, como adiantado em 1 trimestre. Isso indica que em anos onde o ONI é positivo (El Niño), as chuvas tendem a ser também positivas (anomalias positivas de P), justificando as anomalias levemente positivas de precipitação em anos de El Niño e anomalias levemente negativas em anos de La Niña na Bahia na Figura 17a e 17b, respectivamente. Maranhão, Piauí e Ceará apresentam valores (em torno de 0,4) superiores em módulo com o índice adiantado em 1 trimestre do que com o índice

simultâneo em relação a P. Nas demais áreas do NEB, os valores ficaram em torno ou abaixo de 0,2 nos dois índices (simultâneo e adiantado em um trimestre), não apresentando com isso, boa correlação para essas áreas. O nível de significância estatística das correlações para esse trimestre no Maranhão, Piauí e Ceará é superior a 95%, significando dizer que para essa região do NEB, quando tiver La Niña, as chuvas tendem a ser acima da média no trimestre MJJ e que o índice Niño 3.4 é um bom previsor para essas regiões no trimestre abril, maio e junho – AMJ (Figura 18b).

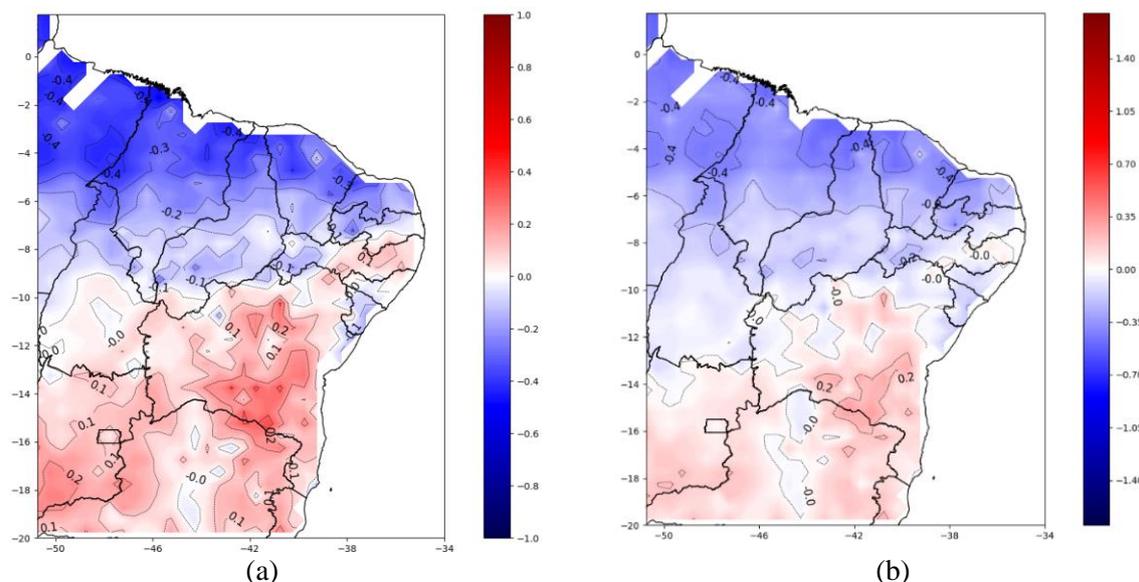


Figura 18: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) simultâneo e (b) 1 trimestre adiantado em relação a P (abril, maio e junho – AMJ). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Na Figura 19a e 19b, observa-se que mantêm praticamente a mesma configuração no NEB, com os leads de 2 e 3 trimestres de adiantamento do Niño 3.4 com relação a P. Entretanto, o estado da Bahia apresentou correlações menores em módulo, quando comparado ao índice simultâneo e adiantado em 1 trimestre, ficando com valores inferiores a 0,2, tendo com isso um nível de significância estatística baixo. Porém, para as demais áreas do NEB, o nível de significância estatística se manteve superior a 95% por se tratar de 40 anos de dados com correlações da ordem de 0,2 e 0,4. O Niño 3.4 nos trimestres março, abril e maio – MAM e fevereiro, março e abril – FMA mostrou ser um bom previsor para chuvas também na pós estação do setor norte do NEB e na estação chuvosa do leste do NEB, pois apresentou uma elevada significância estatística para o período em questão.

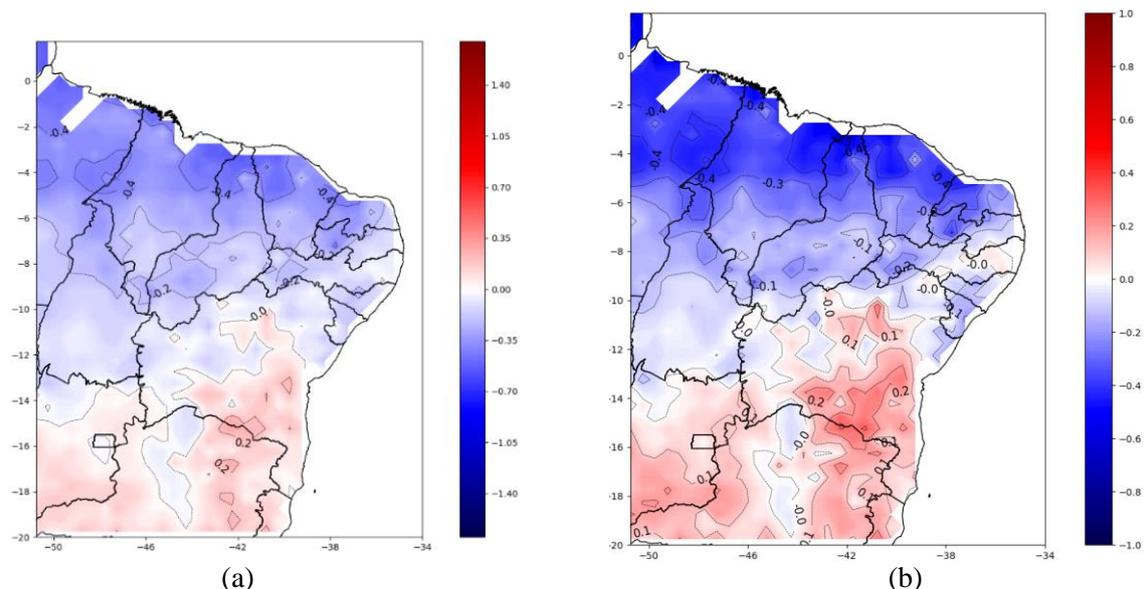


Figura 19: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) 2 trimestres adiantado em relação a P (março, abril e maio – MAM) e (b) 3 trimestres adiantado em relação a P (fevereiro, março e abril – FMA). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

A Figura 20, mostra os mapas de anomalia de P no trimestre JJA com os anos onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade para o período entre 1980 e 2020 e a correlação entre o índice Niño 3.4 no trimestre JJA com P. Pode-se observar que as correlações entre o Niño 3.4 e P apresentaram valores entre 0,0 e 0,2 em praticamente todo o NEB, mostrando que as chuvas dessa época do ano (trimestre JJA) não se correlacionam com o Niño 3.4 (Figura x13d), e que os leads de 1, 2 e 3 trimestres adiantados não mostraram bons resultados. As anomalias de P ficaram em torno da normal climatológica em anos onde o ONI foi considerado El Niño e Neutro (Figura x13a e x13c), em praticamente todo o NEB e em anos de La Niña, as anomalias ficaram ligeiramente acima da normal no setor leste do NEB (Figura 20b).

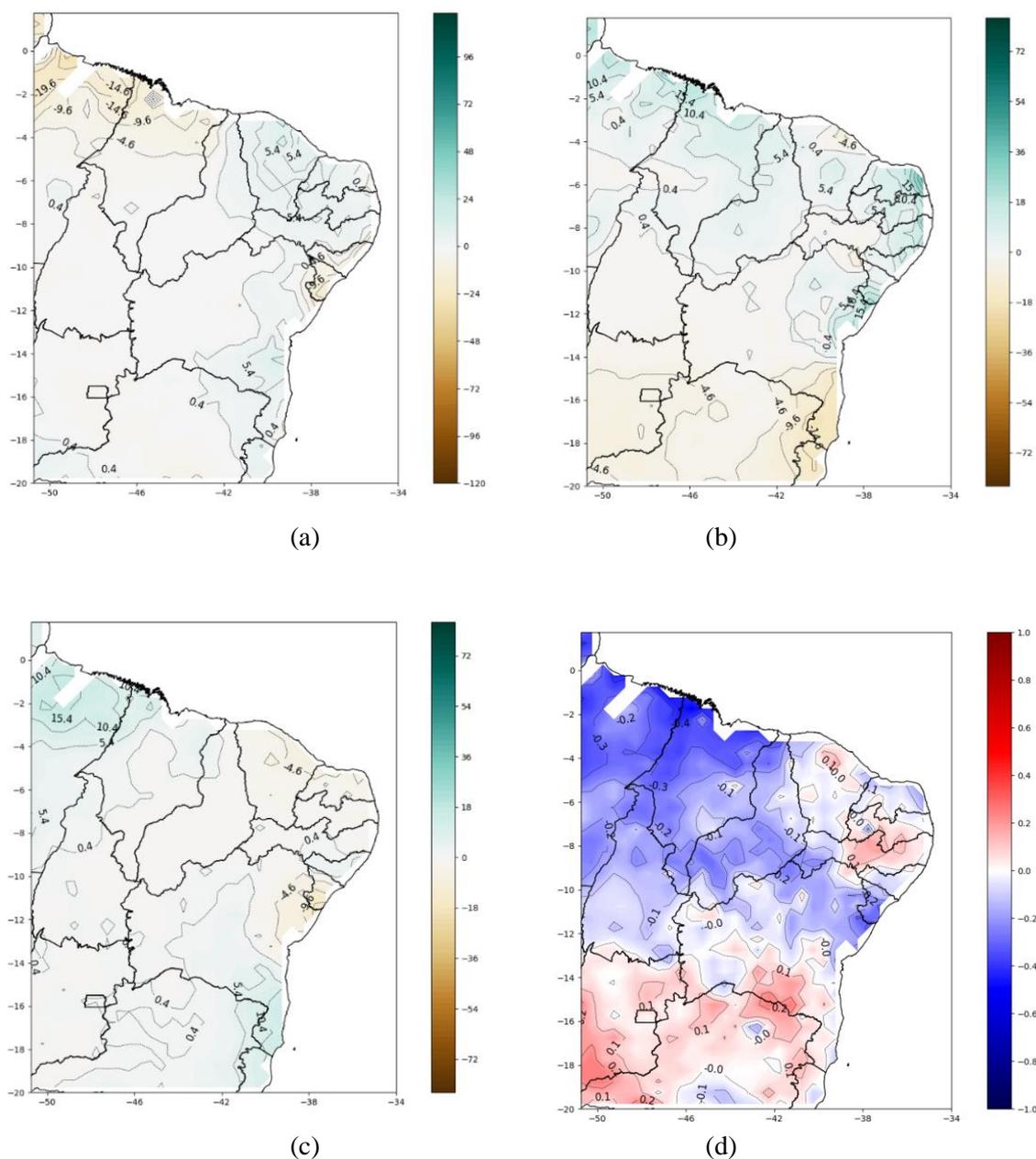


Figura 20: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em JJA. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em JJA. (c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em JJA. (d) Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice simultâneo. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

A Figura 21, mostra os mapas de anomalia de P no trimestre OND com os anos onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade também para o período entre 1980 e 2020. De modo geral, pode-se observar que as chuvas ficam próximas e abaixo da normal climatológica nos anos onde o ONI foi considerado El Niño em todo o NEB (Figuras 21a). Nos anos de La Niña e neutralidade, as anomalias foram dentro e levemente acima da normal climatológica em OND, que é considerado o começo da pré-estação

chuvosa do setor norte do NEB (Figuras 21b e 21c), principalmente em anos de neutralidade onde os valores de anomalia foram mais acentuados positivamente.

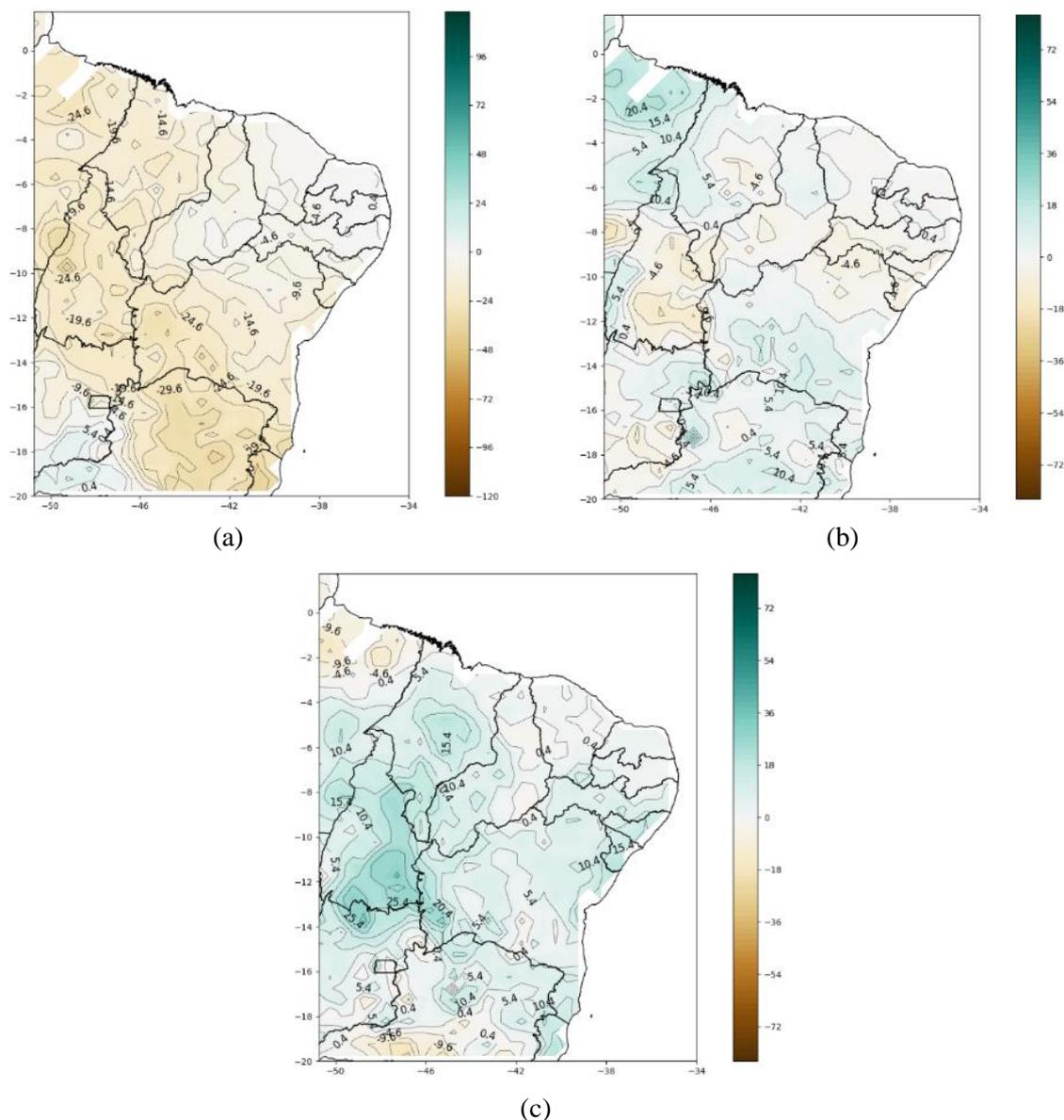


Figura 21: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em OND. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em OND. (c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em OND. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Nas correlações entre Niño 3.4 e P para o trimestre OND mostradas na Figura 22a e 22b, percebe-se que só o centro sul da Bahia e metade oeste do Maranhão apresentam um nível de significância estatística das correlações para esse trimestre superior a 95% com uma correlação em torno de 0,2 e 0,4 tanto no índice simultâneo, como adiantado em 1 trimestre. Isso indica que em anos onde o ONI é positivo (El Niño), as chuvas

tendem a ser negativas, ou seja, anomalias negativas de P, justificando as anomalias mais acentuadas nessas regiões. Nas demais áreas do NEB, as correlações com o índice adiantado em 1 trimestre do que com o índice simultâneo em relação a P não apresentaram bons valores em módulo, mostrando não haver grandes correlações entre o Niño 3.4 e P nesse trimestre.

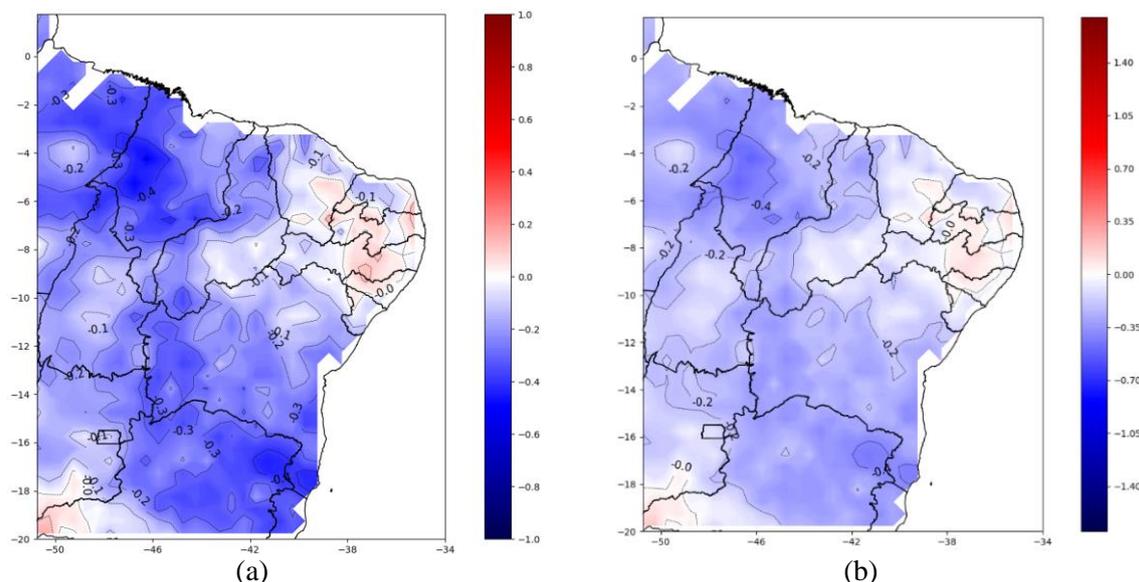


Figura 22: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) simultâneo e (b) 1 trimestre adiantado em relação a P (setembro, outubro e novembro – SON). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

A Figura 23a e 23b mostram os leads de 2 e 3 trimestres de adiantamento do Niño 3.4 com relação a P. Visualiza-se praticamente a mesma configuração anterior, com correlações de 0,2 e 0,4 no Maranhão e na Bahia. Para esses estados do NEB, com até três trimestres de adiantamento, é possível prever chuvas levemente acima ou levemente abaixo da normal climatológica, conforme visto na Figura 20. As demais áreas do NEB apresentaram correlações de 0,0 a 0,2, indicando um baixo nível de significância estatística. Para o estado do Maranhão e da Bahia, O Niño 3.4 nos trimestres agosto, setembro e outubro – ASO e julho, agosto e setembro – JAS mostrou ser um bom predictor para chuvas, pois apresentou uma elevada significância estatística para o período em questão.

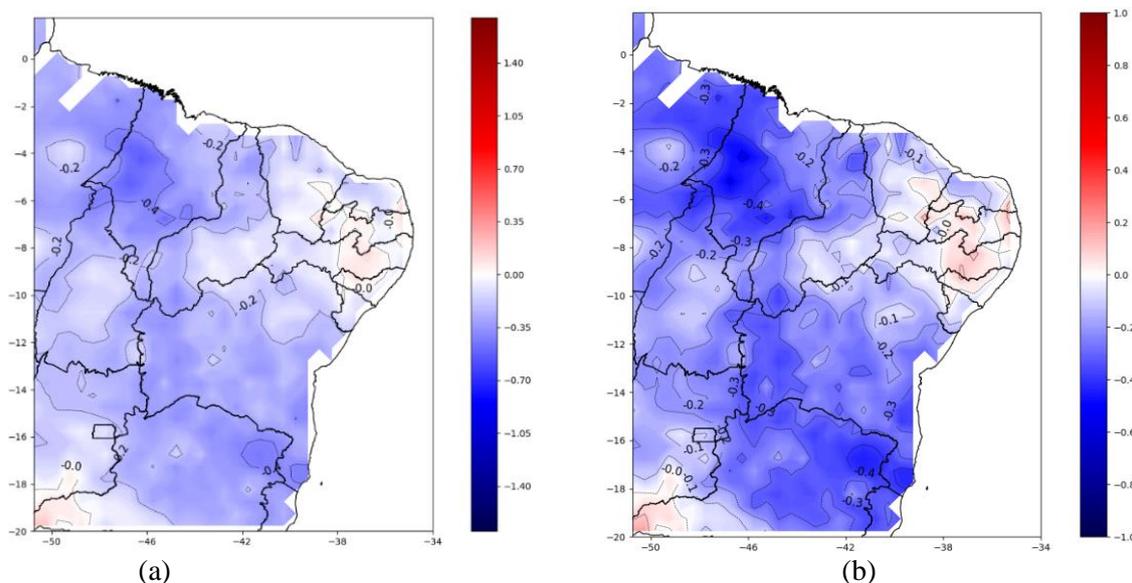


Figura 23: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) 2 trimestres adiantado em relação a P (agosto, setembro e outubro – ASO) e (b) 3 trimestres adiantado em relação a P (julho, agosto e setembro – JAS). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Os mapas de anomalia de P no trimestre NDJ com os anos onde o ONI apresentou El Niño, La Niña e Neutralidade também para o período entre 1980 e 2020 estão representados na Figura 24. Em anos onde o ONI foi negativo maior ou igual a 0,5, ou seja, em ONI considerado La Niña, ocorreram anomalias negativas em praticamente todo o NEB, com exceção do nordeste cearense e Rio Grande do Norte, onde as chuvas ficaram próximas da média (Figura 24b). Em anos de El Niño em NDJ (Figura 24a), com exceção do sudoeste baiano, observou-se anomalias levemente positivas no NEB e em anos de neutralidade, os maiores destaques são o sul do estado do Maranhão, sul do Piauí e centro-oeste da Bahia com anomalias positivas de P (Figura 24c).

Essa observação é relevante, pois em anos onde vem ocorrendo La Niña no final do ano, as chuvas tendem a ser abaixo da média, e não acima da média conforme observado nos trimestres da primeira metade do ano. Anos onde há neutralidade no ONI, as chuvas ficam com anomalias positivas no sul do NEB e levemente positivas em anos de El Niño, onde esperávamos chuvas abaixo da média. Essa tendência de anomalias negativas de P em anos de El Niño também é esperado, principalmente nos trimestres da primeira metade do ano.

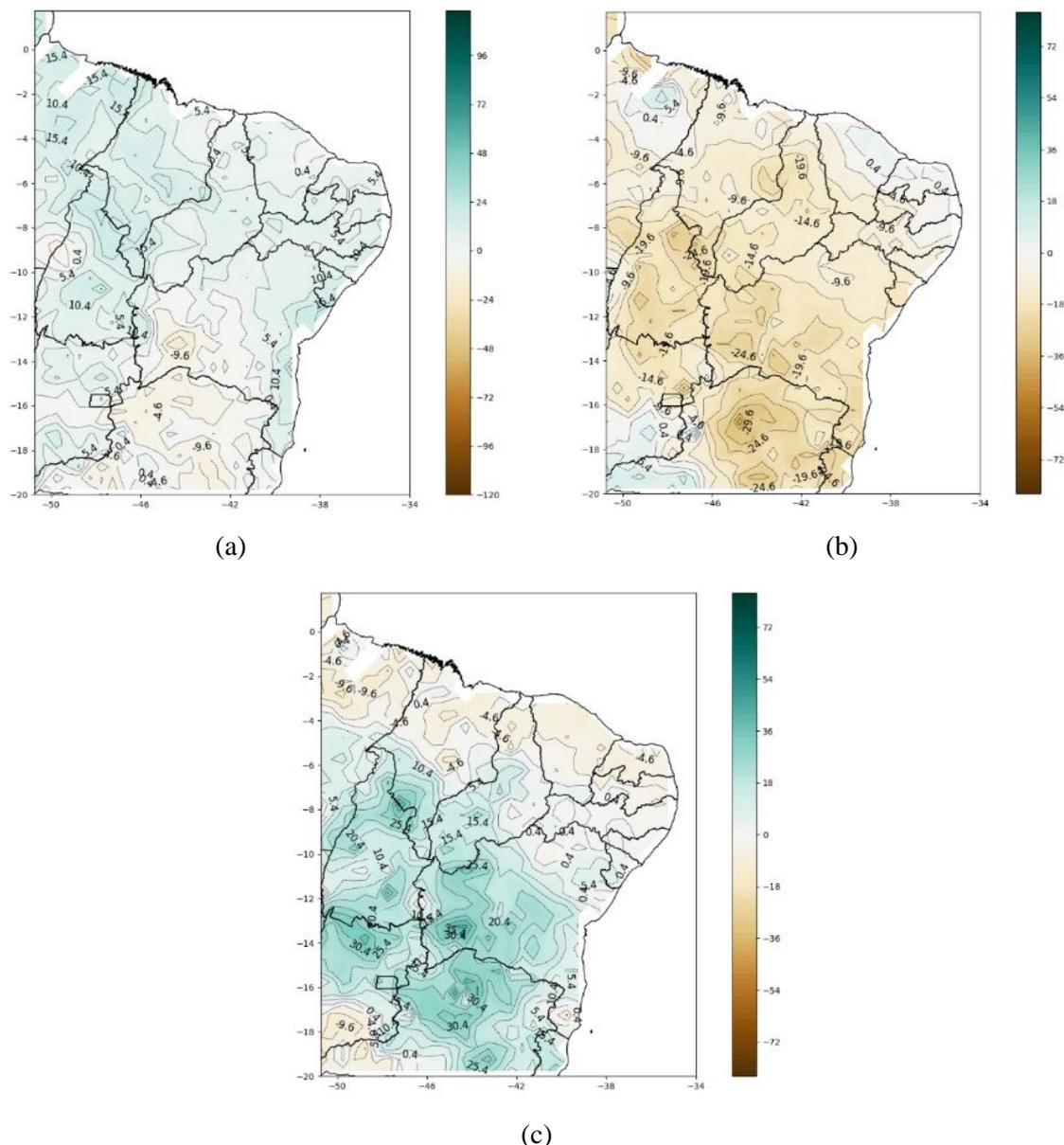


Figura 24: (a) Anomalia de Precipitação em anos de El Niño em NDJ. (b) Anomalia de Precipitação em anos de La Niña em NDJ. (c) Anomalia de Precipitação em anos neutros em NDJ. Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Na Figura 25a e 25b, estão as correlações entre Niño 3.4 e P para o trimestre NDJ. Notou-se que não há boas correlações tanto simultâneo, como com o índice adiantado em 1 trimestre em relação a P. Os valores máximos em módulo para o NEB foi de no máximo 0,2 negativo e positivo, mostrando um baixo nível de significância estatística das correlações na maioria das análises dessas regiões. Isso significa dizer que, o Niño 3.4 não influencia tanto as condições de P no trimestre NDJ.

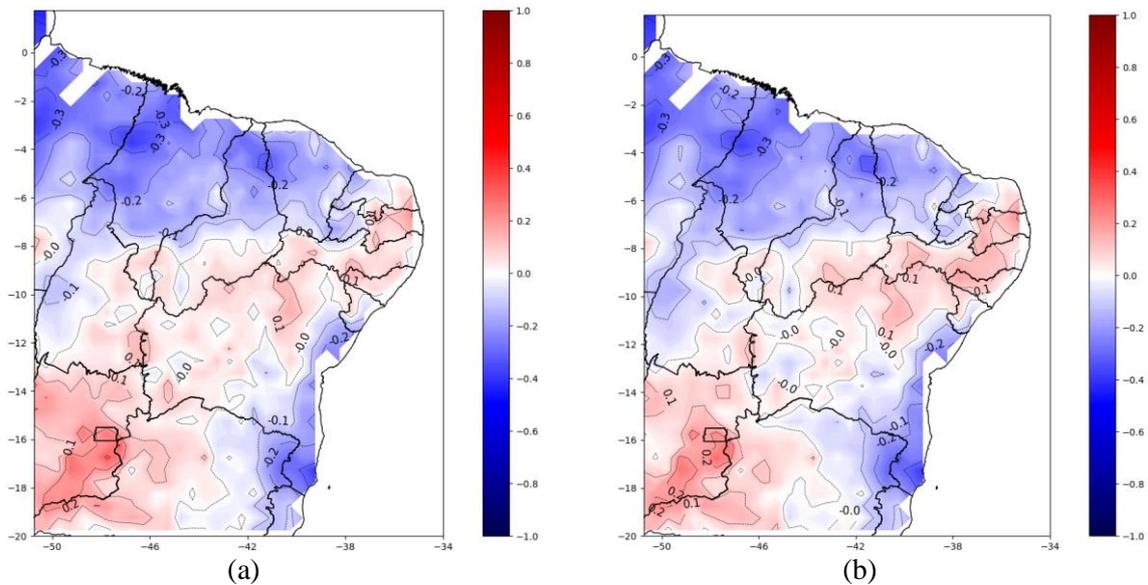


Figura 25: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) simultâneo e (b) 1 trimestre adiantado em relação a P (outubro, novembro e dezembro – OND). Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

Para os leads de 2 e 3 trimestres na Figura 26a e 26b, observa-se a mesma configuração anterior, ou seja, correlações negativas em grande parte do norte do NEB e sul da Bahia e correlações positivas nas demais áreas. No entanto, também, com valores de correlações baixo, de 0,0 a 0,2. Com isso, pode-se dizer que o Niño 3.4 não possui boa correlação com as chuvas também com o índice adiantado em 2 e 3 trimestres, significando que se tivermos La Niña no trimestre agosto, setembro e outubro – ASO e persistir no próximo trimestre setembro, outubro e novembro – SON, não garante boas chuvas no NEB. Pelo contrário, em anos de La Niña, o que se observa são anomalias negativas em grande parte do NEB (Figura 24b)

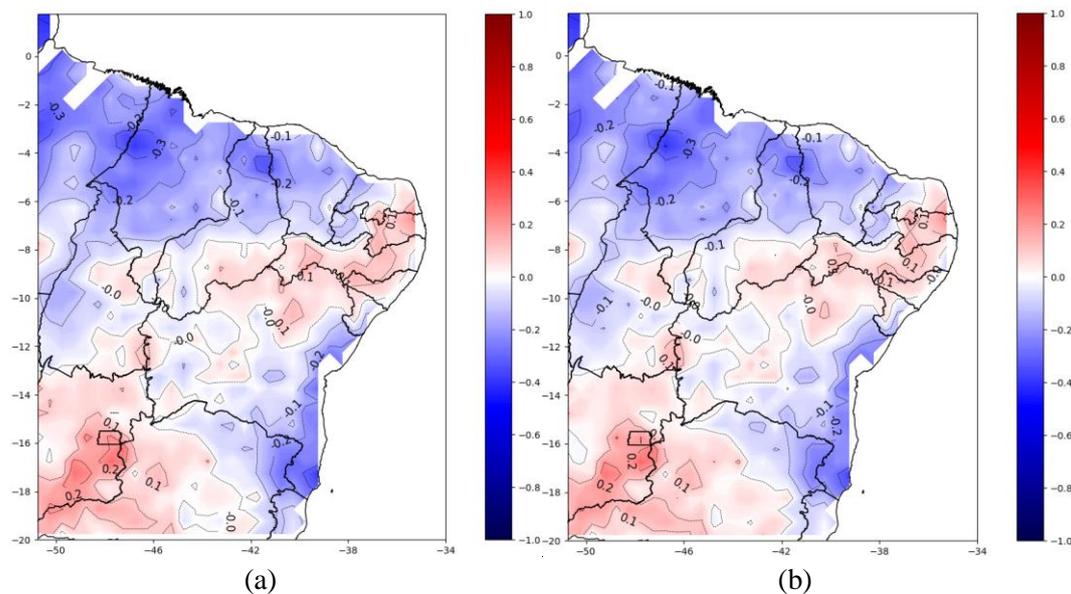


Figura 26: Correlação entre Niño 3.4 e precipitação (P) para o período entre 1948 e 2017 com índice (a) 2 trimestres adiantado em relação a P (setembro, outubro e novembro – SON) e (b) 3 trimestres adiantado em relação a P (agosto, setembro e outubro – ASO).
Fonte dos dados: <https://psl.noaa.gov/>

5 CONCLUSÃO

Os oceanos são um dos grandes controladores do clima do planeta. E, certamente, a variabilidade das chuvas no Nordeste no Brasil deve ser influenciada por suas variações. Os fenômenos meteorológicos que afetam o tempo e clima sobre o continente levam de um a três meses para que ocorra o acoplamento com as variações ocorridas no oceano. Este “feedback” é o tempo decorrido entre o oceano influenciar a atmosfera, culminando na interferência sobre as médias nas variáveis meteorológicas. Neste trabalho analisou-se como esse feedback (leads) de um, dois e três trimestres influenciaram o regime de precipitação no NEB, que foi segmentado em “leste”, “centro-sul” e “Norte”.

Nesse sentido é mais comum a ocorrência de neutralidade do fenômeno ENOS e que os efeitos do fenômeno variam por região. Sabe-se que no NEB aumento na média pluviométrica ocorre quando há La Niña e o oposto em períodos de El Niño. Entretanto, as análises de anomalias de precipitação no NEB indicaram a existência de uma faixa latitudinal que divide o NEB, por volta de 12°S em haver ou não impacto do fenômeno.

Foi observado que nos trimestres estudados onde ocorreu La Niña, as precipitações ficaram em torno e/ou acima da média e em anos de ocorrência de El Niño em torno e/ou abaixo da média conforme esperado. No entanto, quando estudado os trimestres do final do ano, ou seja, (outubro, novembro e dezembro - OND) e (novembro, dezembro e janeiro – NDJ), as anomalias de precipitação ficaram em torno e/ou abaixo da média em anos de La Niña e em torno e/ou acima da média em anos de El Niño, o que é diferente do esperado.

As correlações entre o Niño 3.4 e precipitação da UDEL maneira geral variaram em torno de 0,4, apresentando um nível de significância estatística das correlações acima de 95% na maioria das análises feitas no NEB, tanto com o índice simultâneo, como com o índice adiantado (lead) em um, dois ou três trimestres, o que significa dizer que o Niño 3.4 é um bom previsor para as chuvas de um a três trimestres de antecedência na maioria dos trimestres estudados, principalmente nos trimestres do início do ano (fevereiro, março e abril – FMA).

Recomenda-se que o estudo seja realizado em todos os trimestres do ano tanto com as anomalias de P nos trimestres do ONI, como com as correlações entre o Niño 3.4 e P com o índice simultâneo e adiantado em mais trimestres (4, 5, 6). E que também, sejam

realizadas análises com dados observados no estado de Alagoas e com dados de Radiação de Ondas Longas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANDRADE, L.S. Variabilidade Decadal da Zona de Convergência Intertropical e sua Influência na Pluviosidade da região Norte do Brasil. 2007. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió/AL.

BARAI, E. Variabilidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Continente Africano. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora. Évora – Portugal.

BEZERRA, A. (2006). Aspectos da Circulação Atmosférica de grande escala sobre o Norte e Nordeste do Brasil relacionado com a temperatura da superfície do mar. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

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

BORBA, J.C. Identificação do Potencial Eólico no Estado de Alagoas utilizando dados de reanálises. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió- AL

CASARIN, D.P; KOUSKY E.V.E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações da circulação atmosférica. Revista Brasileira de Meteorologia. 1986.1, 83-90.

CAVALCANTI, A.S. Estudo de caso de precipitações anômalas do Nordeste brasileiro: O evento de Fortaleza- Abril/ 2001. 2002. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas. Maceió-AL.

CITEAU, J; BERGÉS, J.C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G. The watch of ITCZ migrations over tropical Atlantic as an indicator in drought forecast over Sahelian area. *Ocean-Atmosphere Newsletter*, 45, 1-3, 1988.

CURTIS, S.E.; HASTENRATH, S. Trends of upper-air circulation and water vapour over equatorial South America and adjacent oceans. *International Journal of Climatology*, 19, 863-876, 1999.

ESTOQUE, M.A; DOUGLAS, M. Structure of the Intertropical Convergence Zone Over the GATE area. *Tellus*, 30 (1): 55-61. 1978.

FEDOROVA, N. *Meteorologia Sinótica I*. Universidade Federal de Pelotas – UFPel.ed. Editora Gráfica Universitária. 242p. 2001. RS.

FEDOROVA, N. *Meteorologia Sinótica I*. Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Pelotas, Editora Gráfica Universitária, 1999. v. 1, 259p. RS.

FRIERSON, D.M.W.; HWANG, Y.; FICKER, N.S.; SEAGER, R.; KANG, S.M.; DONOHUE, A.; MAROON, E.A.; LIU, X.; BATTISTI, D.S. Contribution of ocean overturning circulation to tropical rainfall peak in the Northern Hemisphere. *Nature Geoscience*, v. 6, n. 11, p. 940, 2013.

FERREIRA, N.S. Zona de Convergência Intertropical. *Climanálise*. IN: CLIMANÁLISE. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. MCT/INPE. Edição Especial de 10 anos. Cachoeira Paulista, SP. 235 p. 1996

FIGUEROA, S.N.; SATYAMURTY, P.E.; SILVA DIAS, P.L.S. Simulations of the summer circulation over the South American region with an ETA coordinate model. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1573-1584, 1995.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.E.; NOBRE, C.A. Clima da Amazônia. In: Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, CPTECINPE, 1999.

FRANK, N.L. On the energetics of cold lows. In: Symposium on Tropical Meteorology, 1., 1970, São José dos Campos. Proceeding... São José dos Campos: American Meteorological Society. p.EIV1-EIV6. 1970.

GAN, M.A. Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. 1982. 80 p. (INPE -2685- TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1983.

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

HASTENRATH, S.E. *Climate and Circulation of the Tropics*. Atmospheric Sciences Library. Published by D. Reidel Publishing Company,. 455 p, 1985.

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

HASTENRATH, S.E.; LAMB, P.J. *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Ocean*. University of Wisconsin Press, Madison, 1977.

HURREL, J.W., VINCENT, D.G. On the maintenance of short-term subtropical westerly maxima in the Southern Hemisphere during SOP-1, FGGE. *J. Climate*, 4, 1009-1022. 1991.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. *Journal Geophysical Research-Oceans*, v. 109, n. C11011, Nov. 2004.

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

KILADIS, G.; DIAZ, H. F. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, v. 2, n. 9, p. 1069-1090, Mar. 1989.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of Meteorological Society of Japan, Tokyo*, v.70, n.4, p.813-835, Ago. 1992.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F.A. A review of the Southern Oscillation: Oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, v. 36, n. 5, 490-504, Oct. 1984.

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

LEMOS, C.F.; CALBETE, N.O. Sistemas Frontais que Atuaram no Litoral de 1987 a 1995. *Climanálise ed 10 anos*. 1996.

MANTUA, N. J., HARE, S., ZHANG, Y., WALLACE, J., & R.C., F. (1997). A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Am Meteorol. Soc.* 78, 1069-1079.

MENDES, D.; CASTRO, C.A.C.; CAMARGO J.R.H.; SANCHES, M. B.; CALBETE, N. O. Monitoramento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) através de dados de temperatura de brilho e radiação de onda longa (ROL). In: Anais do IX Congresso Latino-americano e Ibérico de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires, 2001.

MENDES, D.; VEIGA, J.A.P.; DE MOURA, R.G.; GONDIM, M.A.; CEBALLOS, J. Monitoramento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) através de dados de temperatura de brilho. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro. 3897-3901, 2000.

MOLION, L. C., & BERNARDO, S. O. (2002). Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no . Revista Brasileira de Meteorologia, 1-10.

MOLION, L.C.B.. Micrometeorology of an Amazonian rainforest, in: The Geophysics of Amazonia, Dickinson, R.E. (ed.), 255-270, UNU, John Wiley and Sons, 1987.

MOLION. L.C.B., BERNARDO. S. O., Oliveira. C. P. Variabilidade da Circulação de grande escala sobre o Atlântico Subtropical. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004.

NEELIN, J.D.; BATTISTI, D.S.; HIRST, A.C.; JIN, F.F; WAKATA, Y.; YAMAGATA, T.; AND ZEBIAK, S.E. ENSO. Theory. J. Geophys. Res., 103, 14 261–14 290. 1998.

NOBRE, C.A., 1988: Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. Climanálise, 3(4), 30-33.

OLIVEIRA, A.S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. 1986. 134p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PALMER, C.E. On high-level cyclones originating in the tropics. Transactions of American Geophysical Union, v. 32, n.5, p. 683-695, Oct.1951.

PHILANDER, S. (1990). El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press San Diego.

PHILANDER, S. H., GU, D., LAMBERT, G., LI, T., HALPERN, D., LAU, N., & Pacanowski, R. (1996). Why the ITCZ is mostly north of the equator? J. Climate, 9, 12, 2958-2972.

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

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. Theoretical and Applied Climatology, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

RASMUSSON, F.M.; CARPENTER, T.H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. Monthly Weather Review, v.110, n.5, p.354384. 1982.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. Monthly Weather Review, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, Aug. 1987.

SANCHES, M.B.; SILVA DIAS, M.A.F. Análise sinótica de verão. A influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). In: 9o Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.1, p.439-443, 1996.

SILVA, L.F. Precipitação do norte do nordeste brasileiro e padrões de temperatura da superfície do mar e pressão ao nível do mar: relações com as fases do El Niño/Oscilação Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico. 2006. 95 p. (INPE-14080-TDI/1068). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. Disponível em: . Acesso em: Novembro de 2008.

UVO, C. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste Brasileiro. São José dos Campos, SP, INPE.- 4887-TDL/ 378. Dissertação. (Mestrado em Meteorologia), 1989.

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