



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

JONATHA SOARES GOMES

**INFLUÊNCIA DO EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL NO POTENCIAL
EÓLICO TÉCNICO *OFFSHORE* DA REGIÃO DA COSTA NORTE DO
NORDESTE DO BRASIL**

Rio de Janeiro, RJ
Setembro, 2022

JONATHA SOARES GOMES

**INFLUÊNCIA DO EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL NO POTENCIAL
EÓLICO TÉCNICO *OFFSHORE* DA REGIÃO DA COSTA NORTE DO
NORDESTE DO BRASIL**

Monografia submetida ao corpo docente
do Departamento de Meteorologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Rio de Janeiro como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel
em Meteorologia.

Orientadores:

Prof. Luiz Claudio Gomes Pimentel, D.Sc.

Prof. Luiz Paulo de Freitas Assad, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ

Setembro, 2022

CIP - Catalogação na Publicação

G633i Gomes, Jonatha Soares
 INFLUÊNCIA DO EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL NO
 POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO OFFSHORE DA REGIÃO DA COSTA
 NORTE DO NORDESTE DO BRASIL / Jonatha Soares Gomes.
 -- Rio de Janeiro, 2022.
 85 f.

 Orientador: Luiz Claudio Gomes Pimentel.
 Coorientador: Luiz Paulo de Freitas Assad.
 Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
 de Geociências, Bacharel em Meteorologia, 2022.

 1. Energia eólica. 2. Zona de Convergência
 Intertropical. 3. El Niño - Oscilação Sul. 4. ERA
 5. 5. MERRA-2. I. Pimentel, Luiz Claudio Gomes,
 orient. II. Assad, Luiz Paulo de Freitas, coorient.
 III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

INFLUÊNCIA DO EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL NO POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO OFFSHORE DA REGIÃO DA COSTA NORTE DO NORDESTE DO BRASIL

Jonatha Soares Gomes

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado por:

Prof. Dr. Luiz Claudio Pimentel
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Prof. Dr. Edilson Marton
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Prof. Dr. Nilton Oliveira Moraes
Alerta-Rio – Geo-Rio

Prof. Dr. Milad Shadman
COPPE – UFRJ

Rio de Janeiro, RJ
Setembro, 2022

“Eu não falhei. Eu encontrei 10.000 maneiras que não funcionam.”

Thomas Edison

AGRADECIMENTOS

De antemão agradeço a Deus por ter me dado forças para não desistir nos momentos mais difíceis. Minha família foi fundamental por sempre me incentivar a estudar. Nas manhãs da minha infância, minha mãe Ana me acordava para me ensinar a contar e a ler. Sou muito grato a ela, que foi com quem aprendi a ler e a contar antes mesmo de aprender isso na escola. Agradeço ao meu pai Denilson, que desde cedo sempre explicou que a vida é bem mais complicada sem o estudo. Meu pai sempre buscou segurar todas as obrigações de uma vida adulta para que eu e minhas irmãs Ingrid e Myllena pudéssemos seguir a vida pela via do estudo. Agradeço às chatas das minhas irmãs, que me perturbavam na hora de estudar. Sendo que, por vezes, eu precisava parar para resolver exercícios das escola junto com a Ingrid e tentava mostrar para Myllena o que ela se depararia nos próximos anos.

Pela minha iniciação no mundo científico, agradeço ao professor Manuel Gustavo Leitão Ribeiro por ter me acolhido em seu laboratório na UFF e ter me ensinado sobre ter disciplina e responsabilidade no que diz respeito a assuntos acadêmicos e da vida. Ao lembrar da minha passagem pela UFF, é impossível não lembrar da inesquecível Chayenne Santos Muquim (*in memoriam*), que me ensinou desde dissecar camundongos até a desconfiar e ver sentido em resultados obtidos nos experimentos. A Chay foi fundamental na minha vontade de fazer faculdade e ela sempre vibrou comigo quando eu contava que tinha sido aprovado nas matérias. Eu nunca vou esquecer de você, Chay! Agradeço ainda aos amigos que fiz no laboratório do professor Gustavo: A Taiana, a Karen, a Livia, o Alessandro e o Jonathan. Vocês foram muito importantes para minha jornada.

Agradeço aos professores que me deram aula no Colégio Estadual Dr. Adino Xavier pelo esforço e dedicação em ensinar, apesar de toda dificuldade relativa a uma escola pública. Agradeço também ao professor Luiz Cláudio, que me recebeu com toda a minha defasagem de um ensino de escola pública e me cedeu o espaço no antigo NCQAr para que eu pudesse superar as dificuldades impostas pelo início da graduação. Além disso, o professor Luiz Claudio me apresentou um dos pilares da Universidade: a extensão. Agradeço também ao professor Luiz Paulo que me convidou para iniciar as pesquisas em energia eólica e abriu espaço para mim no LAMCE e, graças a isso, auxiliou-me a aprender a programar.

Aos amigos que conquistei durante a graduação, em especial a Alessandra Carbonel. Esta dedicou muitas horas do seu dia para me ajudar a entender todos os conceitos que eu não conseguia entender em aula. A Alessandra me mostrou que eu era capaz de passar em disciplinas que eu nem acreditava (por ter reprovado tudo no primeiro semestre). Aos amigos Pamella Amaro, Giselle Petrungaro, Ana Clara Marques, Larissa Ramos, Felipe Pereira, Rebecca Gold, Anne Melo, Douglas Máximo, Jessica Lobato, Emille Mazzaro, Karine Rodrigues tantos outros que estiveram nos meus melhores e piores momentos. Amo vocês!

Deixo aqui um espaço reservado para aqueles que eu possa ter esquecido: A
você, meu muito obrigado!

RESUMO

INFLUÊNCIA DO EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL NO POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO *OFFSHORE* DA REGIÃO DA COSTA NORTE DO NORDESTE DO BRASIL

Jonatha Soares Gomes

Setembro/2022

Por estar associada às atividades industriais, de transporte, bem como atividades domésticas, a energia está associada ao desenvolvimento econômico dos países. A produção e a distribuição da energia elétrica pode contribuir para a emissão de gases de efeito estufa, resultando no aquecimento global, por isso há a necessidade do desenvolvimento de pesquisas na área de energias renováveis. Dentre as diversas fontes de energia renovável, há a energia eólica. Sendo assim, o objetivo deste trabalho se baseia em compreender a variação do potencial eólico em função das fases positiva e negativa do El Niño - Oscilação Sul (ENOS) para cada estação do ano, bem como avaliar a influência do ENOS na posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ambos para a costa norte do Nordeste do Brasil (NEB). Para tanto, utilizou-se os produtos da reanálise ERA-5 para o cálculo do Índice Niño Oceânico (INO), do potencial eólico *offshore* na costa norte do NEB e, consequentemente, a diferença causada pelo ENOS no potencial eólico da região mencionada. Resultados mostram que o potencial eólico é altamente sensível às anomalias de intensidade do vento a 100 m, visto que, mesmo para valores menores que 1 m/s, ocorrem variações da ordem de 10^3 W do potencial eólico *offshore* da costa norte do NEB. Além disso, a estação que sofreu maior influência do ENOS foi o outono com $\pm 33,33\%$ de variação do potencial eólico em relação à média climatológica.

ABSTRACT

EL NIÑO - SOUTH OSCILLATION INFLUENCE IN THEORETICAL WIND ENERGY FROM OFFSHORE REGION OF THE NORTH COAST OF NORTHEASTERN BRAZIL

Jonatha Soares Gomes

August/2022

Because it is associated with industrial activities, transport, as well as domestic activities, energy is associated with the economic development of countries. The production and distribution of electrical energy can contribute to the emission of greenhouse gases, resulting in global warming, so there is a need to develop renewable energies. Among the various sources of renewable energy, there is wind energy. Therefore, the objective of this work is based on understanding the variation of the wind potential as a function of the positive and negative phases of El Niño - Southern Oscillation (ENSO) for each season of the year, as well as evaluating the influence of ENSO on the position of the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ), both for the north coast of the Northeast Brazil (NEB). For that, the products of the ERA-5 reanalysis were used to calculate the Oceanic Niño Index (ONI), of the offshore wind potential on the north coast of the NEB and, consequently, the difference caused by ENSO in the wind potential of the mentioned region. Results show that the wind potential is highly sensitive to wind intensity anomalies at 100 meters, since, even for values lower than one m/s, variations of the order of 10^3 W of the offshore wind potential of the north coast of the NEB occur. In addition, the season that was most influenced by ENSO was autumn with $\pm 33.33\%$ variation in wind potential in relation to the climatological average.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVOS GERAIS	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 CÉLULA DE HADLEY	17
3.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL	19
3.2.1 Definição	19
3.2.2 Caracterização da ZCIT	19
3.2.3 Variação sazonal	20
3.3 VARIABILIDADE INTERANUAL	21
3.3.1 Dipolo do Atlântico	21
3.3.2 ZCIT e El Niño - Oscilação Sul	22
3.3.2.1 El Niño - Oscilação Sul interferindo na ZCIT	24
3.3.2.2 Índices do ENOS	25
4. METODOLOGIA E DADOS	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES DE ESTUDO	26
4.2 VARIÁVEIS E PRODUTOS UTILIZADOS	27
4.3 REANÁLISES X DADOS OBSERVADOS	28
4.4 DIAGRAMA DE TAYLOR	28
4.4.1 Coeficiente de correlação	29
4.4.2 Raiz quadrada do erro médio	29
4.5 ÍNDICE NIÑO OCEÂNICO (INO)	30
4.6 COMPOSTOS DE CASOS DE EL NIÑO/LA NIÑA	30
4.7 CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 REANÁLISES X DADOS OBSERVADOS	33
5.1.1 Bahia	33
5.1.2 Recife	34
5.1.3 Fortaleza	35
5.2 ÍNDICE NIÑO OCEÂNICO ERA 5 X ERSST 5	36
5.3 ENOS E O PERÍODO DE ESTUDO	37
5.4 COMPOSTO DE CASOS EL NIÑO E LA NIÑA	37
5.4.2 Outono	40
5.4.3 Inverno	43
5.4.4 Primavera	44
5.5 DIFERENÇA ENOS - CLIMATOLOGIA	47
5.5.1 Verão (ENOS - Climatologia)	47
5.5.2 Outono (ENOS - Climatologia)	48

5.5.3 Inverno (ENOS - Climatologia)	48
5.5.4 Primavera (ENOS - Climatologia)	49
5.6 VARIAÇÃO DA POSIÇÃO DA ZCIT	50
5.6.1 Variação da posição da ZCIT - Climatologia	50
5.6.2 Variação da posição da ZCIT - Climatologia x ENOS	51
5.6.2.1 Variação da posição da ZCIT - Verão	52
5.6.2.2 Variação da posição da ZCIT - Outono	53
5.6.2.3 Variação da posição da ZCIT - Inverno	54
5.7 POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO	55
5.7.1 Verão	55
5.7.2 Outono	57
5.7.4 Primavera	61
5.8 POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO X ENOS	63
5.8.1 Verão (ENOS - Climatologia)	63
5.8.2 Outono (ENOS - Climatologia)	64
5.8.3 Inverno (ENOS - Climatologia)	65
5.8.4 Primavera (ENOS - Climatologia)	65
6. CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXO 1 - ESCALA BEAUFORT	72
APÊNDICE B - TABELA DE CASOS LA NIÑA	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conservação de momento angular do ar fluindo em direção aos pólos em circulação em torno do eixo de rotação. Fonte: <https://sites.google.com/site/astroamador/movimentosdaterra>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

Figura 2: Esquema da Célula de Hadley, indicando circulação fechada na região compreendida entre o equador e aproximadamente 30°N e 30°S. adaptado de: <https://www.twinkl.com.br/illustration/hadley-cell-diagram-air-weather-geography-ks3>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

Figura 3: Zona de Convergência Intertropical e seus ventos alísios. Fonte: <http://www.ebanataw.com.br/roberto/chuvas/fenomenosatmosfericos.php>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

Figura 4: Esquema representando a variabilidade sazonal da posição da Zona de Convergência Intertropical. Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITCZ_january-july.png. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

Figura 5: Representação do Dipolo do Atlântico nas suas fases positiva e negativa interferindo na posição da Zona de Convergência Intertropical. Fonte: <https://www.abaxodezero.com/index.php?/topic/6816-monitoramento-e-previs%C3%A3o-clim%C3%A1tica-ensosstaapdo-2021/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

Figura 6: Representação das fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Fonte: <https://www.climate.gov/enso>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

Figura 7: Domínio da região utilizada para visualizar a variação da posição da confluência dos ventos alísios nas bacias do Pacífico e do Atlântico. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 8: Domínio da região utilizada para visualizar o vento a 100 metros de altura e o potencial eólico *offshore*. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 9: Comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada na Bahia. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 10: Comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada em Recife. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 11: Comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada em Fortaleza. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 12: Índice do Niño Oceânico (ONI) do a) NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST v5) e b) ECMWF Reanalysis v5 (ERA v5). Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 13: Frequência dos casos de a) El Niño e b) La Niña em função dos trimestres para o período de 1990 a 2021. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 14: a) compostos de n casos de El Niño b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do verão, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do verão. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 15: a) compostos de n casos de El Niño, b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do outono, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do outono. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 16: a) compostos de n casos de El Niño, b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do inverno, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do inverno. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 17: a) compostos de n casos de El Niño, b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do primavera, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação de primavera. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 18: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o verão. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 19: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o outono. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 20: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o inverno. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 21: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para a primavera. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 22: Variação sazonal da ZCIT extraída da reanálise ERA-5. Fonte: Autoria

própria (2022).

Figura 23: Comparação entre a posição da ZCIT no verão em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 24: Comparação entre a posição da ZCIT no outono em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 25: Comparação entre a posição da ZCIT no inverno em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 26: Comparação entre a posição da ZCIT na primavera em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 27: Potencial eólico técnico no verão para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 28: Potencial eólico técnico no outono para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 29: Potencial eólico técnico no inverno para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 30: Potencial eólico técnico na primavera para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 31: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o verão. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 32: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o outono. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 33: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o inverno. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 34: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para a primavera. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

1. INTRODUÇÃO

A disposição plena de energia tem sido considerada como um dos elementos cruciais para o desenvolvimento econômico dos países (TOLMASQUIM, GUERREIRO e GORINI, 2007).

A energia elétrica é um elemento importante para as atividades humanas por estar associada à qualidade de vida (BORGES, BARAÚNA e CHOTOE, 2015), de maneira a suprir as necessidades desde escalas locais e regionais até nacionais (GOMES e VIEIRA, 2009). Um exemplo disso pôde ser observado no trabalho de Walter (2007), que apresenta uma relação bem perceptível entre Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o consumo per capita de energia elétrica, de modo que países com valores altos de IDH apresentam os maiores valores de consumo de energia elétrica per capita e o oposto ocorrendo para países com os menores valores desse índice.

Desta forma, é notável que o alto consumo de energia per capita está associado aos países desenvolvidos. Ainda de acordo com Walter (2007), devido à contribuição de 60% a 65% da emissão de gases do efeito estufa oriundas das atividades de produção e distribuição da energia elétrica, surge a importância de voltar os esforços para o desenvolvimento das energias renováveis. Além das emissões dos gases de efeito estufa, outro fator relevante para o estudo de energias renováveis é o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, estimulando o uso das energias renováveis em larga escala, bem como estimulando a busca pela diversificação da matriz energética (RANGEL, BORGES e DOS SANTOS, 2016).

Dentre várias formas de obtenção da energia elétrica a partir de fontes renováveis, há a energia eólica, que, devido ao fato de não necessitar da utilização de combustíveis fósseis para gerar eletricidade, é apresentada como uma alternativa energética limpa e competitiva por apresentar baixo custo financeiro (SIMAS e PACCA, 2013). Além disso, outro aspecto importante é que a energia eólica *offshore* na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) é aproximadamente 12 vezes maior que a energia eólica continental do Brasil, conforme apresentado por Ortiz e Kampel (2011).

O Nordeste do Brasil (NEB) já apontava uma estimativa de potencial eólico de 309 GW *onshore* e já indicava que a região oceânica costeira do NEB apresentava as áreas mais favoráveis à obtenção de energia, de acordo com o

estudo de Pereira (2016). Pereira (2016) ainda revela que, o potencial eólico *offshore* no Brasil ainda é totalmente inexplorado. Levando em consideração todos esses aspectos, é justificável que o NEB seja alvo de estudos relativos ao potencial eólico *offshore* em função de sistemas meteorológicos atuantes nessa região, sendo a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) o sistema que atua diretamente na região tropical do globo, de modo mais específico no NEB (DE MELO *et al.*, 2002).

Tendo em vista o que foi apresentado até agora, nota-se a necessidade de compreender os fatores que influenciam no escoamento atmosférico do NEB.

De acordo com a literatura e reiterado por Schneider (2006), na região equatorial há a presença da célula de Hadley, que, em superfície, é responsável por direcionar o escoamento de baixos níveis em direção ao equador. Este escoamento é conhecido como ventos alísios de nordeste (sudeste), quando direcionado do Hemisfério Norte (Sul) para o equador. A convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste pode caracterizar um sistema meteorológico importante para o NEB, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (ZHOU *et al.*, 2020).

Estudos preliminares sugerem relação entre o posicionamento da ZCIT, a intensidade do vento *offshore* no NEB e sua respectiva energia associada (GOMES *et al.*, 2021). Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste em investigar possíveis fatores que possam influenciar na célula de Hadley, tais como El Niño - Oscilação Sul, e consequentemente no posicionamento da ZCIT e como essa sucessão de fatores afetam a disponibilidade de vento *offshore* na região de influência do NEB.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a influência do ENOS na posição da ZCIT e o regime de vento, ambos para a costa norte do NEB, bem como compreender a variação do potencial eólico técnico em função das fases positiva e negativa do El Niño Oscilação Sul para cada estação do ano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparação estatística, através do Diagrama de Taylor, dos produtos das reanálises ERA-5 e MERRA-2 com base nos dados meteorológicos das bóias;
- Analisar como os produtos da reanálise mais aderente aos dados de bóia representam as fases positiva e negativa e a intensidade do ENOS;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CÉLULA DE HADLEY

No século XVII, Hadley já buscava entender o que modulava os ventos alísios (SCHNEIDER, 2006). Hadley sabia que os mecanismos que formavam os ventos alísios não eram completamente explicados por qualquer teoria escrita até então e acabou por reconhecer que a rotação da Terra é a responsável pelo vento médio em superfície e que a circulação global é fundamental para manter esse padrão (SCHNEIDER, 2006).

Segundo Hadley, o aquecimento diferencial causa a ascensão do ar próximo ao equador e, por conservação de massa, flui em direção aos pólos em altos níveis (SCHNEIDER, 2006). Hadley previu uma circulação simétrica e estável sobre o eixo de rotação da Terra (SCHNEIDER, 2006). A ausência de forças de atrito e o fato de cada parcela de ar fluindo para os pólos (em circulação simétrica em relação ao eixo da Terra) implica na conservação de momento angular em relação ao eixo de rotação da Terra (SCHNEIDER, 2006). A Figura 1 mostra a conservação de momento angular do ar fluindo em direção aos pólos em circulação em torno do eixo de rotação da Terra.

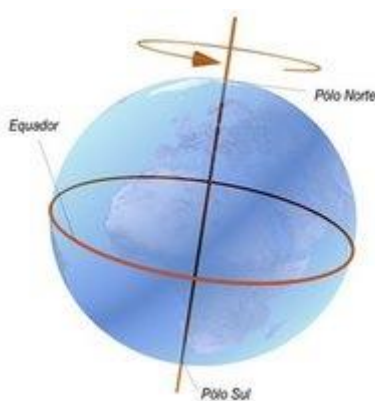


Figura 1: Conservação de momento angular do ar fluindo em direção aos pólos em circulação em torno do eixo de rotação. Fonte: <https://sites.google.com/site/astroamador/movimentosdaterra>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

À medida que uma parcela de ar se desloca em direção aos pólos, a sua distância do eixo da Terra diminui (SCHNEIDER, 2006). Dessa forma, por conservação do momento angular, ocorre um aumento na intensidade do vento zonal de leste (SCHNEIDER, 2006). O resfriamento diferencial provoca a

descendência do ar em latitudes maiores e, sob condições de conservação de momento angular, acarreta em ventos de oeste em baixos níveis e em maiores latitudes (SCHNEIDER, 2006).

Os ventos de superfície da célula de Hadley são desacelerados pelo arrasto de superfície e são direcionados para o equador, para fornecer o fluxo de retorno necessário para fechar a circulação (SCHNEIDER, 2006). Devido a esse arrasto, o fluxo de retorno desse escoamento de latitudes médias para latitudes menores não conserva momento angular (SCHNEIDER, 2006). A Figura 2 apresenta um esquema da Célula de Hadley.

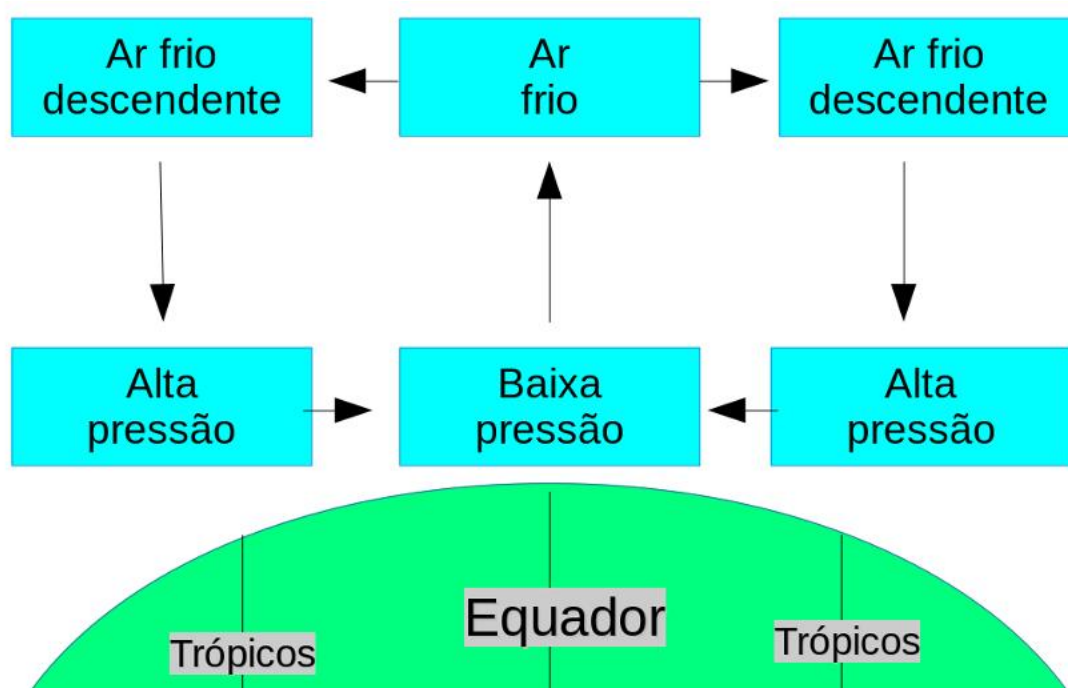


Figura 2: Esquema da Célula de Hadley, indicando circulação fechada na região compreendida entre o equador e aproximadamente 30°N e 30°S. adaptado de: <https://www.twinkl.com.br/illustration/hadley-cell-diagram-air-weather-geography-ks3>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

Como representado na Figura 2, Hu, Li *et al.* (2007) também apresentaram que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) constitui o ramo ascendente da célula de Hadley. Hu, Li *et al.* (2007) também apresentaram que mudanças abruptas nesta célula de circulação podem estar acompanhadas de mudanças abruptas na migração sazonal da ZCIT, quando se observa o escoamento atmosférico acima de 500 hPa.

3.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL

3.2.1 Definição

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pode ser definida como uma faixa de ar ascendente em escala planetária na região tropical (CAVALCANTI *et al.*, 2009 e ZHOU *et al.*, 2020). É caracterizada pela convergência dos ventos alísios e pela presença de intensa atividade convectiva na região tropical (ZHOU *et al.*, 2020). A Figura 3 apresenta a Zona de Convergência Intertropical e seus ventos alísios.



Figura 3: Zona de Convergência Intertropical e seus ventos alísios. Fonte: <http://www.ebanataw.com.br/roberto/chuvas/fenomenosatmosfericos.php>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

3.2.2 Caracterização da ZCIT

A ZCIT pode ser caracterizada por um conjunto de elementos meteorológicos e oceanográficos, a saber: Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), a região do cavado equatorial, região dos maiores valores de Temperatura da Superfície do Mar

(TSM) e da máxima convergência de massa e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Essas variáveis não apresentam a posição e a intensidade da ZCIT no mesmo instante de tempo, contudo, apresentam alta correlação entre si (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Ao estudar fenômenos associados ao deslocamento da ZCIT, obtém-se resultados bastante semelhantes ao comparar quaisquer variáveis às quais podem ser utilizadas para definir o posicionamento da ZCIT (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

3.2.3 Variação sazonal

Na região equatorial do oceano Atlântico a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte ($\sim 14^{\circ}\text{N}$) durante agosto-setembro e para sua posição mais ao sul ($\sim 2^{\circ}\text{S}$) durante março-abril em anos considerados normais em relação à climatologia (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Isso se deve ao fato de a ZCIT estar relacionada à intensidade dos ventos alísios de nordeste e sudeste que atuam nessa região (CAVALCANTI *et al.*, 2009). A Figura 4 apresenta um esquema representando a variabilidade sazonal da posição da Zona de Convergência Intertropical.

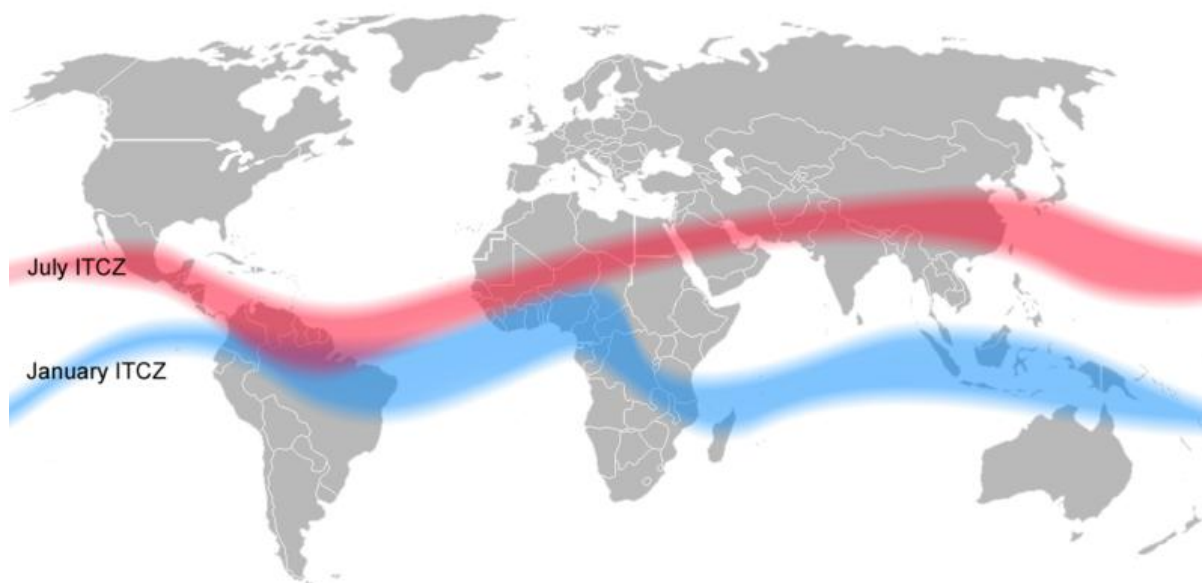


Figura 4: Esquema representando a variabilidade sazonal da posição da Zona de Convergência Intertropical. Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITCZ_january-july.png. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

No NEB, os estados que mais sofrem influência da ZCIT são: Maranhão (norte e centro), Piauí (norte e centro), Ceará, Rio Grande do Norte e os sertões da Paraíba e de Pernambuco (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Porém, de acordo com Cavalcanti *et al.* (2009), a influência da ZCIT nos estados mencionados refere-se apenas aos máximos de precipitação, que ocorrem nos meses de março-abril (posição mais ao sul da ZCIT em anos considerados normais em relação à climatologia).

3.3 VARIABILIDADE INTERANUAL

3.3.1 Dipolo do Atlântico

Nobre e Shukla (1996) sugeriram que a variabilidade interanual da TSM e do *stress* do vento em superfície sobre o Atlântico tropical é dominado por um padrão de assimetria em relação ao equador, de modo que os seus resultados obtidos a partir das análises de compostos indicaram que variações na força dos ventos alísios são as forçantes primárias para alterações da temperatura do Atlântico tropical, gerando um padrão de dipolo de anomalias de TSM, também conhecido como **Dipolo do Atlântico**. Desta forma, ventos alísios mais fracos estão associados a TSM mais quente e ventos alísios mais intensos, a TSM mais fria (NOBRE, SHUKLA, 1996).

Outra conclusão do trabalho de Nobre e Shukla (1996) foi que a componente meridional do vento poderia estar atuando em resposta ao gradiente meridional de anomalia de TSM sobre o Atlântico equatorial, o que sugere que a anomalia da circulação atmosférica sobre atlântico tropical (excluindo o equador) primeiro causa a formação do gradiente de anomalias de TSM que, por sua vez, força o deslocamento da ZCIT para águas mais quentes (NOBRE, SHUKLA, 1996), conforme é representado na Figura 5.

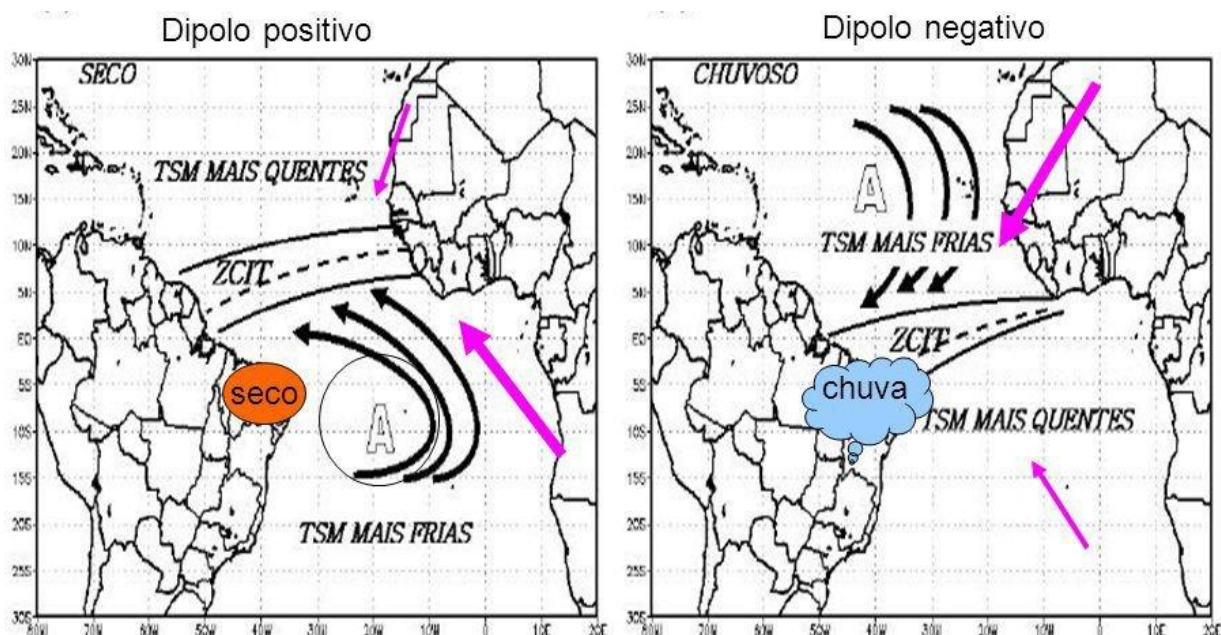


Figura 5: Representação do Dipolo do Atlântico nas suas fases positiva e negativa interferindo na posição da Zona de Convergência Intertropical. Fonte: <https://www.abaxodezero.com/index.php?/topic/6816-monitoramento-e-previs%C3%A3o-clim%C3%A1tica-ensosstaaopdo-2021/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

Já Hastenrath e Heller (1977) associaram a influência da ZCIT na região do NEB aos sistemas de alta pressão do Atlântico, que são a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN). Quando a ASAS se desloca em direção ao equador e ocorre o enfraquecimento da ASAN e do seu respectivo deslocamento em direção a latitudes mais altas do Hemisfério Norte, a ZCIT se posiciona mais a norte de sua posição climatológica (CAVALCANTI *et al.*, 2009). O inverso ocorre quando a ASAN se intensifica e se desloca em direção ao equador e a ASAS se retrai e se desloca para maiores latitudes no hemisfério sul (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

3.3.2 ZCIT e El Niño - Oscilação Sul

Trenberth (1997b) mostra que o termo “El Niño” era originalmente associado a uma corrente oceânica anual, fraca e quente que segue para sul ao longo da costa do Peru e Equador em datas próximas ao Natal e, dessa forma, tornou-se associada ao aquecimento oceânico anômalo significativamente alto que ocorre na frequência de alguns anos e interfere na ecologia regional e local. Trenberth (1997b) ainda aborda a dificuldade em definir o fenômeno devido a mudanças nos

significados. O fato de alguns cientistas associarem o ENOS apenas a um fenômeno costeiro, enquanto que outros associam a um fenômeno que abrange toda bacia do Pacífico, faz com que ocorra uma confusão conceitual no que se refere à definição do ENOS (TRENBERTH, 1997b).

Considerando a definição utilizada por Reboita, Ambrizzi, et al., (2021) e por Trenberth (1997b), o El Niño Oscilação Sul (ENOS) pode ser definido como um fenômeno natural que ocorre pelo acoplamento Oceano-Atmosfera e que é caracterizado pelas anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM) do Oceano Pacífico equatorial e pelos padrões de circulação da sua atmosfera adjacente.

O El Niño corresponde à fase quente do ENOS (TRENBERTH, 1997b). As águas superficiais do Pacífico equatorial são anormalmente quentes (AMERICAN GEOSCIENCES INSTITUTE, 2016). Os ventos alísios de leste para oeste se enfraquecem e as águas quentes da superfície, que normalmente ficam no Pacífico oeste, deslocam-se para leste ao longo do equador (AMERICAN GEOSCIENCES INSTITUTE, 2016). As tempestades, por sua vez, seguem o deslocamento dessa água quente, resultando em secas no norte da Austrália e sudeste da Ásia e condições mais úmidas afetam a costa leste do Pacífico (oeste da América do Sul), conforme ilustrado na Figura 6 (AMERICAN GEOSCIENCES INSTITUTE, 2016).

A La Niña, por outro lado, corresponde à fase fria do ENOS, a qual consiste no resfriamento das águas superficiais Pacífico Tropical (TRENBERTH, 1997b). Esse processo ocorre de modo que os ventos alísios se intensificam e ocorre o deslocamento da água quente e das tempestades para o Pacífico oeste em direção à Indonésia (AMERICAN GEOSCIENCES INSTITUTE, 2016). Assim, ocorre o resfriamento das águas superficiais do Pacífico equatorial, conforme ilustrado na Figura 6.

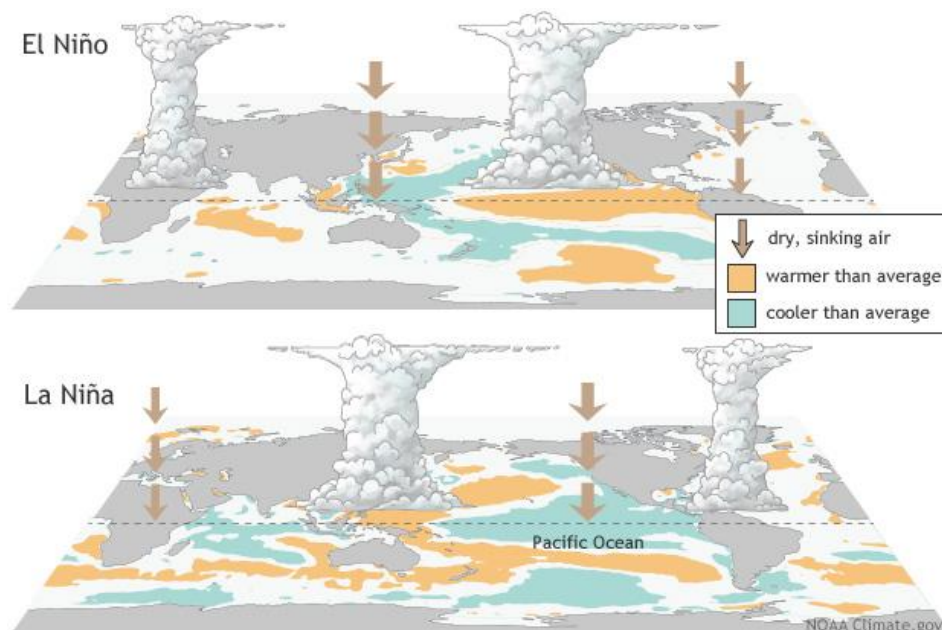


Figura 6: Representação das fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Fonte: <https://www.climate.gov/enso>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

3.3.2.1 El Niño - Oscilação Sul interferindo na ZCIT

De acordo com os resultados de Reboita, Ambrizzi, *et al.* (2021), foi verificado que eventos de La Niña enfraquecem a ASAS, de modo a influenciar nos ventos alísios. Por outro lado, em eventos de El Niño, ocorre a intensificação da ASAS através dos trens de ondas de Rossby originados no Oceano Pacífico equatorial.

Como descrito anteriormente por Cavalcanti, *et al.* (2009), o enfraquecimento ou a intensificação das altas na bacia do Atlântico interferem no posicionamento da ZCIT. Dessa forma, os resultados de Reboita, Ambrizzi, *et al.* (2021) podem sugerir que, em eventos de La Niña, o posicionamento da ZCIT tende a ser mais ao sul de sua posição climatológica. Da mesma forma, em eventos de El Niño, o posicionamento da ZCIT tende a ser mais ao norte de sua posição climatológica com a intensificação da ASAS através dos trens de onda de Rossby formados no Pacífico equatorial.

Já os resultados encontrados por Xavier, Dias, *et al.* (2003) indicam explicitamente a relação do posicionamento da ZCIT em função do ENOS. Ao longo do meridiano de 37°W, há uma tendência da ZCIT permanecer próxima à linha do equador em eventos de El Niño e em ENOS neutro e La Niña, a ZCIT alcança sua posição mais ao sul do equador e regiões mais próximas ao norte do NEB (XAVIER, DIAS, *et al.*, 2003).

3.3.2.2 Índices do ENOS

Existem diversos indicadores que definem as fases e a intensidade do ENOS, alguns desses indicadores são apresentados pelo “US DEPARTMENT OF COMMERCE, NOAA, NATIONAL WEATHER SERVICE” ([S.d.]). Sendo alguns deles: Índice Niño Oceânico da NOAA (INO ou ONI - do inglês Oceanic Niño Index) (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php), O Índice da Agência Meteorológica do Japão (JMA) (<https://www.coaps.fsu.edu/jma>), o Índice de Oscilação Sul (IOS ou SOI - Southern Oscillation Index) (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>), entre outros.

O índice a ser utilizado neste trabalho será o Índice Niño Oceânico da NOAA (INO), porque é um índice que busca reduzir ruídos oriundos da escala intrassazonal (SOUZA, REBOITA, 2021) e considera a escala de todo o Niño 3.4, diferentemente do SOI, que leva em consideração os valores locais da pressão a nível médio do mar em Taiti e em Darwin. Visto isso, o SOI pode ser afetado por fenômenos micrometeorológicos e essa escala não foi considerada neste trabalho. Já o índice da JMA é semelhante ao INO, porém com uma média móvel com janela de 6 meses. Sendo assim, o índice da JMA não torna possível uma avaliação de cada estação do ano, por exemplo.

O INO consiste em calcular valores médios mensais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e subtrair o valor de TSM cada mês da série climatológica do valor médio para cada mês, ou seja, o cálculo das anomalias de TSM (ATSM). Calcula-se o valor médio para o domínio espacial do Niño 3.4 com os valores de ATSM e obtém-se uma série dessa média espacial para cada mês em todo período de estudo, posteriormente, calcula-se a média móvel trimestral para toda a série temporal e aplica-se os limiares estabelecidos por este método para definir a fase e a intensidade do ENOS.

4. METODOLOGIA E DADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES DE ESTUDO

Serão consideradas duas áreas distintas, a saber: A **primeira** que está compreendida entre as latitudes 15 °N e 15°S e as longitudes entre 180°W a 5°E e a **segunda** que está compreendida entre as latitudes 10°N e 10°S e pelas longitudes 60°W e 20°W.

A fim de observar o aquecimento das águas superficiais do Pacífico e para calcular o Índice Niño Oceânico bem como acompanhar a variação espacial do posicionamento da ZCIT (através da confluência dos ventos alísios) tanto no oceano Pacífico quanto no Atlântico, a primeira região de estudo está compreendida entre as latitudes 15 °N e 15°S e as longitudes entre 180°W a 5°E. A Figura 7 apresenta o domínio da região utilizada para visualizar a variação da posição da confluência dos ventos alísios nas bacias do Pacífico e do Atlântico.



Figura 7: Domínio da região utilizada para visualizar a variação da posição da confluência dos ventos alísios nas bacias do Pacífico e do Atlântico. Fonte: Autoria própria (2022).

Para analisar o posicionamento da ZCIT e o potencial eólico *offshore* na costa norte do NEB, será considerada a localização delimitada pelas latitudes 10°N e 10°S e pelas longitudes 60°W e 20°W. A Figura 8 apresenta o domínio da região utilizada para visualizar o vento a 100 metros de altura e o potencial eólico *offshore*.

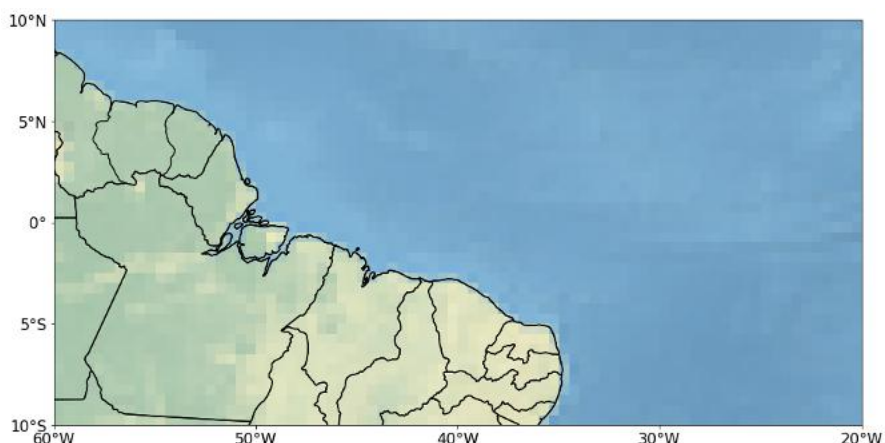


Figura 8: Domínio da região utilizada para visualizar o vento a 100 metros de altura e o potencial eólico *offshore*. Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 VARIÁVEIS E PRODUTOS UTILIZADOS

Com o objetivo de compreender a variabilidade da ZCIT, serão utilizadas variáveis meteorológicas obtidas a partir das reanálises *ECMWF Re-Analysis* (ERA 5) com resolução horizontal de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e *Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications* (MERRA 2) com resolução horizontal de $0,5^\circ \times 0,625^\circ$, tais como:

- Temperatura da Superfície do Mar (TSM);
- Componentes zonal e meridional do vento a 10 e a 100 m

Além dessas reanálises, foi utilizado o dado de batimetria da GEBCO/Nippon (GEBCO, 2020) com resolução espacial de 15 arc sec. A profundidade máxima utilizada foi de 1000 m, pois, de acordo com Vinhoza (2019) é a batimetria utilizada quando se leva em consideração tecnologias flutuantes. Caso contrário, a batimetria ficaria limitada a 50-60 m ao considerar aerogeradores de estruturas fixas. Como abordado por Vinhoza (2019), a batimetria é um parâmetro importante para limitar tecnicamente as áreas viáveis para exploração de energia do vento devido à tecnologia atual de geração.

O período de estudo está compreendido entre os anos de 1990 e 2020. Os campos dessas variáveis foram obtidos a partir do desenvolvimento de rotinas escritas na linguagem Python 3.8 (<https://www.anaconda.com/products/distribution>).

4.3 REANÁLISES X DADOS OBSERVADOS

Foi realizada a comparação entre dados de bóia do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SIMCosta) e do Programa Nacional de Bóia (PNBOIA) com os pontos de grade das reanálises MERRA-2 e ERA-5 mais próximos à localização dessas bóias. No Quadro 1 são apresentadas as informações referentes aos dados de bóia.

Quadro 1 - Informativo sobre os dados de bóia

LOCAL	LAT/LON	ORIGEM	DATAS INICIAL E FINAL
RECIFE	8,15°S/34,56°W	PNBOIA	21/09/2012 a 06/04/2016
FORTALEZA	3,21°S/38,43°W	PNBOIA	18/11/2016 a 20/05/2018
BAHIA	12,98°S/38,54°W	SIMCOSTA	02/08/2019 a 07/06/2022

Para cada local, extraiu-se a série da intensidade do vento a 10 metros de altura dos pontos de grades das reanálises, os mais próximos à localização das bóias. Em seguida, calculou-se as métricas estatísticas necessárias para a visualização do Diagrama de Taylor, que será apresentado na seção 5.1.

4.4 DIAGRAMA DE TAYLOR

O diagrama de Taylor busca sumarizar de forma concisa a relação entre uma variável modelada e essa mesma variável observada (TAYLOR, 2001). Para isso, calcula-se algumas métricas estatísticas relativas a uma série de dados de uma determinada variável. Essas métricas são o desvio padrão, o coeficiente de correlação e a raiz quadrada do erro médio.

4.4.1 Coeficiente de correlação

A métrica mais utilizada para quantificar padrões de similaridade entre duas séries de dados distintas é o coeficiente de correlação (TAYLOR, 2001). O coeficiente de correlação (R) entre duas séries **s1** e **s2** definidas para **N** dados pode ser definida pela seguinte equação (TAYLOR, 2001):

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s1_n - \overline{s1})(s2_n - \overline{s2})}{\sigma_1 \sigma_2}$$

onde:

- $\overline{s1}$ e $\overline{s2}$ são as médias das séries s1 e s2 respectivamente
- σ_1 e σ_2 correspondem aos desvios padrão das séries s1 e s2 respectivamente

O valor máximo de R é igual a 1 quando a seguinte relação é satisfeita para todo n (TAYLOR, 2001):

$$(s1_n - \overline{s1}) = \alpha(s2_n - \overline{s2})$$

onde α é uma constante positiva. Além disso, se o padrão de variação centrado ($sX_n - \overline{sX}$) for diferente para cada série, o valor de α será diferente de 1 e apenas o coeficiente de correlação não é o suficiente para determinar se o padrão de cada série possui a mesma amplitude de variação (TAYLOR, 2001).

4.4.2 Raiz quadrada do erro médio

Para quantificar diferenças entre duas séries s1 e s2, a métrica mais utilizada é a raiz quadrada do erro médio (E) (TAYLOR, 2001). A raiz quadrada do erro médio é representada por:

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s1_n - s2_n)^2}$$

Quando os padrões de s_1 e s_2 se assemelham, ou seja, $(s_{1_n} - s_{2_n}) \rightarrow 0$, a raiz quadrática do erro médio também se aproxima a zero. Logo, uma série é semelhante a outra quando $E \rightarrow 0$ (TAYLOR, 2001).

4.5 ÍNDICE NIÑO OCEÂNICO (INO)

No caso deste trabalho, utilizou-se os dados das médias móveis trimestrais das anomalias de TSM, na região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), para o período compreendido entre 1990 e 2021 disponíveis no *site* a seguir (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Estas médias móveis trimestrais de anomalias de TSM são oriundas dos resultados do ERSST v5.

De igual forma e para o ERA 5, calculou-se a anomalia de TSM a partir da própria TSM e, a partir do campo de anomalia de TSM, obteve-se a média dos valores contidos na grade da região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W). Com a média dos pontos de grade do Niño 3.4, tem-se a série temporal da anomalia de TSM no período compreendido entre 1990 e 2021. Posteriormente, aplica-se a média móvel a cada 3 meses e o mesmo limiar utilizado para os resultados do ERSST v5.

Sendo assim, obtém-se a Figura 12 apresentada na seção 5.2, as quais apresentam a evolução das fases do ENOS no decorrer do período de estudo.

4.6 COMPOSTOS DE CASOS DE EL NIÑO/LA NIÑA

Os compostos de casos foram feitos da seguinte forma:

- 1) Calculou-se a média da intensidade do vento a 100m para cada estação do ano.

- 2) Foram extraídos, no dataset, apenas os meses que continham anomalias de TSM maiores (em módulo) que 0,5 °C, gerando um conjunto de dados apenas com períodos de ENOS.
- 3) Desse novo conjunto de dados, calculou-se a média da intensidade do vento para cada estação do ano.

4.7 CÁLCULO DO POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO

De acordo com o que foi apresentado por Cardoso e Ferreira (2015), o cálculo do potencial eólico é dado pela seguinte equação:

$$Pe = 0,5 \cdot Cp \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

onde:

- Cp = Coeficiente de potência (adimensional)
- ρ = Densidade do ar (kg/m³)
- S = Área do rotor (m²)
- v = Velocidade do vento (m/s)

Para este trabalho foi considerado o valor da densidade do ar constante e igual a 1,225 kg/m³ (valor para Atmosfera Padrão Internacional) e Cp igual a 1 mesmo considerando que esse não é um valor realístico.

Levou-se em consideração o valor do diâmetro do rotor para o cálculo de S , de modo que:

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad \text{onde } D \text{ é o diâmetro do rotor}$$

Neste trabalho foi considerada a turbina utilizada por Tavares (2020), cujo valor do diâmetro é igual a 155 m.

Já a velocidade do vento foi obtida a partir das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento a 100 m de altura da seguinte forma:

$$Intensidade = \sqrt{u^2 + v^2}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 REANÁLISES X DADOS OBSERVADOS

A seguir serão apresentados os diagramas de Taylor utilizados para comparar os dados das bóias com os pontos de grade das reanálises ERA-5 e MERRA-2. A fim de verificar qual será a reanálise mais adequada para as análises posteriores.

5.1.1 Bahia

A Figura 9 apresenta uma comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada na Bahia.

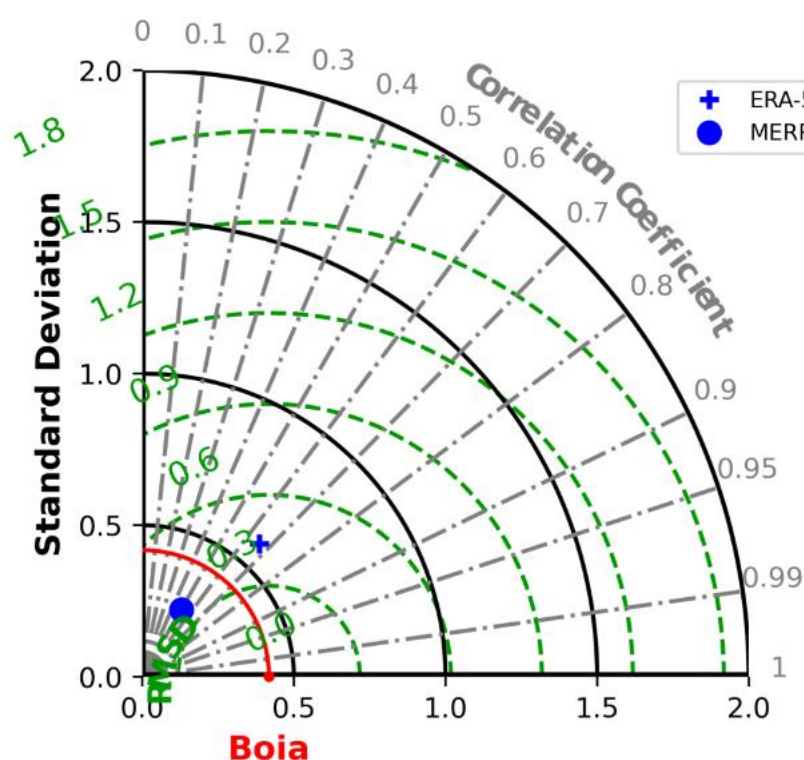


Figura 9: Comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada na Bahia. Fonte: Autoria própria (2022).

O diagrama da Figura 9 indica que o coeficiente de correlação do ERA-5 é levemente melhor que o apresentado pelo MERRA-2. No que se refere à raiz

quadrada do erro médio (RMSE), o MERRA-2 apresentou seu resultado bem semelhante ao do ERA-5. Ao comparar o desvio padrão desta bóia e das duas reanálises, nota-se que o menor desvio é da série de dados do MERRA-2 e o maior desvio padrão referente à série do ERA-5. As duas reanálises apresentaram diferença semelhante do desvio padrão dos dados da bóia, indicando que o ERA-5 apresenta mais variações em torno da média da sua própria série de dados, quando comparado aos dados de bóia e o MERRA-2 apresentou variações menores em torno da média, ainda comparando com os dados de bóia.

5.1.2 Recife

A Figura 10 apresenta uma comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada na Recife.

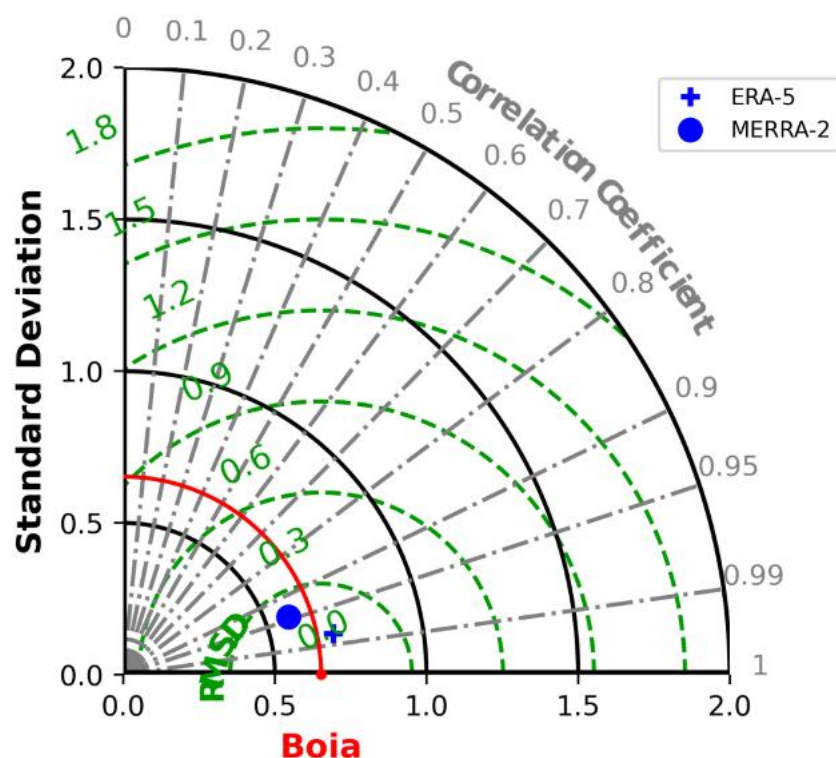


Figura 10: Comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada em Recife. Fonte: Autoria própria (2022).

O diagrama da Figura 10 indica que o coeficiente de correlação do ERA-5 é melhor que o apresentado pelo MERRA-2. No que se refere à raiz quadrada do erro

médio (RMSD), o ERA-5 apresentou melhor resultado em comparação ao MERRA-2. O desvio padrão desta bóia, em relação às duas reanálises, apresentou valores semelhantes, indicando variações semelhantes em torno do valor médio de suas respectivas séries.

5.1.3 Fortaleza

A Figura 11 apresenta uma comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada na Fortaleza.

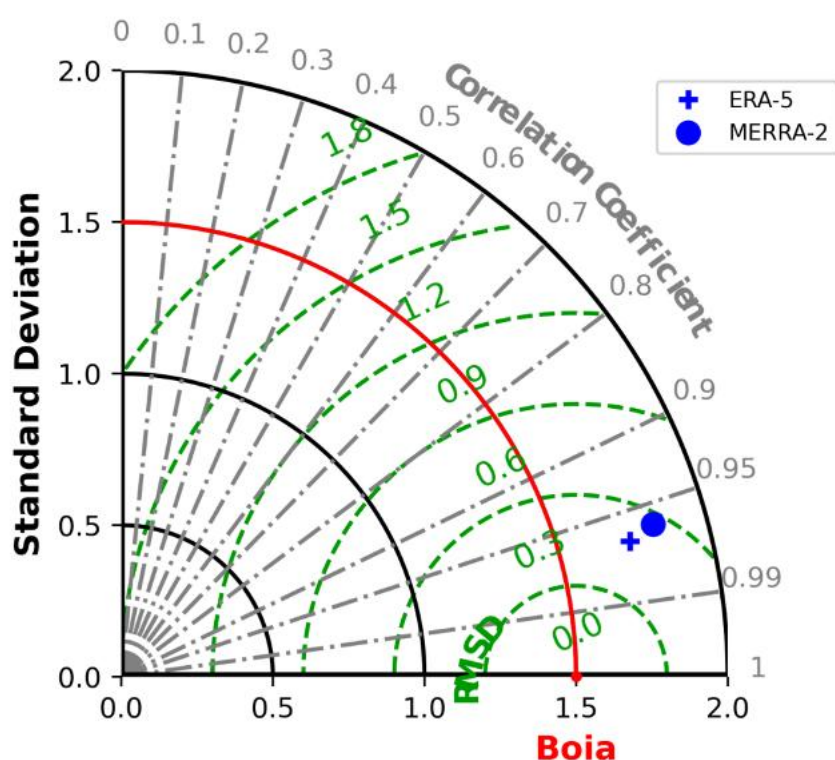


Figura 11: Comparação estatística entre as reanálises ERA-5 e MERRA-2 e os dados de bóia localizada em Fortaleza. Fonte: Autoria própria (2022).

O diagrama da Figura 11 indica que o coeficiente de correlação do ERA-5 é levemente melhor que o apresentado pelo MERRA-2. No que se refere à raiz quadrada do erro médio (RMSD), o ERA-5 apresentou melhor resultado em comparação ao MERRA-2. Esta bóia apresentou menores valores de desvio padrão quando comparado com os valores de desvio padrão de cada reanálise. Entretanto a reanálise que tem o valor de desvio padrão mais próximo desse dado observado é a reanálise ERA-5.

Com base no que foi discutido nas seções 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3, a reanálise ERA-5 é que mais se assemelha aos dados das bóias, localizadas na região costeira do NEB. Sendo assim, as discussões adiante serão feitas com base no ERA-5.

5.2 ÍNDICE NIÑO OCEÂNICO ERA 5 X ERSST 5

Como foi verificado que a reanálise ERA-5 foi a mais estatisticamente consistente em relação aos dados de boia, é necessário entender como esta reanálise representa as fases e a intensidade do ENOS. Para isso, compara-se as séries temporais do ONI para o modelo ERSST (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) e a reanálise ERA-5.

Conforme a Figura 12, pode-se perceber que o ERA-5 representa as fases do ENOS de maneira bem similar ao ERSST-5 utilizado no National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NOAA). Sendo assim, pode-se afirmar que o ERA-5 é capaz de representar a intensidade de cada fase do ENOS em todo o período de estudo. A Figura 12 apresenta Índice do Niño Oceânico (ONI) do a) NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST v5) e b) ECMWF Reanalysis v5 (ERA v5).

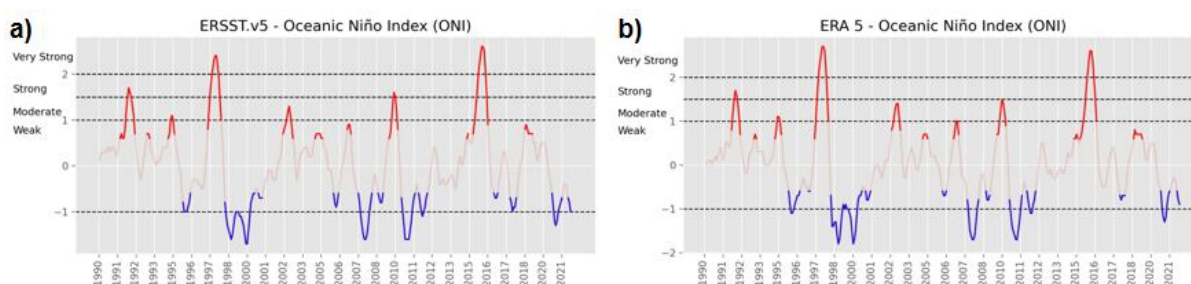


Figura 12: Índice do Niño Oceânico (ONI) do a) NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST v5) e b) ECMWF Reanalysis v5 (ERA v5). Fonte: Autoria própria (2022).

5.3 ENOS E O PERÍODO DE ESTUDO

De acordo com a Figura 12 e com as Tabelas dos Apêndices A e B, pode-se observar episódios de El Niño nos seguintes períodos: 1991 (OND) - 1992 (MJJ), 1994 (OND) - 1995 (FMA), 1997 (MJJ) - 1998 (AMJ), 2002 (JJA) - 2003 (MAM), 2004 (ASO) - 2005 (JFM), 2006 (SON) - 2007 (JFM), 2009 (JAS) - 2010 (AMJ), 2014 (NDJ) - 2016 (AMJ) e em 2018 (OND) - 2019 (JJA). Totalizando 9 casos de El Niño no período de estudo.

Por outro lado, casos de La Niña podem ser notados nos seguintes anos: 1995 (ASO) - 1996 (JJA), 1998 (JJA) - 2000 (JAS), 2000 (OND) - 2001 (FMA), 2005 (DJF) - 2006 (MAM), 2007 (JAS) - 2008 (JJA), 2008 (DJF) - 2009 (MAM), 2010 (JJA) - 2011 (AMJ), 2011 (ASO) - 2012 (MAM), 2017 (NDJ) - 2018 (AMJ), 2020 (ASO) - 2021 (AMJ) e em 2021 (OND) - 2021 (DJF). Totalizando 11 casos de La Niña no período de estudo.

A Figura 13 apresenta a frequência de eventos de El Niño e La Niña pela estação do ano para o período compreendido entre 1990 e 2021. Nota-se que os eventos tanto de El Niño quanto de La Niña são mais frequentes nos meses de verão do hemisfério sul, enquanto que nas outras estações a frequência de episódios de El Niño e La Niña são menores.

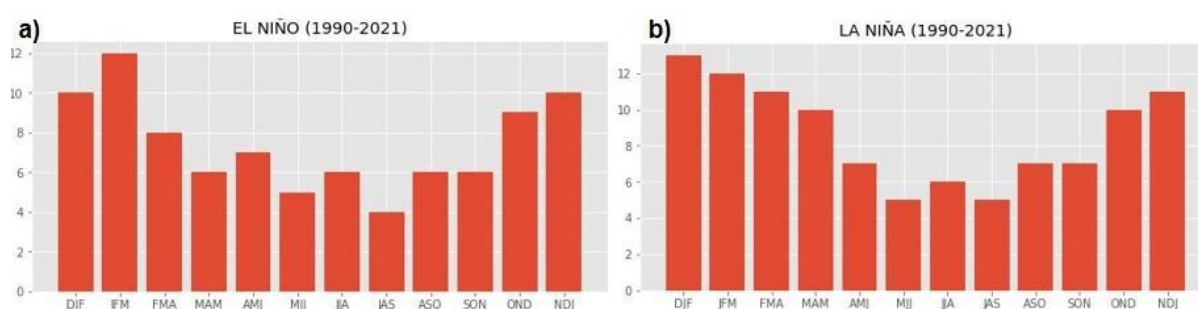


Figura 13: Frequência dos casos de a) El Niño e b) La Niña em função dos trimestres para o período de 1990 a 2021. Fonte: Autoria própria (2022).

5.4 COMPOSTO DE CASOS EL NIÑO E LA NIÑA

A seguir, serão apresentados os campos médios da intensidade do vento relativos à climatologia e para casos de El Niño e La Niña para cada estação do ano.

5.4.1 Verão

A Figura 14 apresenta compostos de casos de El Niño ($n= 10$) e La Niña ($n= 12$) para intensidade do vento a 100 m para a estação do verão, bem como o campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do verão.

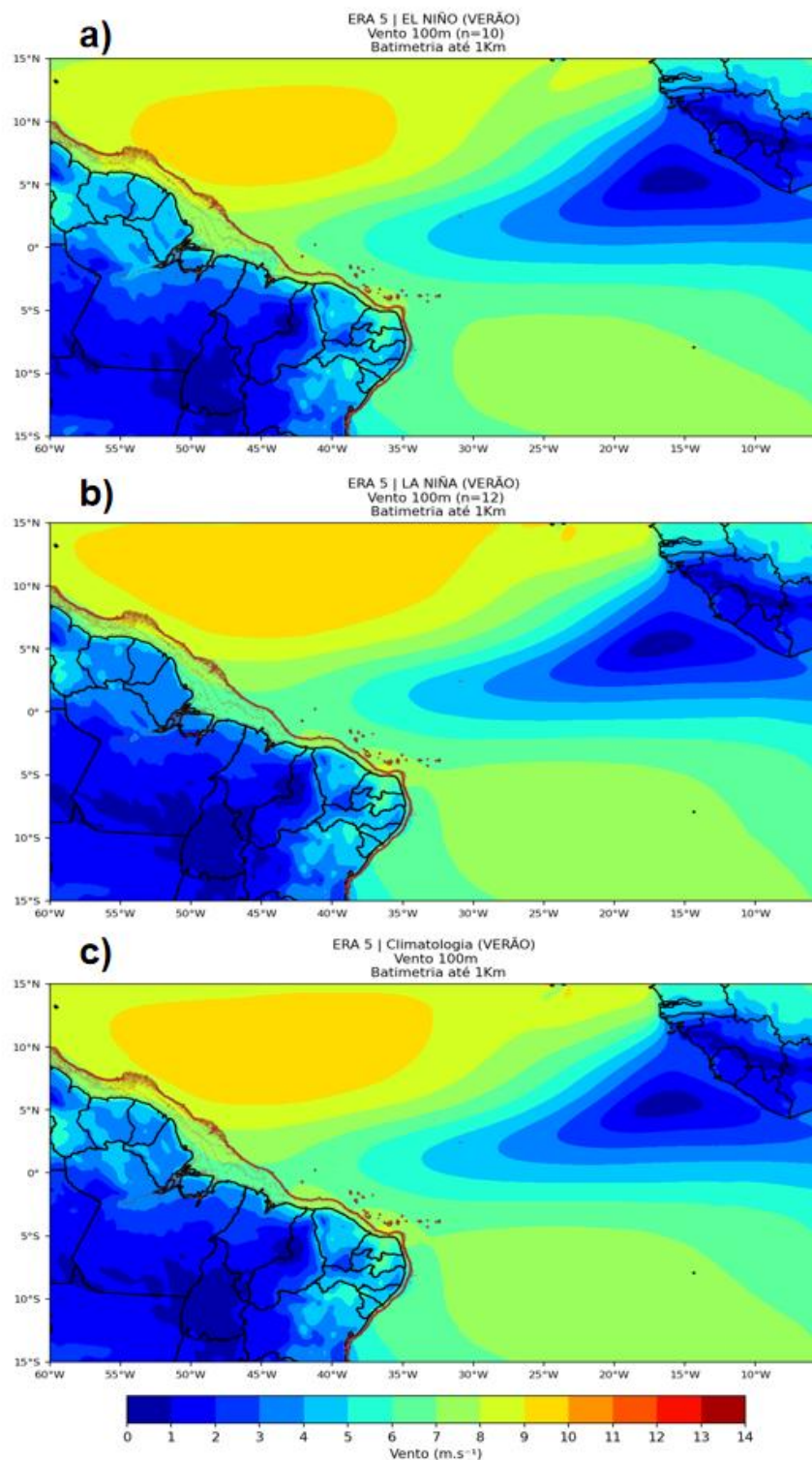


Figura 14: a) compostos de n casos de El Niño b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do verão, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do verão. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A análise da figura 14 nos revela que, para o verão nas duas fases do ENOS e para a média climatológica, a intensidade do vento na região da costa norte do

NEB varia entre 6 e 10 m/s. As maiores intensidades ocorrem próximas ao estado do Rio Grande do Norte. Em todas as Figuras (14.a, 14.b e 14.c) o Atlântico Norte apresentou intensidade do vento a 100 metros maior que a intensidade do vento no Atlântico Sul, resultando no posicionamento médio da ZCIT mais ao sul e brisa de moderada a forte (Segundo a escala Beaufort - Anexo 1) na costa norte do NEB.

A Figura 14.a (fase quente do ENOS) mostra que o ASAN menos esparsa quando comparado ao campo médio climatológico. Além de apresentar a ZCIT sutilmente mais distante da América do Sul, mais aproximada da costa africana, em comparação com o que ocorre na média climatológica.

A Figura 14.b (fase fria do ENOS) apresenta ASAN mais esparsa quando comparado ao campo médio climatológico. Diferentemente da fase quente do ENOS, a Figura 14.b não apresenta diferença significativa quando comparada a Figura 14.c (média climatológica).

5.4.2 Outono

A Figura 15 apresenta compostos de casos de El Niño (n= 6) e La Niña (n= 10) para intensidade do vento a 100 m para a estação do outono, bem como o campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação de outono.

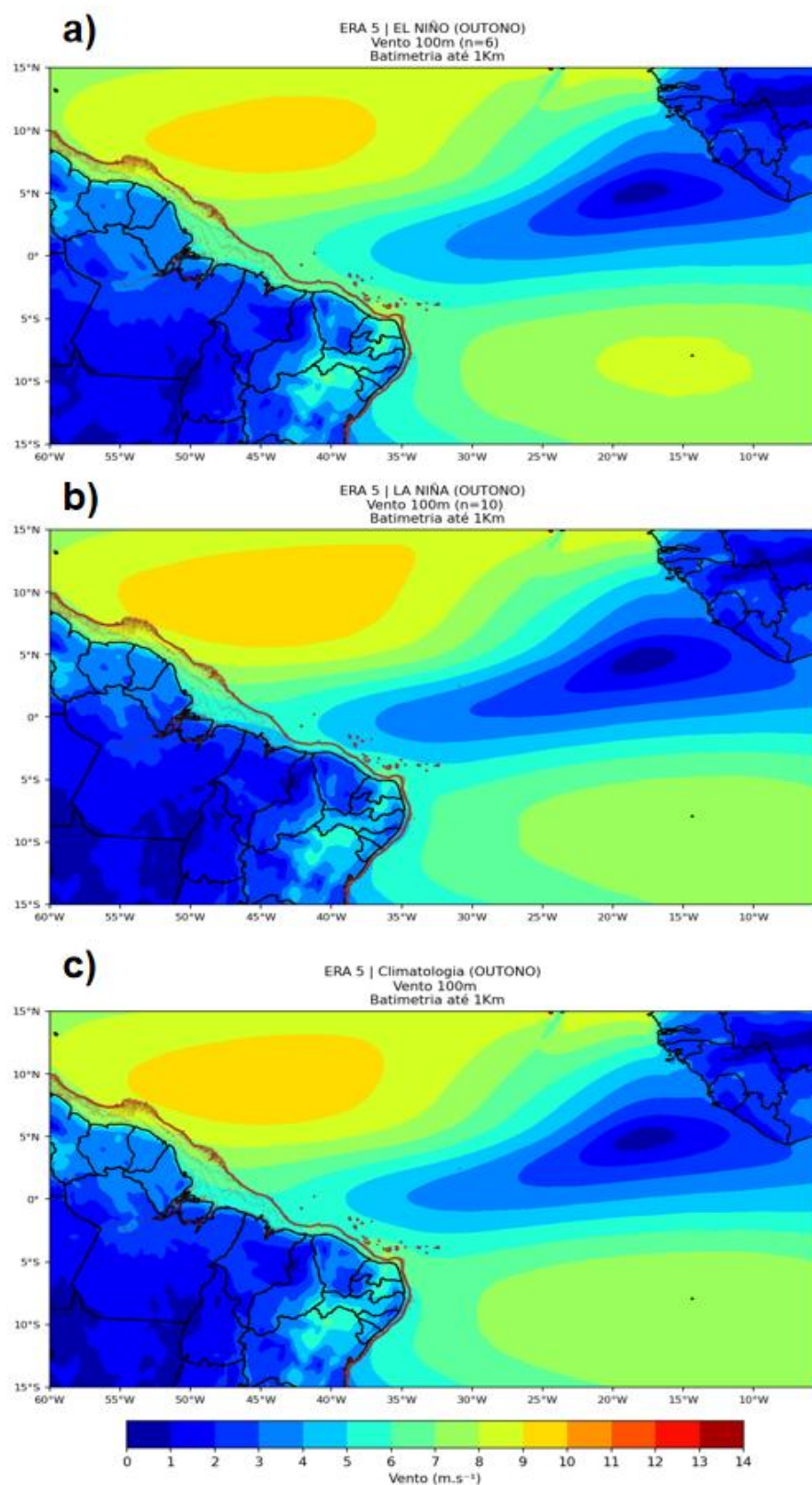


Figura 15: a) compostos de n casos de El Niño, b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do outono, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do outono. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 15 mostra que, para o outono a região de batimetrias menores que 1 Km apresentou intensidade do vento a 100 m predominantemente entre 6 e 7 m/s (brisa moderada) para a fase quente do ENOS; entre 5 e 6 m/s (brisa moderada) para a fase fria do ENOS e para a média climatológica. De modo genérico, a Figura 15 indica que a intensidade do vento no Atlântico Norte é mais intensa que a intensidade do vento no Atlântico Sul. Mais uma vez resultando na posição da ZCIT mais ao sul e ventos relativamente mais fracos na costa norte do NEB.

A Figura 15.a (fase quente do ENOS) apresentou a ASAS mais intensa que a climatologia e ASAN sem diferença significativa. Ainda durante o El Niño, é possível notar que o posicionamento da ZCIT está localizado mais afastado da América do Sul, enquanto que a posição climatológica da ZCIT para o outono está mais alongada para a América do Sul.

A Figura 15.b (fase fria do ENOS) apresentou expansão dos ventos mais intensos do ASAN em relação à climatologia. Em oposição ao que ocorreu para a fase quente, a Figura 15.b mostra que a ZCIT está mais alongada em direção a América do Sul quando comparada à posição média climatológica.

5.4.3 Inverno

A Figura 16 apresenta compostos de casos de El Niño ($n=4$) e La Niña ($n=6$) para intensidade do vento a 100 m para a estação do inverno, bem como o campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do inverno.

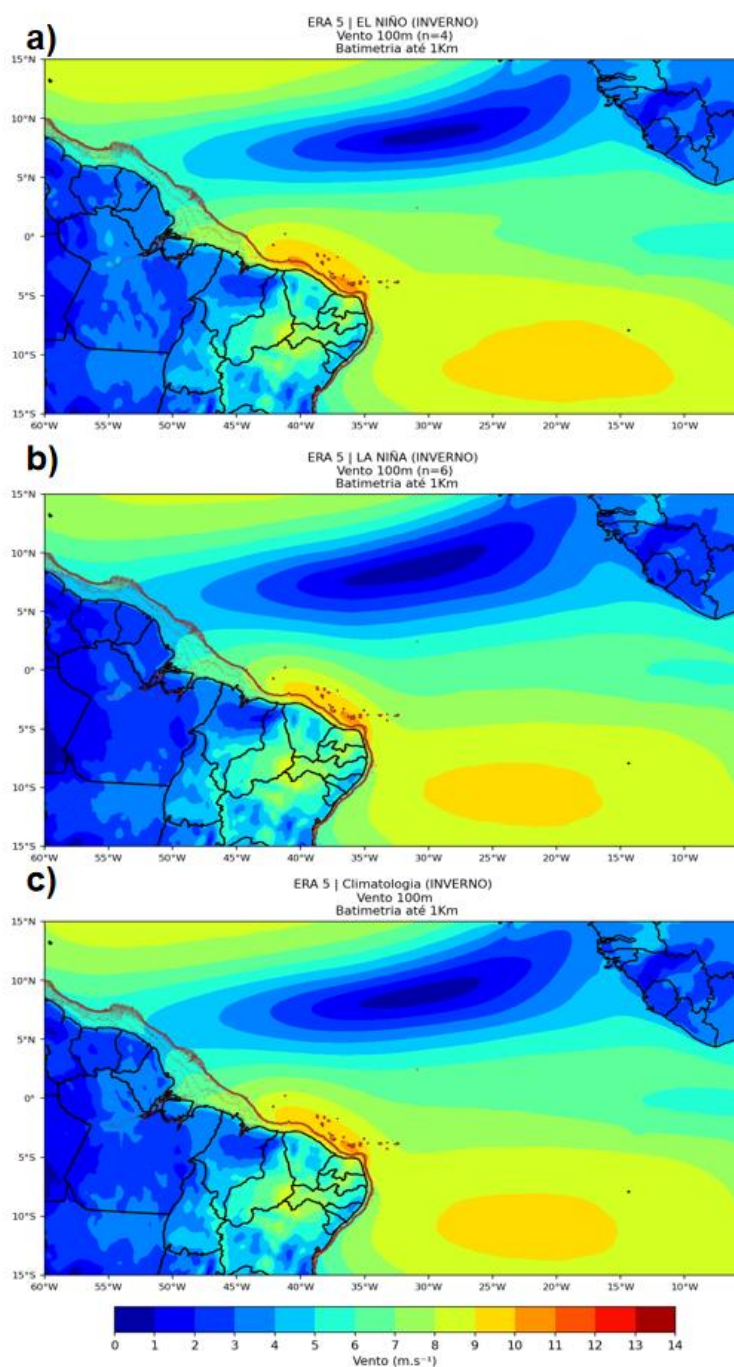


Figura 16: a) compostos de n casos de El Niño, b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do inverno, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação do inverno. A linha marrom representa a batimetria de até 1

km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 16 mostra que, para o inverno, a intensidade do vento nas três situações (El Niño, La Niña e climatologia) pode alcançar 10 m/s (brisa forte) na região da costa norte do NEB. Para o inverno, nota-se que a intensidade do vento relacionado a ASAS é intensificado para os três casos (El Niño, La Niña e climatologia), resultando na posição da ZCIT mais ao norte.

A Figura 16.a (fase quente do ENOS) apresentou a ASAS mais intensa que a climatologia. Ainda durante o El Niño, é possível notar que o posicionamento da ZCIT está localizado mais distante da América do Sul, enquanto que a posição climatológica da ZCIT para o inverno está mais alongada para o norte da América do Sul. Os *hotspots* de intensidade do vento na Figura 16.a (fase quente do ENOS) estão mais distribuídos na região costeira dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, enquanto que a Figura 16.c (climatologia) apresenta esses *hotspots* estão predominantemente localizados na região costeira do Rio Grande do Norte.

A Figura 16.b (fase fria do ENOS) apresentou intensidade do vento, no Atlântico Sul, semelhante ao que ocorreu para a climatologia (Figura 16.c) com *hotspots* de intensidade do vento localizados na região costeira do Rio Grande do Norte. Ainda para a fase quente do ENOS é possível notar que a ZCIT está mais alongada na direção do norte da América do Sul quando comparada à climatologia.

5.4.4 Primavera

A Figura 17 apresenta compostos de casos de El Niño (n= 6) e La Niña (n= 7) para intensidade do vento a 100 m para a estação de primavera, bem como o campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação de primavera.

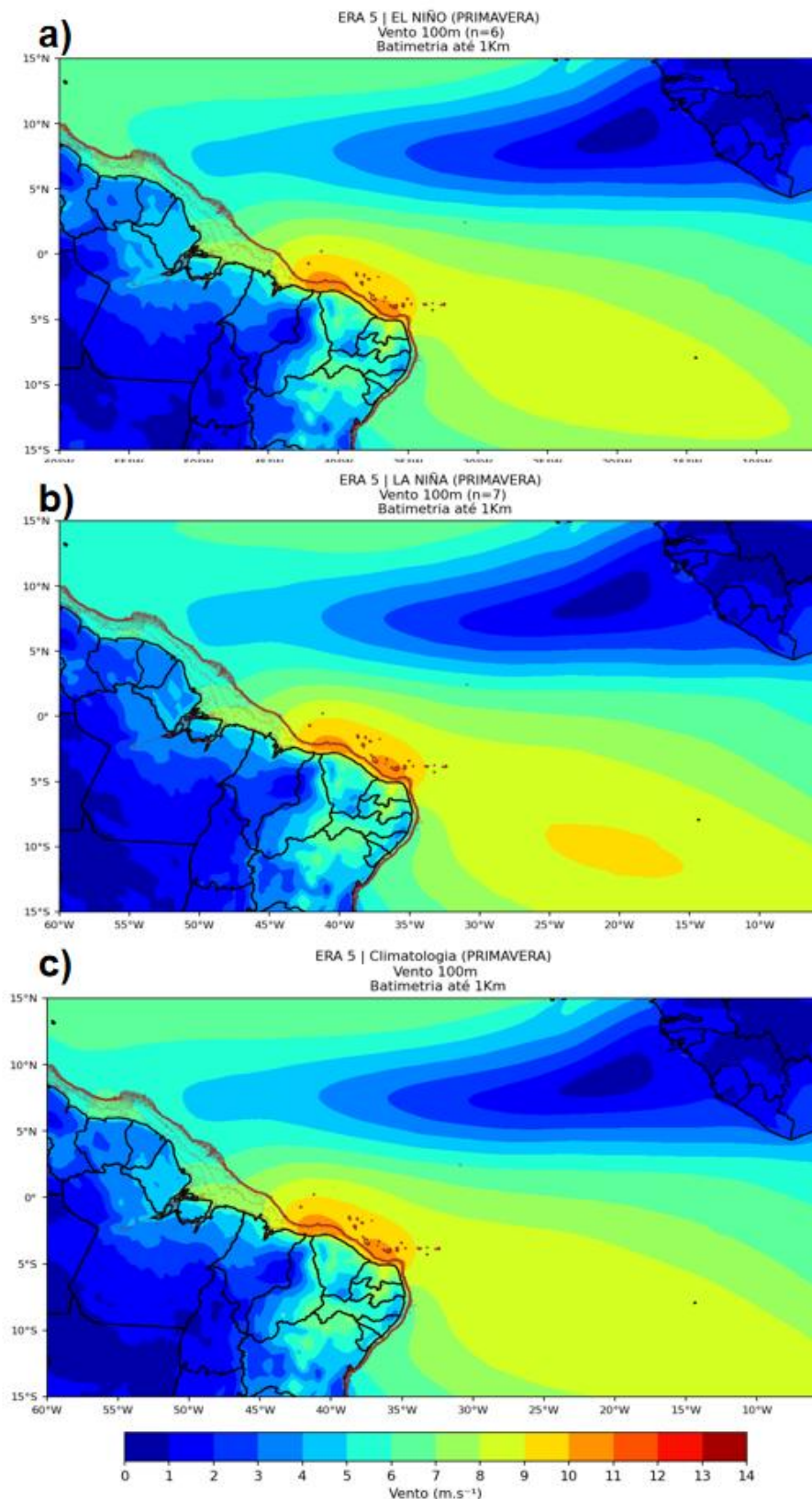


Figura 17: a) compostos de n casos de El Niño, b) compostos de n casos de La Niña para intensidade do vento a 100 m para a estação do primavera, c) campo médio da intensidade do vento para o período de estudo para a estação de primavera. A linha marrom representa a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 17 mostra que, para a primavera, a intensidade do vento nas três situações (El Niño, La Niña e climatologia) pode alcançar 11 m/s (vento fresco) na região da costa norte do NEB. Para a primavera, nota-se que a intensidade do vento relacionado a ASAS está intenso para os três casos (El Niño, La Niña e climatologia), resultando novamente na posição da ZCIT mais ao norte.

A Figura 17.a (fase quente do ENOS) apresentou a ASAS semelhante a climatologia. Ainda durante o El Niño, é possível notar que o posicionamento da ZCIT está, novamente, localizado mais distante da América do Sul, enquanto que a posição climatológica da ZCIT para a primavera está mais alongada para o norte da América do Sul. Os *hotspots* de intensidade do vento na Figura 17.a (fase quente do ENOS) estão distribuídos na região costeira dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, de modo semelhante ao que ocorre na climatologia (Figura 17.c).

A Figura 17.b (fase fria do ENOS) apresentou intensidade do vento, no Atlântico Sul, mais intensa em comparação com a climatologia (Figura 17.c). Os *hotspots* de intensidade do vento estão localizados na região costeira do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí de modo similar a climatologia (Figura 17.c). Ainda para a fase quente do ENOS (Figura 17.b) é possível notar que a ZCIT está disposta de forma similar à climatologia.

5.5 DIFERENÇA ENOS - CLIMATOLOGIA

A análise a seguir apresenta as diferenças na intensidade do vento a 100 metros em casos de El Niño e La Niña para cada estação do ano, buscando a compreensão de como o ENOS pode afetar o escoamento atmosférico e consequentemente o potencial eólico.

5.5.1 Verão (ENOS - Climatologia)

A Figura 18 representa a diferença entre os compostos de casos de El Niño e La Niña, respectivamente, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o verão.

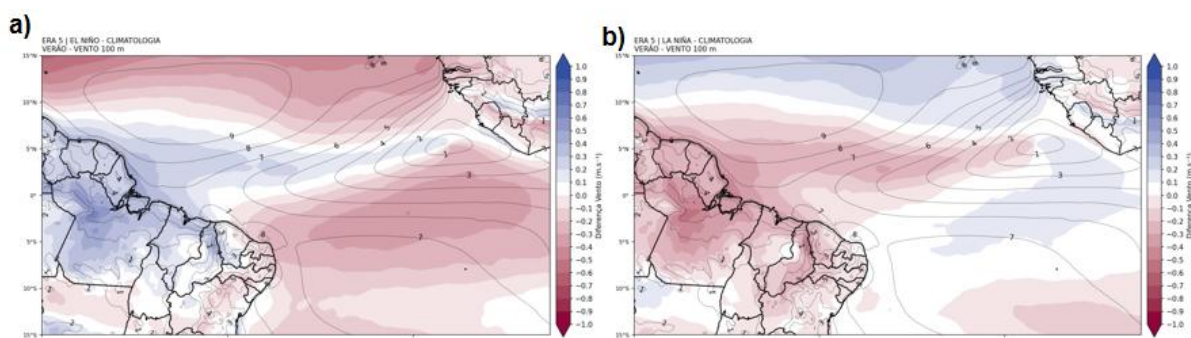


Figura 18: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o verão. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 18.a apresentou, para o verão, intensificação do vento a 100 m na região da latitude de 5°N e se estendendo de da região costeira do norte da América do Sul até, aproximadamente, 20°W. A região que envolve essa intensificação anômala apresentou enfraquecimento anômalo da intensidade do vento, formando um padrão do tipo ferradura na anomalia da intensidade do vento ao comparar períodos de El Niño e a climatologia.

A Figura 18.b apresentou, ainda para o verão, enfraquecimento do vento a 100 m na mesma região onde houve intensificação na Figura 18.a. A região que envolve esse enfraquecimento anômalo apresentou intensificação anômala da

intensidade do vento, formando novamente um padrão do tipo ferradura na anomalia da intensidade do vento ao comparar os períodos de La Niña e a climatologia.

5.5.2 Outono (ENOS - Climatologia)

A Figura 19 representa a diferença entre os compostos de casos de El Niño e La Niña, respectivamente, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o outono.

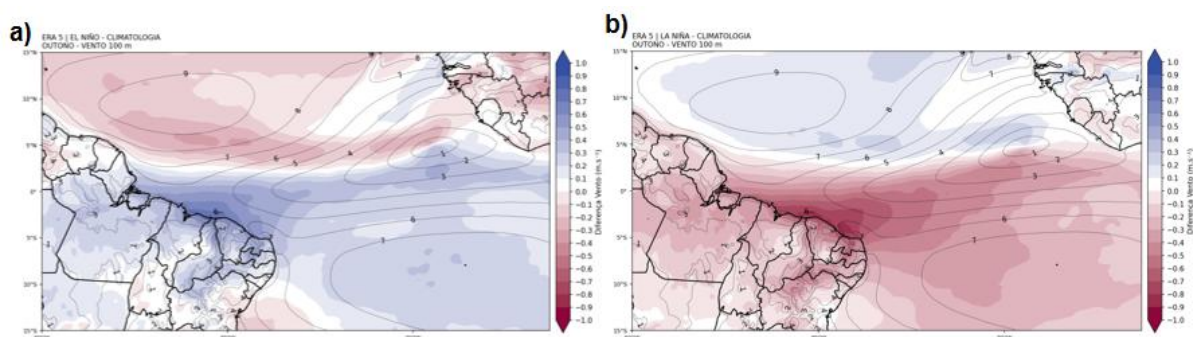


Figura 19: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o outono. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Tanto a Figura 19.a, quanto a 19.b apresentam oposição no sinal das anomalias da intensidade do vento em torno da latitude 5°N. Em anos de El Niño, para o outono e ao norte de 5°N ocorre o enfraquecimento na intensidade do vento quando comparado com a climatologia e ao sul de 5°N ocorre o oposto. Por outro lado, em anos de La Niña, ocorre o oposto do que acontece em anos de El Niño: Ao norte de 5°N os ventos a 100m se intensificam e ao sul de 5°N ocorre o enfraquecimento da intensidade do vento.

5.5.3 Inverno (ENOS - Climatologia)

A Figura 20 representa a diferença entre os compostos de casos de El Niño e La Niña, respectivamente, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o inverno.

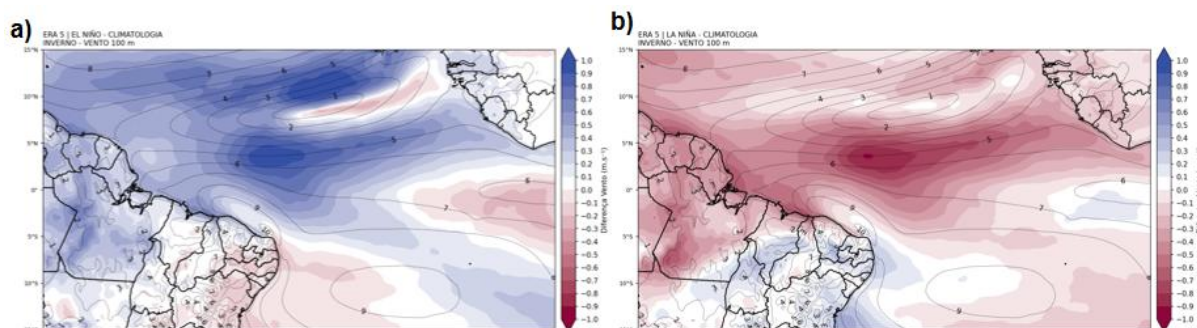


Figura 20: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o inverno. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Em anos de El Niño e para o inverno, Figura 20.a, ocorre intensificação anômala em toda a costa norte do NEB. Na costa leste do NEB ocorre enfraquecimento da intensidade do vento. Já em anos de La Niña, ainda para o inverno, Figura 20.b, ocorre o oposto do que foi apresentado pela Figura 20.a: ocorre enfraquecimento anômalo em toda a costa norte do NEB, enquanto que, na costa leste do NEB, ocorre a intensificação da intensidade do vento.

5.5.4 Primavera (ENOS - Climatologia)

A Figura 21 representa a diferença entre os compostos de casos de El Niño e La Niña, respectivamente, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para a primavera.

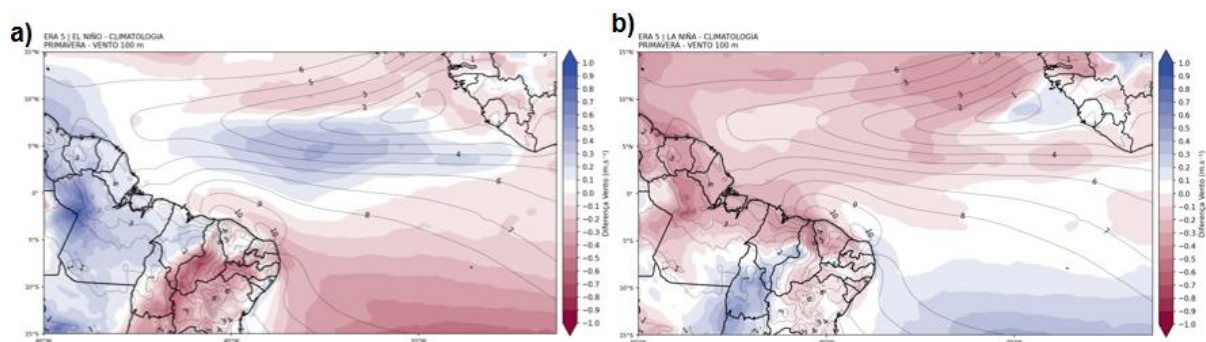


Figura 21: Diferença entre os casos de a) El Niño e b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para a primavera. As isolinhas indicam a intensidade do vento referente à média climatológica.

climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Durante os anos de El Niño e para a primavera, Figura 21.a, ocorre o enfraquecimento da intensidade do vento para a maior parte da região da costa do NEB. Já em anos de La Niña, Figura 21.b, também ocorre o enfraquecimento da intensidade do vento a 100 m em quase toda a costa do NEB, com exceção da região costeira próxima aos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

5.6 VARIAÇÃO DA POSIÇÃO DA ZCIT

Conforme foi apresentado na seção 3.3.1, o posicionamento da ZCIT é influenciado pela intensidade dos ventos alísios e pelo padrão assimétrico de anomalias de TSM no Atlântico equatorial. Devido a isso, a ZCIT pode ser empregada como um indicador da variação da intensidade do vento e consequentemente do potencial eólico.

Como uma das formas de identificar a ZCIT é pela zona de confluência dos alísios (Cavalcanti, 2009), a posição da ZCIT, no Atlântico, foi definida pela região de ventos com intensidade menor que 5 m/s.

5.6.1 Variação da posição da ZCIT - Climatologia

Na Figura 22 é apresentada a variação sazonal da ZCIT extraída da reanálise ERA-5.

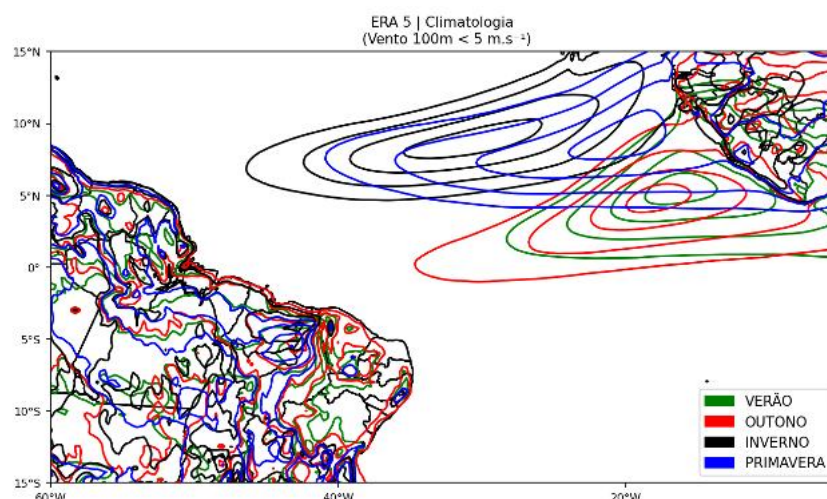


Figura 22: Variação sazonal da ZCIT extraída da reanálise ERA-5. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 22 mostra a variação sazonal da ZCIT da seguinte maneira:

- 1) Ocorre a expansão zonal partindo do verão para o outono;
- 2) Do outono para o inverno, ocorre tanto uma expansão zonal quanto o deslocamento para sua posição mais ao norte;
- 3) Do inverno para a primavera, ocorre uma expansão meridional, compressão zonal e deslocamento para sul;
- 4) Da primavera para o verão, ocorre mais uma compressão zonal e deslocamento para sul.

5.6.2 Variação da posição da ZCIT - Climatologia x ENOS

Ao analisar os campos médios da intensidade do vento a 100 m para cada estação do ano (Figuras 14.a, 15.a, 16.a e 17.a), nota-se que a intensidade do vento na costa norte do NEB acompanha o ciclo sazonal definido por variações na posição da ZCIT. A seguir, buscou-se entender qual a conformação da ZCIT em relação à climatologia e às fases positiva e negativa do ENOS.

5.6.2.1 Variação da posição da ZCIT - Verão

Na Figura 23 é apresentada a comparação entre a posição da ZCIT no verão em anos de El Niño, La Niña e média climatológica.

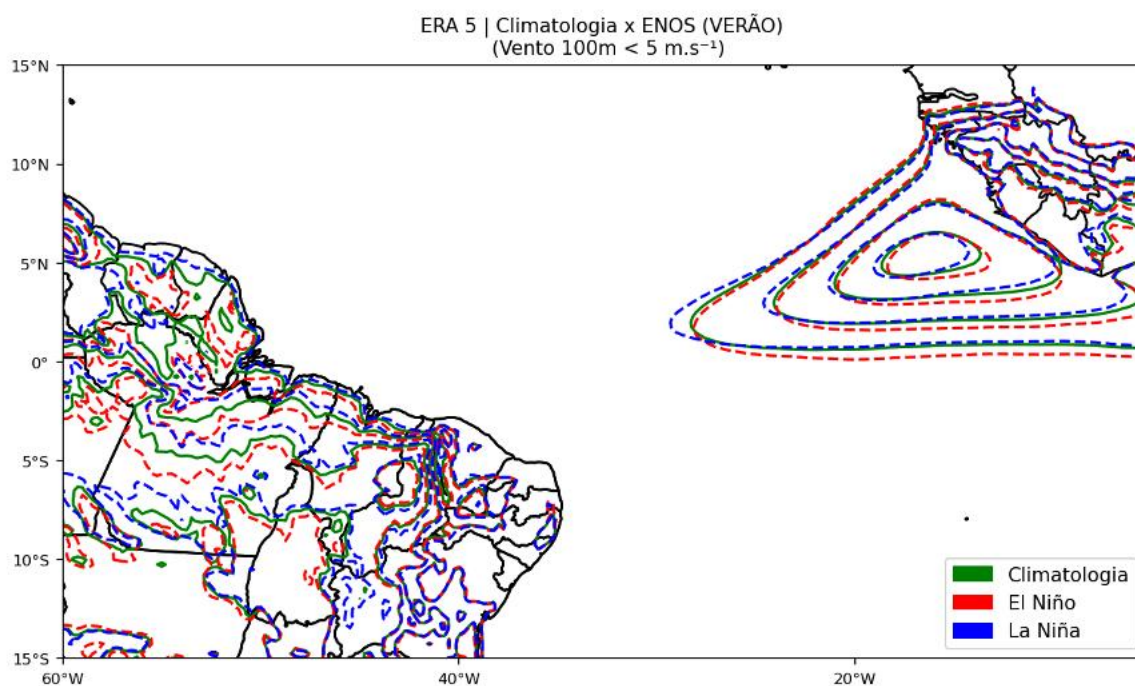


Figura 23: Comparação entre a posição da ZCIT no verão em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 23 mostra que, para o verão em anos de La Niña, a ZCIT está levemente deslocada para oeste, em direção a América do Sul, e aproximadamente na mesma posição latitudinal da média climatológica. Em relação ao verão do El Niño, a ZCIT está posicionada levemente mais ao sul da média climatológica e mais retraída em direção a costa da África ainda em relação à média climatológica.

5.6.2.2 Variação da posição da ZCIT - Outono

Na Figura 24 é apresentada a comparação entre a posição da ZCIT no outono em anos de El Niño, La Niña e média climatológica.

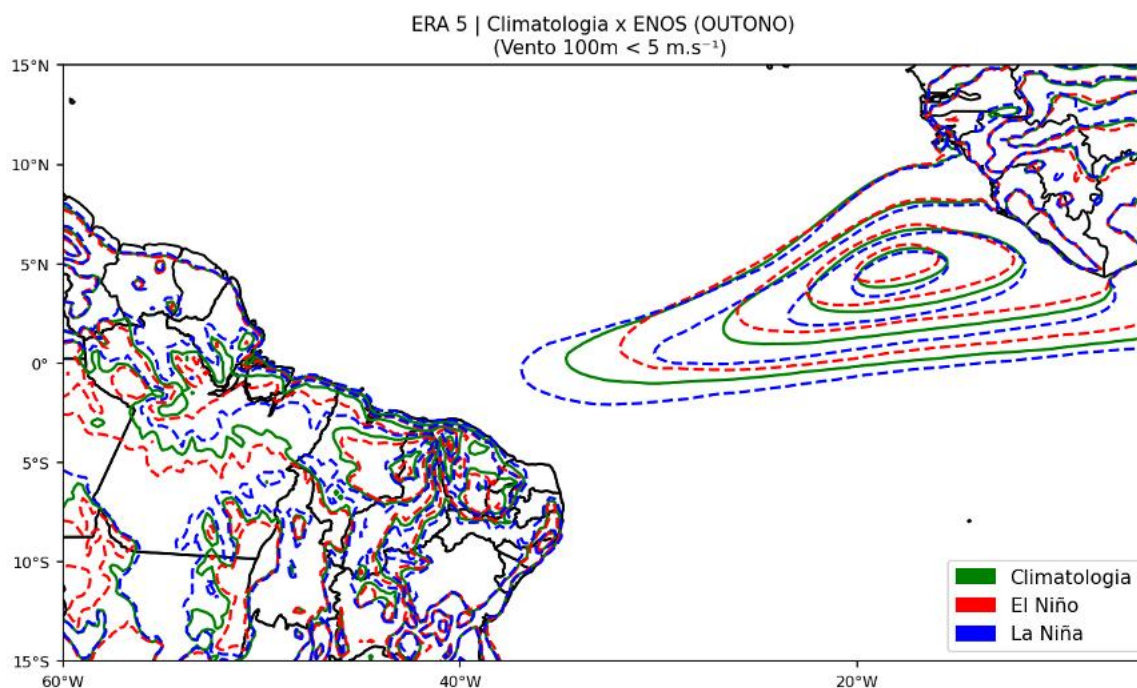


Figura 24: Comparação entre a posição da ZCIT no outono em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Para o outono, em anos de La Niña, a ZCIT se apresenta ainda mais deslocada para oeste e levemente mais ao sul do que a média climatológica. Já em anos de El Niño, novamente a ZCIT se apresenta mais retraída e mais próxima à costa africana e sutilmente mais ao norte quando comparada à posição média climatológica.

5.6.2.3 Variação da posição da ZCIT - Inverno

Na Figura 25 é apresentada a comparação entre a posição da ZCIT no inverno em anos de El Niño, La Niña e média climatológica.

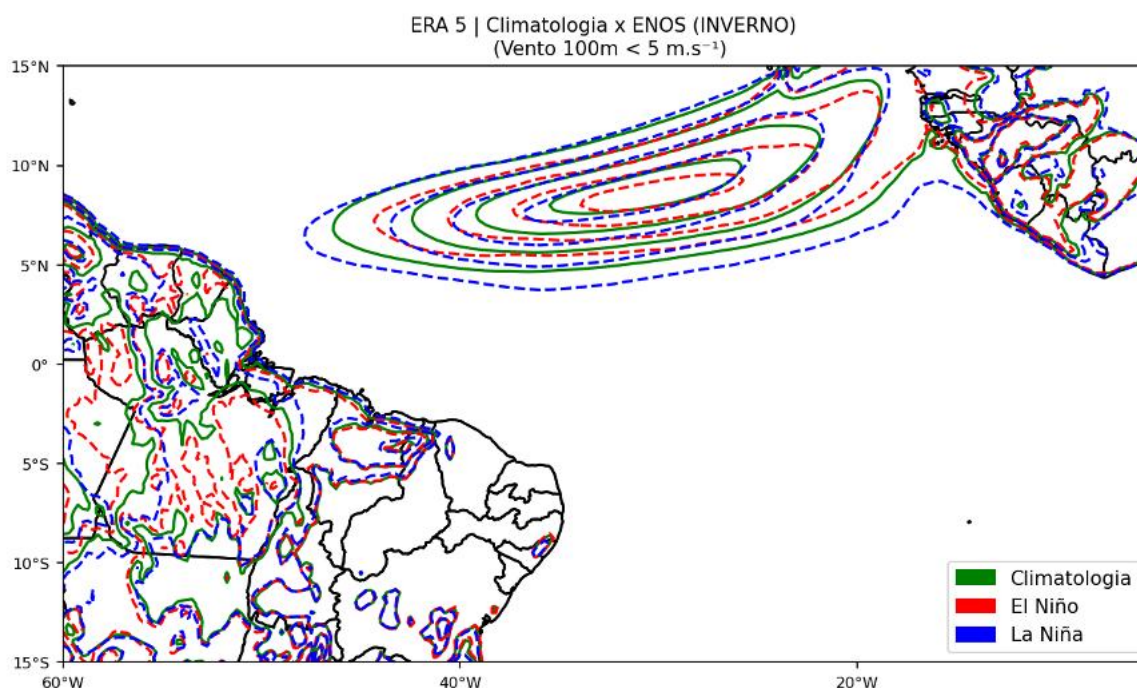


Figura 25: Comparação entre a posição da ZCIT no inverno em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Para o inverno, a Figura 25 mostra que a ZCIT está sutilmente mais ao sul da posição média climatológica e mais alongada no sentido da América do Sul em anos de La Niña. Em anos de El Niño, a ZCIT continua retraída e mais próxima da costa africana e sutilmente mais ao norte quando comparada à posição média climatológica.

5.6.2.4 Variação da posição da ZCIT - Primavera

Na Figura 26 é apresentada a comparação entre a posição da ZCIT na primavera em anos de El Niño, La Niña e média climatológica.

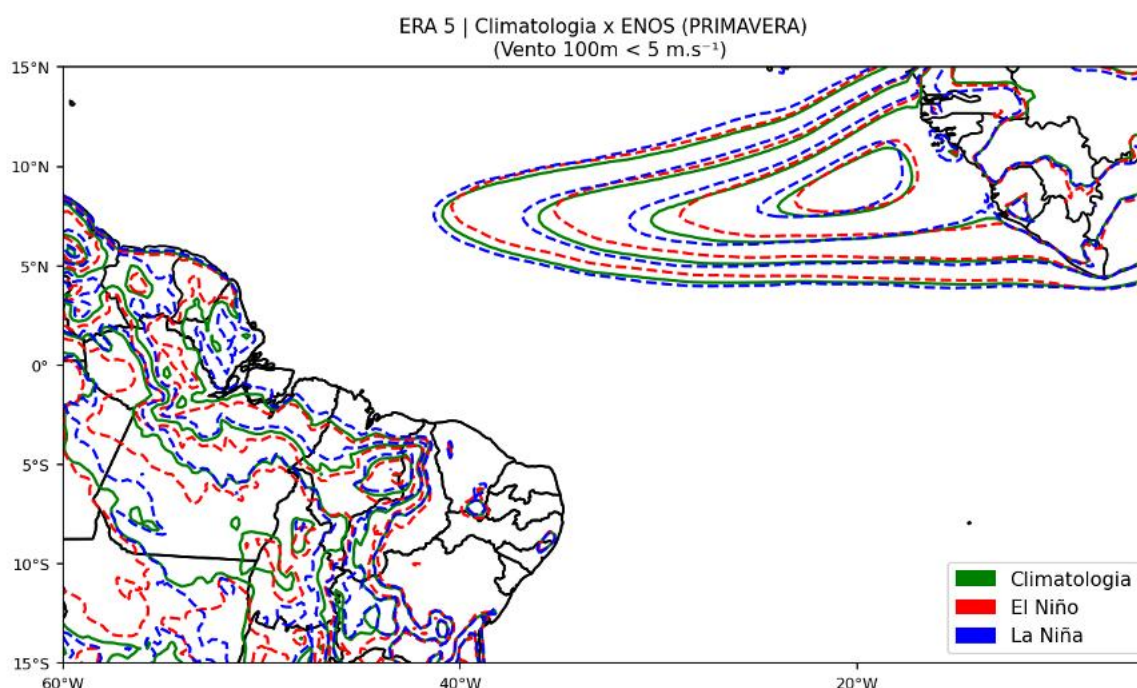


Figura 26: Comparação entre a posição da ZCIT na primavera em anos de El Niño, La Niña e média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

Durante a primavera, a ZCIT apresentou o mesmo padrão que as outras estações do ano tanto em anos de El Niño quanto para anos de La Niña, contudo a diferença na forma e na localização comparadas à posição média climatológica foi menor.

5.7 POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO

5.7.1 Verão

A Figura 27 apresenta o potencial eólico técnico no verão para El Niño, La Niña e climatologia.

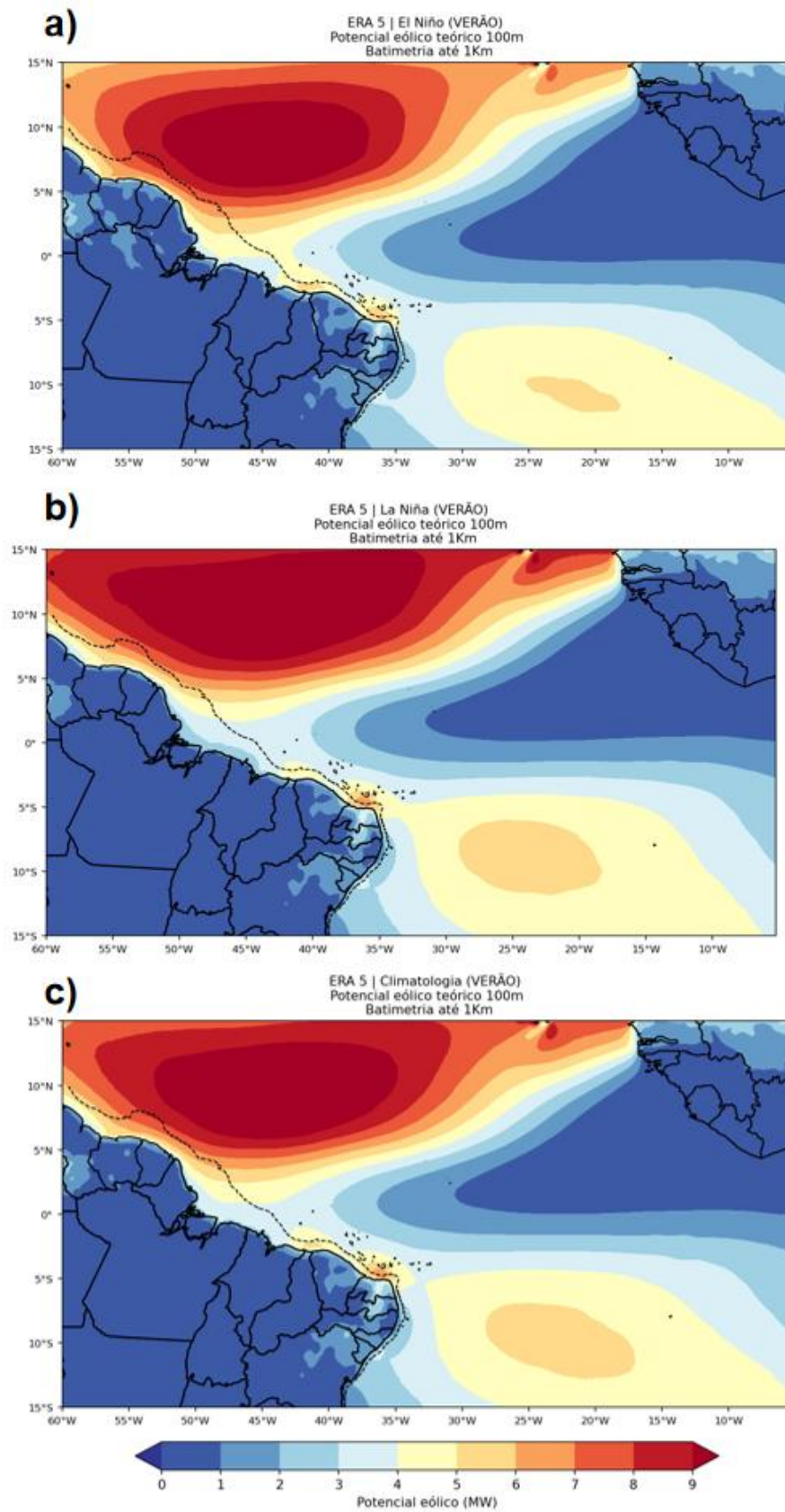


Figura 27: Potencial eólico técnico no verão para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 27 mostra que, para todas as situações analisadas (El Niño, La Niña e climatologia), durante o verão a posição da ZCIT exerce influência no potencial técnico. Resultando em potencial técnico de 3 a 6 MW em casos de El Niño; 2 a 7 MW em casos de La Niña e 3 a 7 MW para a média climatológica, ambos para a região cuja batimetria é de até 1 km de profundidade.

5.7.2 Outono

A Figura 28 apresenta o potencial eólico técnico no outono para El Niño, La Niña e climatologia.

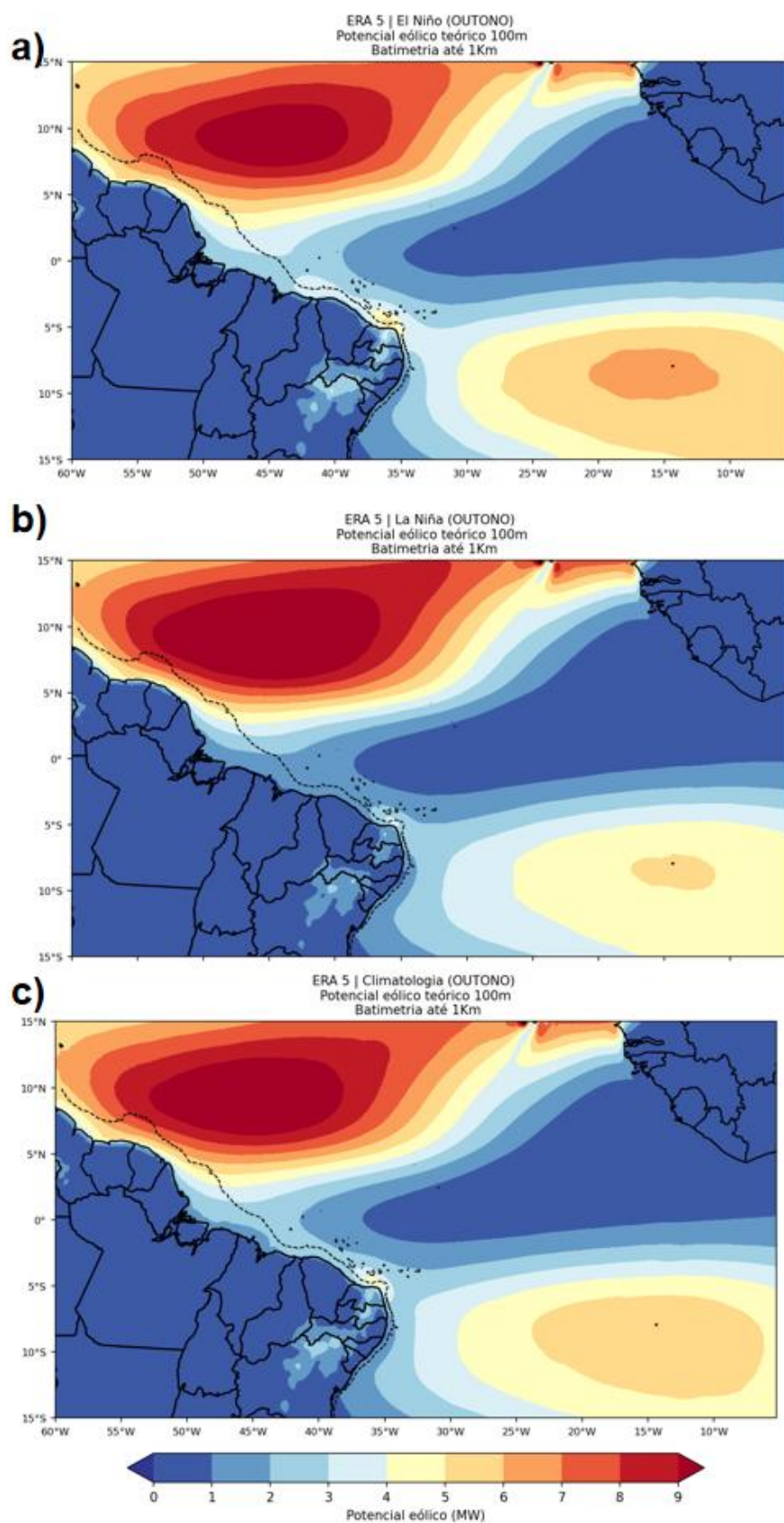


Figura 28: Potencial eólico técnico no outono para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 28 mostra que, para todas as situações analisadas (El Niño, La Niña e climatologia), durante o outono a posição da ZCIT exerce influência no potencial técnico, de modo a estar mais aproximada da costa norte do Nordeste. Sendo assim, acaba resultando em potencial técnico de 3 MW para a maior parte da área em que a batimetria é de até 1 Km de profundidade em casos de El Niño e para a climatologia.

Tanto para casos de El Niño quanto para a climatologia, houve um *hotspot* de energia (atingindo 5 MW) na região costeira do Rio Grande do Norte para essa estação do ano. Ainda para a área em que a batimetria é de até 1 km de profundidade, mas para o caso da Figura 28.b (La Niña), nota-se que é o menor potencial quando comparado aos demais casos para esta estação do ano.

5.7.3 Inverno

A Figura 29 apresenta o potencial eólico técnico no inverno para El Niño, La Niña e climatologia.

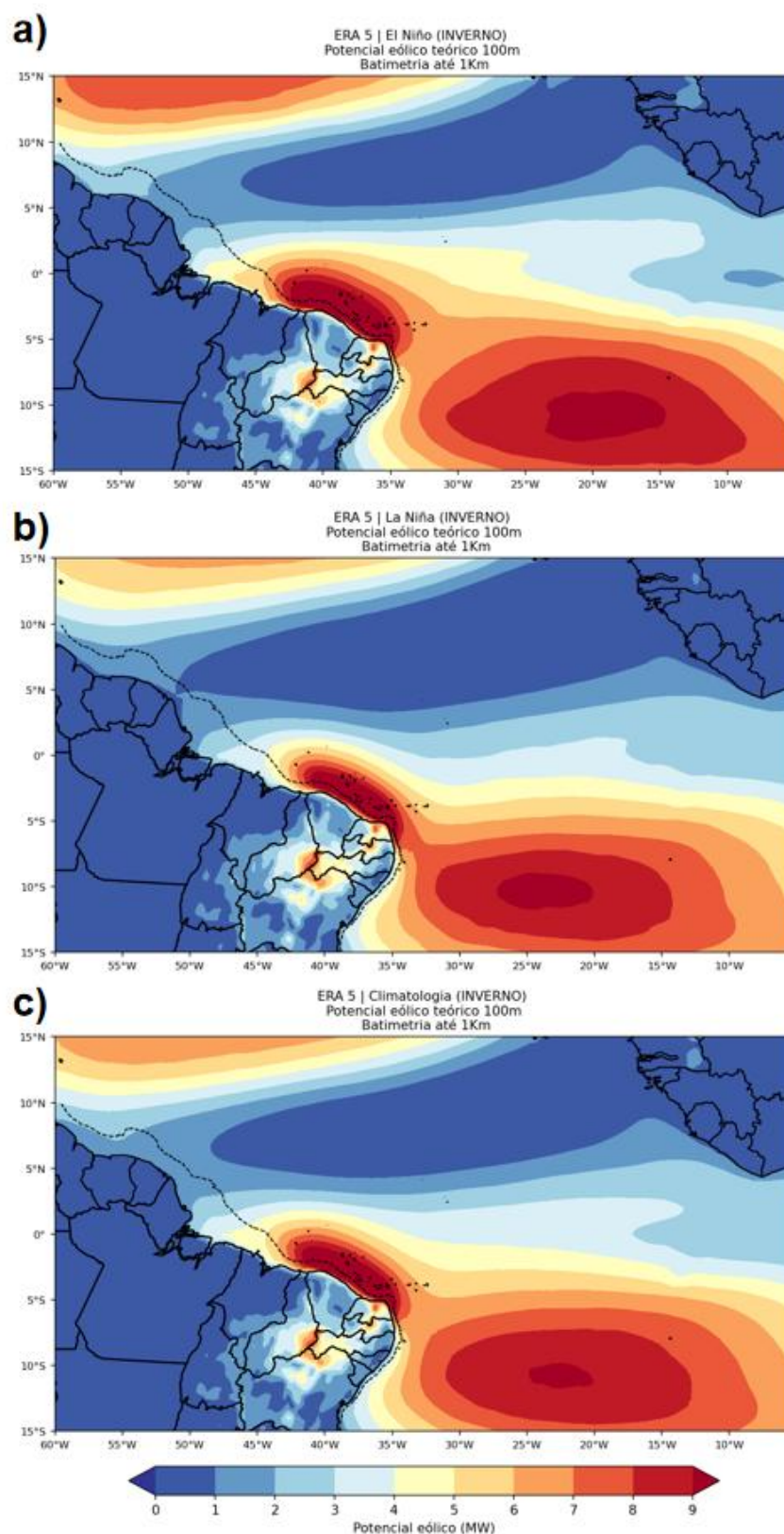


Figura 29: Potencial eólico técnico no inverno para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 29 mostra que a distribuição do potencial eólico técnico é semelhante entre a fase quente do ENOS e a climatologia. Além disso, os máximos valores para casos de La Niña não atingem a costa do estado do Pará, diferentemente dos casos de El Niño e da climatologia durante o inverno. Com a ZCIT na sua posição mais ao norte, nota-se que, para todos os três casos (El Niño, La Niña e climatologia) há valores maiores que 9 MW de potência eólica atingindo a costa dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.

5.7.4 Primavera

A Figura 30 apresenta o potencial eólico técnico na primavera para El Niño, La Niña e climatologia.

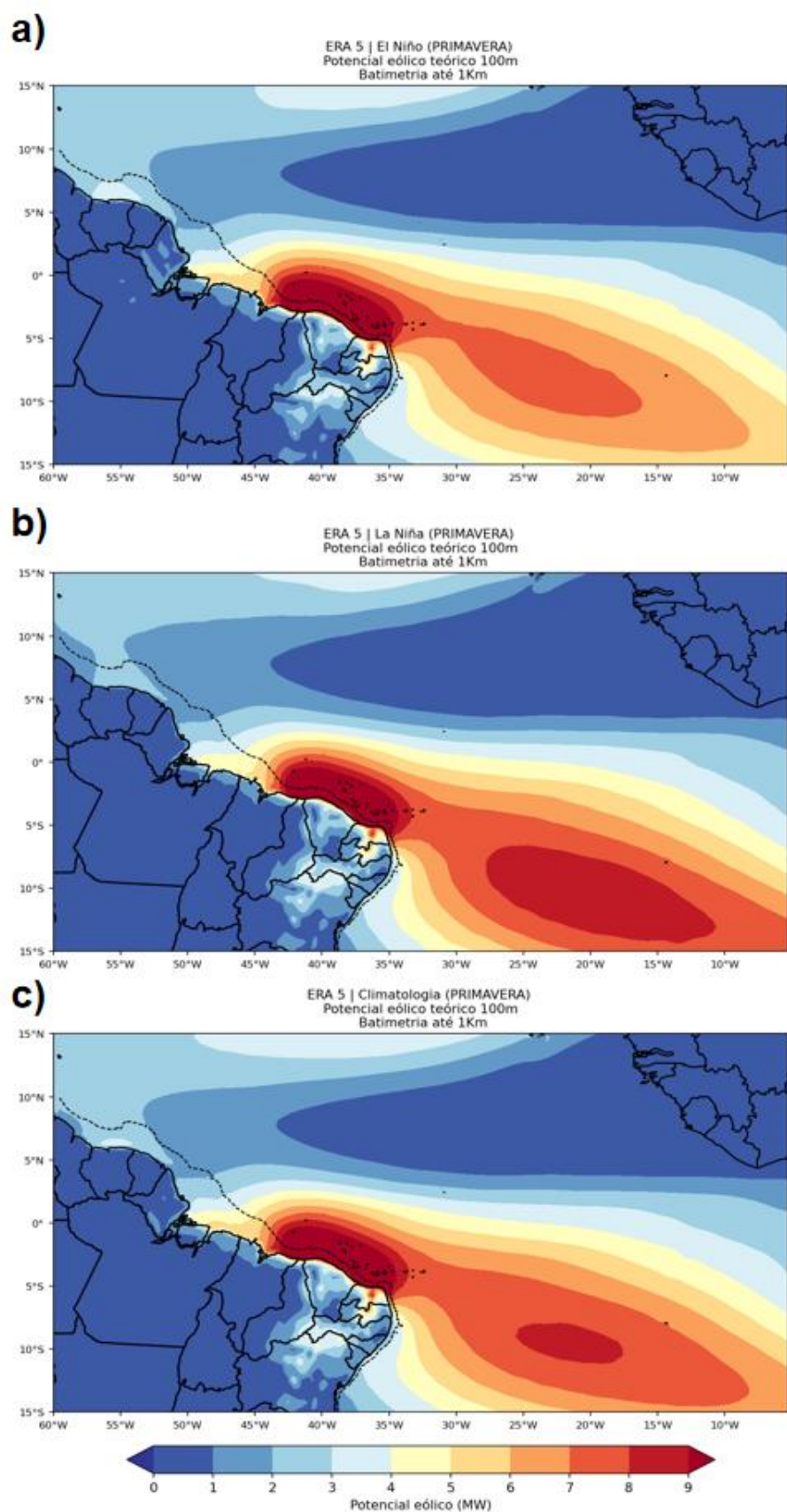


Figura 30: Potencial eólico técnico na primavera para a) El Niño, b) La Niña e c) climatologia. A linha tracejada indica a batimetria de até 1 km de profundidade. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 30 mostra que a distribuição do potencial eólico técnico é semelhante entre a fase quente do ENOS e a climatologia. Além disso, os máximos valores para casos de El Niño, La Niña e da climatologia atingem a costa do estado do Pará durante a primavera.

5.8 POTENCIAL EÓLICO TÉCNICO X ENOS

Como o domínio espacial abrange a costa dos estados da região norte, a análise, que segue, incluirá os estados do Pará e do Amapá.

5.8.1 Verão (ENOS - Climatologia)

A Figura 31 apresenta a diferença entre os compostos de casos de El Niño, La Niña, e a climatologia do potencial eólico técnico para o verão.

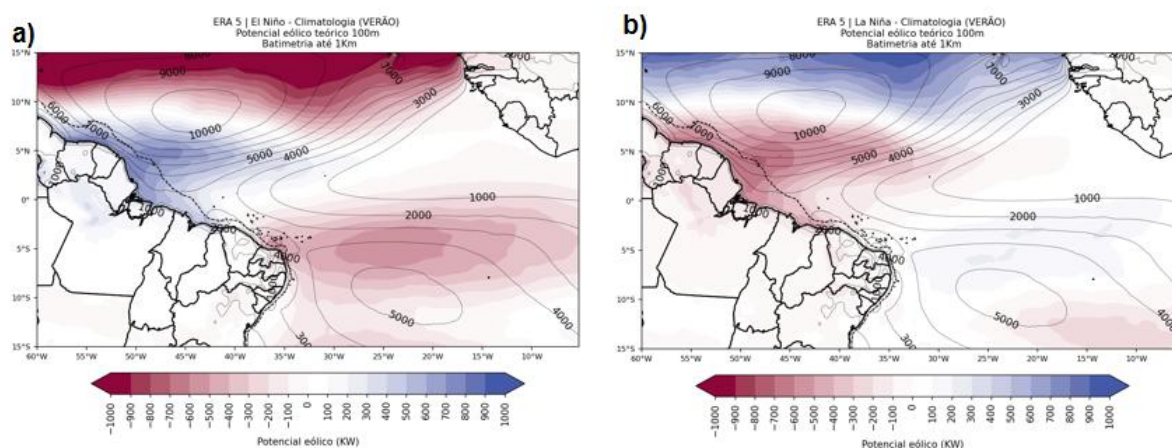


Figura 31: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o verão. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 31.a (El Niño) apresentou, para o verão, superávit de até 800 kW de potencial eólico na região da costa dos estados do Amapá e Pará, o que corresponde a aproximadamente 17,78% quando comparada à média climatológica. Parte da região costeira do estado do Ceará e toda a região costeira do estado do Rio Grande do Norte apresentaram déficit de potencial eólico de até 700 kW, o que

indica aproximadamente um decréscimo de 17,5% da energia em relação ao potencial técnico disponível para a média climatológica. Ambos para a região delimitada pela batimetria de até 1 km.

A Figura 31.b (La Niña) mostrou, ainda para o verão, que para a região delimitada pela batimetria de até 1 km e adjacente a costa dos estados do Amapá e Pará ocorre o déficit de até 700 kW, o que corresponde à diminuição de cerca de 14% em relação à média climatológica do potencial eólico técnico.

5.8.2 Outono (ENOS - Climatologia)

A Figura 32 apresenta a diferença entre os compostos de casos de El Niño, La Niña, e a climatologia do potencial eólico técnico para o outono.

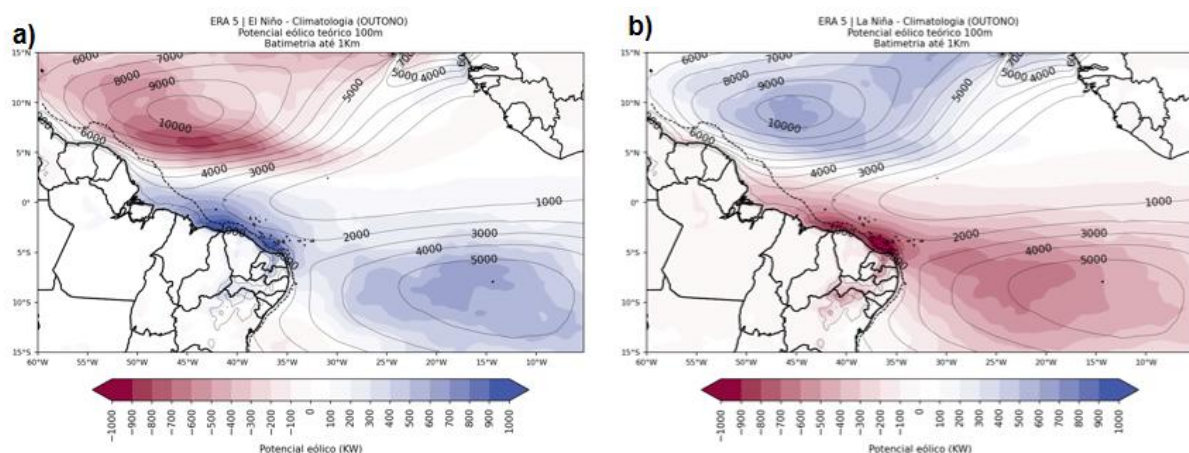


Figura 32: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o outono. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 32.a (El Niño) apresentou, para o outono, aumento no potencial eólico técnico em toda a região da costa norte do NEB. A região que se estende da costa do Maranhão até o Rio Grande do Norte apresentou picos de superávit do potencial eólico técnico de 1000 kW, o que corresponde a aproximadamente 33,33% em relação à média climatológica.

A Figura 32.b (La Niña) apresentou, ainda para o outono, diminuição no potencial eólico técnico em toda a região da costa norte do NEB. A região que se estende da costa do Piauí até o Rio Grande do Norte apresentou picos de déficit do potencial eólico técnico de 1000 kW, o que corresponde a aproximadamente 33,33%

em relação à média climatológica, ou seja, aproximadamente o oposto do que ocorreu durante casos de El Niño.

5.8.3 Inverno (ENOS - Climatologia)

A Figura 33 apresenta a diferença entre os compostos de casos de El Niño, La Niña, e a climatologia do potencial eólico técnico para o inverno.

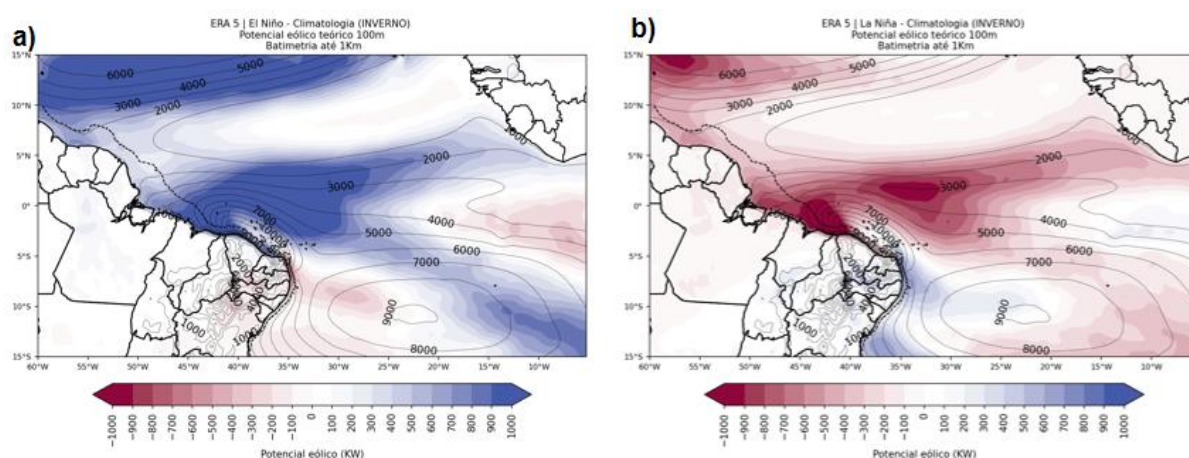


Figura 33: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para o inverno. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 33.a (El Niño) apresentou, para o inverno, aumento no potencial eólico técnico de 1000 kW em toda a região da costa norte do NEB. Esse aumento corresponde a cerca de 11,11% do valor médio climatológico. O que explica o valor de 1000 kW para apenas 11,11% é o fato do potencial eólico técnico no NEB ser relativamente mais alto nessa época do ano, da ordem de 9 MW.

A Figura 33.b (La Niña) mostra, ainda para o inverno, uma situação aproximadamente oposta ao que ocorre em casos de El Niño. Em casos de La Niña, ocorre a diminuição do potencial eólico técnico da ordem de 1000 kW para regiões onde o potencial eólico climatológico médio varia entre 5 e 9 MW, ou seja, a diminuição do potencial eólico técnico varia de aproximadamente de 11,11 a 20%.

5.8.4 Primavera (ENOS - Climatologia)

A Figura 34 apresenta a diferença entre os compostos de casos de El Niño, La Niña, e a climatologia do potencial eólico técnico para a primavera.

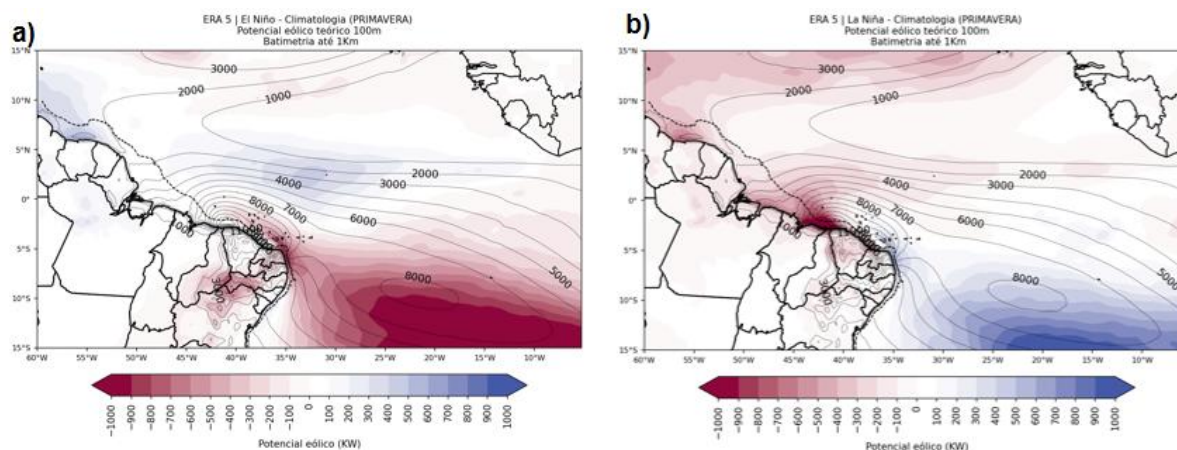


Figura 34: Diferença entre os compostos de casos de a) El Niño, b) La Niña, e a climatologia da intensidade do vento a 100 m para a primavera. As isolinhas indicam o potencial eólico técnico (kW) referente à média climatológica. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 34.a (El Niño) apresentou, para o inverno, redução no potencial eólico técnico de até 1000 kW na região costeira do estado do Rio Grande do Norte para regiões onde o potencial eólico climatológico médio varia entre 8 e 13 MW, o que corresponde à redução de 7,69 a 12,5%.

A Figura 34.b (La Niña) apresentou novamente, ainda para o inverno, redução no potencial eólico técnico de até 1000 kW na região costeira do estado do Maranhão até o Ceará para regiões onde o potencial eólico climatológico médio varia entre 5 e 13 MW (déficit de 7,69 a 20%) e aumento de potencial eólico técnico de até 500 kW para costa do estado do Rio Grande do Norte, em regiões onde o potencial eólico climatológico médio varia entre 4 e 13 MW, o que corresponde ao aumento de 3,84 a 12,5%.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou avaliar a influência do ENOS na posição da ZCIT e no regime de vento, ambos para a costa norte do NEB, além compreender a variação do potencial eólico técnico em função das fases positiva e negativa do El Niño Oscilação Sul para cada estação do ano.

No presente trabalho, foi possível observar que a reanálise ERA-5, em detrimento da reanálise MERRA-2, apresentou valores mais semelhantes quando comparados aos dados da bóia. Além disso, esta reanálise representou de forma satisfatória tanto as fases quanto a intensidade do ENOS.

Em relação ao vento a 100 m, a costa do estado do Rio Grande do Norte apresentou anomalia negativa na intensidade do vento (até 0,3 m/s) em casos de El Niño, enquanto que para a região da costa dos estados do Piauí e Maranhão ocorreu anomalia positiva da intensidade do vento (até 0,4 m/s) durante o verão. Para casos de La Niña, a região costeira dos estados do Ceará, Piauí e Maranhão apresentaram anomalias negativas na intensidade do vento (até 0,4 m/s), enquanto que a região costeira do Rio Grande do Norte apresentou anomalia desprezível, também durante o **verão**.

Para o **outono**, toda a costa norte do NEB apresentou anomalia positiva da intensidade do vento a 100 m e com picos de anomalia positiva (0,8 m/s) na região da costa dos estados do Maranhão e Piauí durante casos de El Niño. Para casos de La Niña, toda a região contida ao sul de 5°N no domínio da região de estudo apresentou anomalia negativa da intensidade do vento a 100 m, com picos de 0,9 m/s na região costeira dos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.

Em relação ao **inverno**, toda costa norte do NEB apresentou intensificação anômala do vento a 100 m com valores máximos de 0,6 m/s atingindo a região costeira do estado do Maranhão durante casos de El Niño. Para La Niña, a costa norte do NEB apresentou enfraquecimento anômalo da intensidade do vento a 100 m, com picos (0,7 m/s) na costa do estado do Maranhão.

Para a **primavera**, a costa norte do NEB apresenta anomalia negativa da intensidade do vento tanto para o El Niño quanto para La Niña. com exceção da região costeira próxima aos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco em casos de La Niña.

Com base no que foi apresentado, notou-se que as baixas variações na intensidade do vento a 100 m para quaisquer das fases do ENOS (ventos menores que 1 m/s) interferem significativamente no potencial eólico técnico da região da costa norte do NEB.

A partir do que foi observado nos resultados, nota-se uma variação meridional no posicionamento da ZCIT relacionada aos efeitos de escala sazonal. Enquanto que para a escala interanual (ENOS), as alterações no posicionamento da ZCIT se caracterizaram de forma mais zonal, sendo as estações do outono e inverno as mais afetadas.

Os resultados ainda nos revelam que a variação sazonal da intensidade do vento a 100 m na região de estudo é um fator importante a se considerar, visto que nas estações do inverno e da primavera ocorrem os maiores valores da intensidade do vento e, conseqüentemente, do potencial eólico. Durante o verão e o outono, tanto a intensidade do vento a 100 m quanto o potencial eólico na região estudada se apresentam mais atenuados. Dessa forma, este estudo evidencia a necessidade da alternância entre a energia eólica, solar e hidrelétrica no NEB a fim de maximizar a geração de energia em função da sazonalidade.

Entre as possíveis sugestões para a melhoria ou continuação do presente trabalho destacam-se a realização do cálculo do potencial eólico considerando que a densidade do ar seja dependente de parâmetros termodinâmicos (pressão, temperatura, etc.) e o ajuste do cálculo do coeficiente de potência para valores realísticos (aproximadamente 0,5 de acordo com Cardoso e Ferreira (2015)).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN GEOSCIENCES INSTITUTE. **What are El Niño and La Niña?** 16 ago. 2016. American Geosciences Institute. Disponível em: <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-are-el-nino-and-la-nina>. Acesso em: 10 maio 2022.

BORGES, F. Q., BARAÚNA, N. C., CHOTOE, J. R. "Fontes renováveis de energia elétrica e qualidade de vida em comunidades na Ilha do Marajó, Pará", **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 33, 27 abr. 2015. DOI: 10.5380/dma.v33i0.35447. Acesso em: 28 jun. 2021.

CARDOSO, J. M. de M., FERREIRA, D. H. L. "Equações Matemáticas E Conceitos Físicos Aplicados a Uma Turbina Eólica Vertical de Pequeno Porte", **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 2, n. 3, p. 42–59, 8 set. 2015.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J.. **Tempo e clima no Brasil**. [S.l: s.n.], 2009

DE MELO, A. B. C., NOBRE, P., MENDES, D., *et al.* "A Zona de Convergência Intertropical Sobre O Oceano Atlântico: Climatologia", **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, p. 682–686, 2002. . Acesso em: 4 jan. 2022.

GEBCO Compilation Group, **GEBCO 2020 Grid**, 2020, DOI:10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9. Acesso em: 10 ago. 2022.

GOMES, J. P. P., VIEIRA, M. M. F. "O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002", **Revista de Administração Pública**, v. 43, n. 2, p. 295–321, abr. 2009. DOI: 10.1590/s0034-76122009000200002. Acesso em: 28 jun. 2021.

GOMES, J. S., PIMENTEL, L. C. G., ASSAD, L. P. de F. "Estudo preliminar do Potencial Eólico offshore na região Nordeste do Brasil frente à cenários de Mudanças Climáticas". 2021. **Anais [...]** Recife, Brasil, Even3, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29327/131086.1-28>. Acesso em: 10 jan. 2022.

HASTENRATH, S., HELLER, L. "Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil", **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77–92, jan. 1977. DOI: 10.1002/qj.49710343505. . Acesso em: 14 jan. 2022.

HU, Y., LI, D., LIU, J. "Abrupt seasonal variation of the ITCZ and the Hadley circulation", **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 18, 28 set. 2007. DOI: 10.1029/2007gl030950. . Acesso em: 14 mar. 2022.

KNIGHT, J. R., FOLLAND, C. K., SCAIFE, A. A. "Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation", **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 17, 2006. DOI: 10.1029/2006gl026242. . Acesso em: 25 jan. 2022.

NOBRE, P., SHUKLA, J. "Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America", **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464–2479, out. 1996. DOI: 10.1175/1520-0442(1996)009<2464:vosstw>2.0.co;2. . Acesso em: 15 jan. 2022.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. V Simpósio Brasileiro de Oceanografia, Santos, 2011.**

PEREIRA, E. B. Segurança energética: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais. In: **Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas**. São Paulo, 28 a 30 de setembro de 2016. [Apresentação].

REBOITA, M. S., AMBRIZZI, T., CRESPO, N. M., *et al.* "Impacts of teleconnection patterns on South America climate", **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1504, n. 1, p. 116–153, 29 abr. 2021. DOI: 10.1111/nyas.14592. . Acesso em: 21 jan. 2022.

RANGEL, M. S.; BORGES, P. B., DOS SANTOS, I. F. S. "Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil", **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 3, 19 ago. 2016. DOI: 10.5380/rber.v5i3.48124. Acesso em: 28 jun. 2021.

SCHNEIDER, T. "The General Circulation of the Atmosphere", **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 34, n. 1, p. 655–688, 1 maio 2006. DOI: 10.1146/annurev.earth.34.031405.125144. . Acesso em: 10 jan. 2022.

SIMAS, M., PACCA, S. "Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável", **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 99–116, 2013. DOI: 10.1590/s0103-40142013000100008. Acesso em: 29 jun. 2021.

SOUZA, C. A. de, REBOITA, M. S. "Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul", **Terra e Didática**, v. 17, p. e02109, 28 fev. 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8663474. . Acesso em: 8 ago. 2022.

TAVARES, L. F. A. "**Energia Eólica Offshore: Uma avaliação do potencial técnico das regiões sul e sudeste brasileiras a partir de três reanálises atmosféricas e do modelo WRF**". Orientador: Luiz Paulo de Freitas Assad e Milad Shadman. 2020. 62 p. Dissertação (Mestre em Meteorologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

TAYLOR, K. E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n.7, p.7183-7192, 2001.

TRENBERTH, K. E. "The Definition of El Niño", **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771–2778, 1 dez. 1997b. DOI: 10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2. .

TOLMASQUIM, M. T., GUERREIRO, A., GORINI, R. "Matriz energética brasileira: uma prospectiva", **Novos Estudos - CEBRAP**, n. 79, p. 47–69, nov. 2007. DOI: 10.1590/s0101-33002007000300003. Acesso em: 28 jun. 2021.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, NOAA, NATIONAL WEATHER SERVICE. **ENSO Indices**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.weather.gov/fwd/indices>. Acesso em: 26 jun. 2022.

VINHOZA, A. "Potencial Eólico Offshore no Brasil: Localização de Áreas Nobres Através de Análise Multicritério". **Dissertação** – UFRJ. Rio de Janeiro, 2019.

WALTER, A. "As Mudanças Climáticas e a Questão Energética", **Revista Multiciência**, n. 8, p. 29–47, maio 2007. Acesso em: 28 jun. 2021.

XAVIER, A., DIAS, M., DIAS, P., *et al.* "Interrelações Entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará", **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 111–126, 2003. DOI: 10.21168/rbrh.v8n2.p111-126. . Acesso em: 21 jan. 2022.

Zhou, W., Leung, L. R., Lu, J., Yang, D., & Song, F. (2020). Contrasting recent and future ITCZ changes from distinct tropical warming patterns. **Geophysical Research Letters**, n. 47, e2020GL089846. <https://doi.org/10.1029/2020GL089846>

ANEXO 1 - ESCALA BEAUFORT

Tabela 1.1 - Escala Beaufort

Grau	Designação	m/s	km/h	Efeitos em terra
0	<i>Calmo</i>	<0,3	<1	Fumaça sobe na vertical
1	<i>Aragem</i>	0,3 a 1,5	1 a 5	Fumaça indica direção do vento
2	<i>Brisa leve</i>	1,6 a 3,3	6 a 11	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	<i>Brisa fraca</i>	3,4 a 5,4	12 a 19	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	<i>Brisa moderada</i>	5,5 a 7,9	20 a 28	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	<i>Brisa forte</i>	8 a 10,7	29 a 38	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	<i>Vento fresco</i>	10,8 a 13,8	39 a 49	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto; assobio em fios de postes
7	<i>Vento forte</i>	13,9 a 17,1	50 a 61	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	<i>Ventania</i>	17,2 a 20,7	62 a 74	Quebram-se galhos de árvores; dificuldade em andar contra o vento; barcos permanecem nos portos
9	<i>Ventania forte</i>	20,8 a 24,4	75 a 88	Danos em árvores e pequenas construções; impossível andar contra o vento
10	<i>Tempestade</i>	24,5 a 28,4	89 a 102	Árvores arrancadas; danos estruturais em construções

11	<i>Tempestade violenta</i>	28,5 a 32,6	103 a 117	Estragos generalizados em construções
12	<i>Furacão</i>	>32,7	>118	Estragos graves e generalizados em construções

Disponível em: <<https://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/escala-de-beaufort/>> Acesso em: 11 ago 2022.

APÊNDICE A - TABELA DE CASOS EL NIÑO

Tabela A.1 - Tabela de casos de El Niño

Time	ONI - ASST (°C - Running mean = 3 months)
JFM - 1991	0.57663715
JJA - 1991	0.84361136
OND - 1991	0.9164011
NDJ - 1991	1.1744827
DJF - 1991	1.6000983
JFM - 1992	1.8020781
FMA - 1992	1.7970148
MAM - 1992	1.3356682
AMJ - 1992	1.1340333
MJJ - 1992	0.86590564
AMJ - 1993	0.5797857
MJJ - 1993	0.84285104
JJA - 1993	0.6230785
OND - 1994	0.90439814
NDJ - 1994	1.2331185
DJF - 1994	1.2148544
JFM - 1995	0.884296
FMA - 1995	0.8486032
MJJ - 1997	0.5668903
JJA - 1997	1.1167759
JAS - 1997	1.6799911
ASO - 1997	2.000096

SON - 1997	2.2368884
OND - 1997	2.580248
NDJ - 1997	2.724512
DJF - 1997	2.824422
JFM - 1998	2.660788
FMA - 1998	2.2555804
MAM - 1998	1.5409092
AMJ - 1998	0.8590093
JJA - 2002	0.6686118
JAS - 2002	0.69289076
ASO - 2002	0.9690293
SON - 2002	1.1246241
OND - 2002	1.2860769
NDJ - 2002	1.5162841
DJF - 2002	1.4701003
JFM - 2003	1.1119317
FMA - 2003	0.6462675
MAM - 2003	0.5258398
ASO - 2004	0.66547555
SON - 2004	0.7457023
OND - 2004	0.66392606
NDJ - 2004	0.5845307
DJF - 2004	0.729574
JFM - 2005	0.512132
SON - 2006	0.69989365
OND - 2006	0.7772378
NDJ - 2006	0.97472227

DJF - 2006	1.1940465
JFM - 2007	0.7535196
JAS - 2009	0.5772258
ASO - 2009	0.65715075
SON - 2009	0.7516949
OND - 2009	0.8398617
NDJ - 2009	1.4169015
DJF - 2009	1.6196457
JFM - 2010	1.517916
FMA - 2010	1.1883272
MAM - 2010	1.028487
AMJ - 2010	0.5163706
ASO - 2012	0.71059227
NDJ - 2014	0.7415071
DJF - 2014	0.72226846
JFM - 2015	0.5661322
FMA - 2015	0.58366126
AMJ - 2015	0.6922681
MJJ - 2015	0.85659885
JJA - 2015	1.027708
JAS - 2015	1.3443135
ASO - 2015	1.9098665
SON - 2015	2.1262877
OND - 2015	2.3498948
NDJ - 2015	2.7216752
DJF - 2015	2.6195838
JFM - 2016	2.4306822

FMA - 2016	2.1354094
MAM - 2016	1.526398
AMJ - 2016	0.989782
OND - 2018	0.7518577
NDJ - 2018	0.7964344
DJF - 2018	0.8118993
JFM - 2019	0.62836486
FMA - 2019	0.6514325
MAM - 2019	0.89400643
AMJ - 2019	0.64900774
MJJ - 2019	0.6851887
JJA - 2019	0.5099518
JFM - 2020	0.53849113

APÊNDICE B - TABELA DE CASOS LA NIÑA

Tabela B.1 - Tabela de casos de La Niña

Time	ONI - ASST (°C - Running mean = 3 months)
ASO - 1995	-0.58934456
SON - 1995	-0.9781804
OND - 1995	-1.1440552
NDJ - 1995	-1.1675993
DJF - 1995	-1.071148
JFM - 1996	-0.77401453
FMA - 1996	-0.90409017
MAM - 1996	-0.73368514
AMJ - 1996	-0.55495995
MJJ - 1996	-0.7279866
JJA - 1996	-0.56110454
NDJ - 1996	-0.5229809
DJF - 1996	-0.6968821
JFM - 1997	-0.6530142
JJA - 1998	-1.0002974
JAS - 1998	-1.5601743
ASO - 1998	-1.5491232
SON - 1998	-1.1141629
OND - 1998	-1.3595964
NDJ - 1998	-1.5760252
DJF - 1998	-1.9617262
JFM - 1999	-1.7481829
FMA - 1999	-1.3506576

MAM - 1999	-0.9908562
AMJ - 1999	-0.9602803
MJJ - 1999	-0.8549807
JJA - 1999	-1.0682838
JAS - 1999	-0.8671971
ASO - 1999	-1.173498
SON - 1999	-1.0111991
OND - 1999	-1.0790211
NDJ - 1999	-1.6134027
DJF - 1999	-1.8390156
JFM - 2000	-1.8387257
FMA - 2000	-1.5209138
MAM - 2000	-1.0258696
AMJ - 2000	-0.6988502
MJJ - 2000	-0.68327934
JJA - 2000	-0.66845953
JAS - 2000	-0.6077487
OND - 2000	-0.61877674
NDJ - 2000	-0.83306485
DJF - 2000	-0.8903997
JFM - 2001	-0.6104952
FMA - 2001	-0.71084005
MJJ - 2003	-0.50879776
DJF - 2005	-0.6958882
JFM - 2006	-0.7910106
FMA - 2006	-0.62805605

MAM - 2006	-0.7604177
JAS - 2007	-0.57383925
ASO - 2007	-0.63592017
SON - 2007	-1.1679479
OND - 2007	-1.6052018
NDJ - 2007	-1.7093328
DJF - 2007	-1.5814812
JFM - 2008	-1.71312
FMA - 2008	-1.8069919
MAM - 2008	-1.1829945
AMJ - 2008	-1.0080713
MJJ - 2008	-0.7727375
JJA - 2008	-0.57580894
DJF - 2008	-0.8929821
JFM - 2009	-0.9580569
FMA - 2009	-0.61636186
MAM - 2009	-0.5232984
JJA - 2010	-0.7738469
JAS - 2010	-1.2135469
ASO - 2010	-1.375321
SON - 2010	-1.5139387
OND - 2010	-1.6582015
NDJ - 2010	-1.7084788
DJF - 2010	-1.7604569
JFM - 2011	-1.6412077
FMA - 2011	-1.1563734

MAM - 2011	-0.983202
AMJ - 2011	-0.72516364
ASO - 2011	-0.6789441
SON - 2011	-0.7674421
OND - 2011	-1.0096256
NDJ - 2011	-1.2611659
DJF - 2011	-1.0490531
JFM - 2012	-1.0235267
FMA - 2012	-0.6821218
MAM - 2012	-0.5637094
OND - 2016	-0.51226646
NDJ - 2017	-0.8295413
DJF - 2017	-0.88038975
JFM - 2018	-0.68141633
FMA - 2018	-0.6800247
MAM - 2018	-0.74558663
AMJ - 2018	-0.55178034
ASO - 2020	-0.6383446
SON - 2020	-0.9045664
OND - 2020	-1.3290826
NDJ - 2020	-1.4005299
DJF - 2020	-1.1100388
JFM - 2021	-0.9458598
FMA - 2021	-0.7614649
MAM - 2021	-0.53828126

AMJ - 2021	-0.5778676
OND - 2021	-0.93382716
NDJ - 2021	-0.94404924
DJF - 2021	-0.96638906