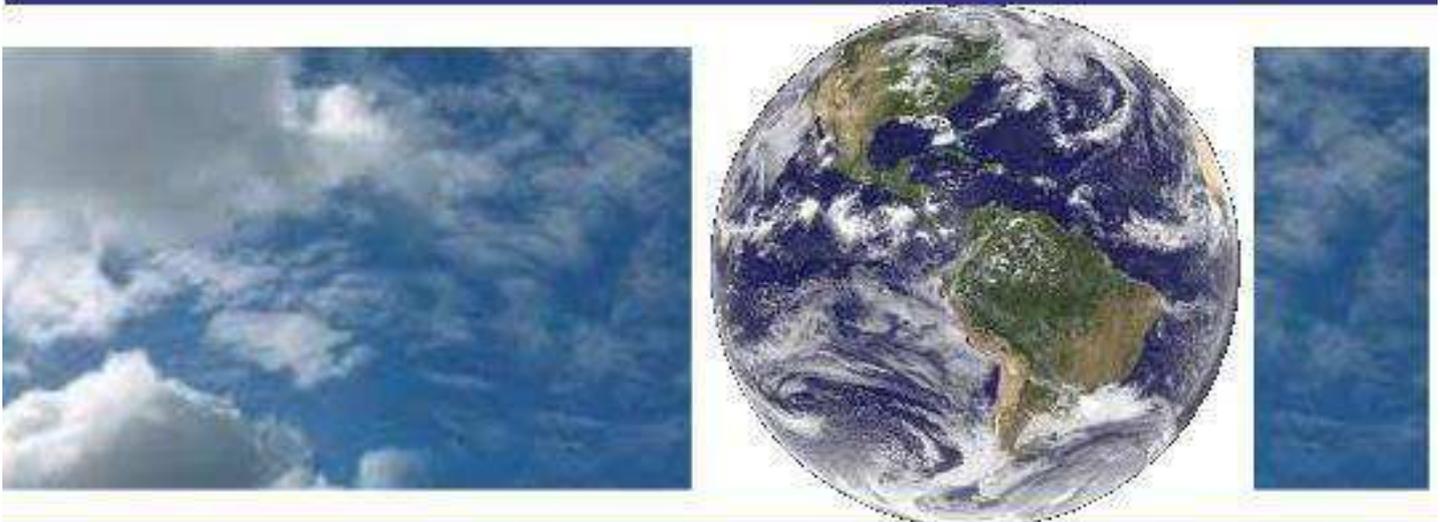


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Renato Francisco Cândido Lopes

**EFEITOS DA TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO
TROPICAIS SOBRE O VENTO NO ESTADO DA PARAÍBA**

Campina Grande, março de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EFEITOS DA TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS
SOBRE O VENTO NO ESTADO DA PARAIBA**

RENATO FRANCISCO CÂNDIDO LOPES

CAMPINA GRANDE-PB

Março de 2022

RENATO FRANCISCO CÂNDIDO LOPES

**EFEITOS DA TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS
SOBRE O VENTO NO ESTADO DA PARAIBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande escalas

Sub-área: Modelagem Atmosférica

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti

CAMPINA GRANDE-PB

Março de 2022

L864e Lopes, Renato Francisco Cândido.
Efeitos da TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais sobre o vento no Estado da Paraíba / Renato Francisco Cândido Lopes. – Campina Grande, 2022.
56 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.
"Orientação: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti".
Referências.

1. Energia Eólica. 2. Densidade de Potência Eólica. 3. Vento.
I. Cavalcanti, Enilson Palmeira. II. Título.

CDU 621.548(043)

RENATO FRANCISCO CÂNDIDO LOPES

EFEITOS DA TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO
TROPICAIS SOBRE O VENTO NO ESTADO DA PARAIBA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10/03/2022

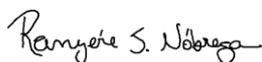
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências
Atmosféricas Universidade Federal de
Campina Grande



Prof. Dra. MAGALY DE FATIMA CORREIA
Unidade Acadêmica de Ciências
Atmosféricas Universidade Federal de
Campina Grande



Prof. Dr. RANYÉRE SILVA NÓBREGA
Departamento de Ciências Geográficas
Universidade Federal de Pernambuco

Ao meu pai, Pedro Lopes (in memoriam),
que não está mais entre nós, mas continua
sendo minha maior força na vida. Sua
lembrança me inspira e me faz persistir.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição. Sem Ele, nada disso seria possível. Também sou grato ao senhor por ter dado saúde aos meus familiares e tranquilizado o meu espírito nos momentos mais difíceis da minha trajetória acadêmica até então.

A minha Mãe, Julita pela compreensão e apoio incondicional. Sempre me incentivou, e me deu forças. Obrigado pelo carinho, amor e atenção.

A todos os meus familiares, que direta ou indiretamente me ajudaram desde o começo de meus estudos.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas pela atenção e pelos ensinamentos ministrados com zelo e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti, pela dedicação, atenção, e pelo auxílio em todas as etapas desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na melhoria deste trabalho.

A universidade Federal de Campina Grande (UFCG), e ao Mestrado em Meteorologia, pela oportunidade de realizar este curso.

Aos funcionários, em particular a Arilene, que se mostra sempre a ajudar.

A todos os colegas e amigos do curso de Graduação e do Mestrado em Meteorologia. Em especial a Edgleidson, que se tornou bem mais que amigo.

A minha namorada, Deborah Albuquerque sempre presente nos momentos alegres e difíceis durante essa jornada. Por todo seu companheirismo, carinho e atenção, agradeço.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pelo suporte financeiro.

RESUMO

O vento pode ser conceituado como o deslocamento do ar devido as variações da pressão atmosférica. Este deslocamento do ar atmosférico se deve há alguns aspectos, como às diferenças de pressão atmosférica, entre duas regiões. A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical influencia diretamente as condições climáticas ao redor do globo terrestre, assim como os fenômenos El Niño e La Niña. Tais condições que podem ser alteradas devido à influência das anomalias de TSM no oceano Atlântico Tropical. Anomalias estas que caracterizam o fenômeno conhecido como Dipolo do Atlântico Tropical. Sendo assim, a TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais associadas a eventos ENOS e de DIPOLO provocam alterações nas condições do vento à superfície na Paraíba/Nordeste do Brasil e neste caso acarretando impactos na prospecção de energia pela força do vento. Portanto, a presente pesquisa tem por objetivo geral verificar correlações entre eventos de El Niño/La Niña e Dipolo positivo/negativo com a intensidade do vento e avaliar o comportamento do vento em Locais de forte potencial eólico. Para isso, foram utilizados dados de reanálises da componente zonal (u), e meridional (v) do vento para as alturas de 10m e 100m, com resolução espacial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, durante os anos de 1981-2010. Como resultados, de maneira geral, tem-se que os menores valores da velocidade média do vento para os dois níveis foram obtidos na mesorregião do Sertão Paraibano. Verifica-se também que as maiores intensidades foram encontradas na porção norte das regiões da Borborema e do Litoral. O efeito da topografia da região vem a influenciar o comportamento do vento no Estado da Paraíba, devido ao seu relevo acidentado. Todas as localidades possuem potencial eólico, com maior destaque em Juazeirinho. Em eventos de El Niño foi verificado as menores variações de velocidade do vento, e em casos de La Niña, e Dipolo/Gradiente negativo constata-se as maiores variabilidades de velocidade do vento. A direção predominante nas localidades analisadas é de Sudeste.

Palavras-chave: Vento, Energia Eólica, Densidade de Potência Eólica.

ABSTRACT

Wind can be conceptualized as air displacement due to variations in atmospheric pressure. This displacement of atmospheric air is due to some aspects, such as the differences in atmospheric pressure, between two regions. Sea Surface Temperature (TSM) in the Pacific and Tropical Atlantic Oceans directly influences climatic conditions around the globe, as well as the El Niño and La Niña phenomena. Such conditions that can be altered due to the influence of TSM anomalies on the Tropical Atlantic Ocean. These anomalies characterize the phenomenon known as Tropical Atlantic Dipole. Thus, the sea surface temperature of the Tropical Atlantic and Pacific oceans associated with ENOS and DIPOLO events cause changes in the surface wind conditions in Paraíba/Northeast Brazil and in this case causing impacts on energy prospecting by wind force. Therefore, the present research has as general objective to verify correlations between El Niño and La Niña and Dipole positive and negative events wind intensity and evaluate wind behavior in locations of strong wind potential. For this, reanalysis data of the zonal (u) and southern (v) wind components were used for heights of 10m and 100m, with spatial resolution $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, during the years 1981-2010. As results, in general, it is found that the lowest values of the average wind speed for the two levels were obtained in the mesoregion of the Sertão Paraibano. It is also verified that the highest intensities are observed in the northern part of the Borborema and Coastal regions. The effect of the topography of the region influences the wind behavior in the State of Paraíba, due to its rugged terrain. All localities have wind potential, with greater prominence in Juazeirinho. In El Niño events, the smallest variations in wind speed were verified, and in cases of La Niña, and Negative Dipole/Gradient, the greatest wind speed variability is observed. The predominant direction in the analyzed localities is from southeast.

Keywords: Wind, Wind Power, Wind Power Density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de Localização e Mesorregiões.

Figura 2: Campos médios do vento para a altura de 10m entre os meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981 – 2010.

Figura 3: Campos médios do vento para a altura de 100m entre os meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981 – 2010.

Figura 4: Densidade de Potência Eólica (DPE) média mensal em (W/m^2) para 10m referente aos meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981-2010.

Figura 5: Densidade de Potência Eólica (DPE) média mensal em (W/m^2) para 100m referente aos meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981-2010.

Figura 6: Coeficiente de Correlação entre a TSM do Pacífico e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

Figura 7: Coeficiente de Correlação entre a TSM do Pacífico e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

Figura 8: Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

Figura 9: Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

Figura 10: Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

Figura 11: Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

Figura 12: Série temporal da anomalia de TSM no Oceano Pacífico, área de Niño 3. Linhas de limiar de $\pm 0,5$; $\pm 1,0$ e $\pm 1,5$ °C, de Janeiro de 1979 a Maio de 2021.

Figura 13: Série temporal da anomalia de TSM (Dipolo/Gradiente: A. Norte – A. Sul) no Oceano Atlântico, Linhas de limiar de $\pm 0,3$; $\pm 0,6$ e $\pm 0,8$ °C, de Janeiro de 1979 a Maio de 2021.

Figura 14: Anomalias de temperatura para Eventos de a) El Niño e b) La Niña referente a condições de moderado (1,0 a 1,4 e -1,0 a -1,4 °C) e forte ($\geq 1,5$ e $\leq -1,5$ °C), e anomalias de dipolo/gradiente para eventos de c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo para condições de moderado (0,3 a 0,5 e -0,3 a -0,5 °C) a forte ($> 0,8$ e $< -0,8$ °C).

Figura 15. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Juazeirinho-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo respectivamente.

Figura 16. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Damião-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

Figura 17. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Teixeira-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

Figura 18. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Campina Grande-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo e d) Dipolo/Gradiente negativo respectivamente.

Figura 19. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Mataraca-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

Figura 20. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Pitimbu-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

Figura 21: Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Juazeirinho para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Figura 22: Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Damião para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Figura 23: Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Teixeira para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Figura 24: Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Campina Grande para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Figura 25: Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Mataraca para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Figura 26: Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Pitimbu para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critério de classificação de El Niño/La Niña, e de Gradiente/Dipolo Positivo/Negativo.

Tabela 2. Localidades escolhidas para estudo da Variabilidade.

Tabela 3. Valores obtidos referentes a Velocidade do Vento a 100m para os casos e localidades selecionadas.

SÚMARIO

LISTA DE FIGURAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.2 Objetivos.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Vento.....	18
2.2 El Niño/La Niña.....	20
2.3 Dipolo.....	21
2.4 Energia Eólica	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Área de estudo: Estado da Paraíba e seus Aspectos Climáticos	25
3.2 Dados	26
3.3 Dados de Reanálise.....	27
3.4 ERA5.....	27
3.5 Análise de Correlação e Teste t de Student	28
3.6 Comportamento do Vento em Episódios Moderados e Fortes de El niño/La Niña e Dipolo Positivo/Negativo	29
3.7 Densidade de Potência Eólica.....	30
4. RESULTADOS.....	32
4.1 Campos Médios do Vento	32
4.2 Densidade de Potência Eólica.....	35
4.3 Correlações	37
4.4 Série Temporal da Anomalia de TSM	44
4.5 Análise Estatística da Velocidade do Vento a 100m Para os Casos e Localidades Seleccionadas.....	46
4.6 Rosa dos Ventos à 100m Para os Casos e Localidades Seleccionadas	54
5. CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos muito tem se falado sobre a importância das fontes de Energia Renováveis para a melhoria da qualidade de vida. As energias renováveis, incluindo solar, eólica, hídrica, biocombustíveis e outras, estão no centro da transição para um sistema de energia menos intensivo em carbono e mais sustentável.

Neste sentido torna-se fundamental destacar a importância do vento, caracterizado como um elemento meteorológico imprescindível para o desenvolvimento de diversos fatores, dentre eles os fenômenos meteorológicos, relevo e a formação de chuvas. Pode ser conceituado como o deslocamento do ar devido as variações da pressão atmosférica. Este deslocamento do ar atmosférico se deve há alguns aspectos, como às diferenças de pressão atmosférica, entre duas regiões (força do gradiente de pressão), dominadas por efeitos locais, tanto por rugosidade da superfície ou pela orografia da área em questão; a distribuição desigual da radiação solar; a continentalidade; altitude e latitude, que influenciam diretamente nos processos de aquecimento das massas de ar atmosférico, podendo ser úmidos, secos, quentes ou frios.

Os ventos se deslocam em geral, das áreas de alta pressão para baixa pressão. A alta pressão do ar é definida como uma camada de ar frio e denso que se dirige em direção à superfície, caracterizada como subsidência do ar frio. Esse movimento provoca o deslocamento dos ventos em direção às zonas de baixa pressão, onde o ar mais quente e menos denso tende a sofrer ascendência. Ao se observar o campo de vento na atmosfera terrestre, é importante reconhecer que existem várias escalas de movimento, tanto no tempo como no espaço (VIANELLO; ALVES, 2012).

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical influencia diretamente as condições climáticas ao redor do globo terrestre. Existem alguns fatores que influenciam diretamente nas condições climáticas de vários países, dentre eles os fenômenos El Niño e La Niña, condições estas que podem ser alteradas devido à influência das anomalias de TSM no oceano Atlântico Tropical.

O El Niño é definido como um fenômeno atmosférico-oceânico que resulta no aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico tropical, influenciando a distribuição da temperatura da superfície da água e, conseqüentemente, o clima de várias regiões do globo. De forma geral, os ventos alísios sopram com certa intensidade na costa oeste da América do Sul, o El Niño faz com que esses ventos soprem em uma intensidade menor.

O fenômeno El Niño resulta em altos índices pluviométricos em algumas regiões, como na costa oeste da América do Sul, e em graves secas e períodos de estiagem em outras, como na Austrália. No Brasil, o fenômeno também possui forte influência, provocando excesso de chuvas em algumas regiões, como na região sul e sudeste; e secas em outras, como na região nordeste.

A La Niña é o efeito contrário do El Niño, ocorre com menos frequência e tem duração média entre 9 a 12 meses (FREIRE, 2011). O fenômeno La Niña é caracterizado como o resfriamento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico causado por uma intensidade acima do normal dos ventos alísios no Pacífico tropical.

O Dipolo do Atlântico Tropical pode ser definido pela presença de um padrão de anomalias de TSM de sinais opostos, sendo um polo sobre a bacia Norte do Atlântico Tropical (AT) e outro de sinal oposto sobre a bacia Sul do Atlântico Tropical. Anomalias positivas na bacia Norte e negativas no Sul caracteriza um padrão dipolo positivo (DP). Anomalias positivas na bacia Sul e negativas no Norte, caracterizam um padrão de dipolo negativo (DN) (MOURA; SHUKLA, 1981). Esta anomalia térmica nos oceanos apresenta efeitos também anômalos na atmosfera. O oceano aquece (esfria) o ar da superfície, gerando centros de baixa (alta) pressão, que alimentam a circulação dos ventos.

Nos dias atuais duas fontes renováveis de energia vem se destacando: a eólica e a solar, que podem regenerar-se em um curto espaço de tempo, sendo considerados, portanto, inesgotáveis. Também são consideradas uma alternativa ao modelo energético atual, visto que seu uso causa menos impactos negativos ao meio ambiente. Algumas fontes de energia renováveis são consideradas limpas e têm bom custo-benefício. Apesar de que as energias consideradas limpas como, por exemplo, a eólica, apresentam pequenos impactos ambientais, entre os efeitos negativos, destacam-se os sonoros e visuais.

Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2020), as energias renováveis devem liderar o setor elétrico global. Prevê-se que as reduções de custos e o apoio sustentado às políticas conduzam ao forte crescimento das energias renováveis após 2022. Mesmo com os desafios impostos pela crise gerada pela Covid, os fundamentos da expansão das energias renováveis não mudaram. De modo geral, as energias renováveis devem responder por 95% do aumento líquido na capacidade global de energia até 2025 (IEA, 2020). Ainda de acordo com a IEA, a capacidade total instalada eólica e solar fotovoltaica está em curso para ultrapassar o gás natural em 2023 e o carvão em 2024.

A energia eólica por si só é responsável por 30% de todas as adições de capacidade renovável até 2025. Esse rápido crescimento das energias renováveis variáveis em todo o mundo exige maior atenção política para garantir que sejam integradas de forma segura e econômica aos sistemas elétricos.

Portanto, a TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais associadas a eventos ENOS e de DIPOLO provocam alterações nas condições do vento à superfície na Paraíba/Nordeste do Brasil e desta feita acarretando impactos na prospecção de energia pela força do vento. Avaliar correlações entre episódios de El Niño/La Niña e Dipolos positivo/negativo com a intensidade do vento sobre o Estado da Paraíba, torna-se relevante para o gerenciamento da produção de energia em parques eólicos da região. Neste sentido são apresentados os objetivos geral e específicos perseguidos nesta pesquisa.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral

Verificar correlações entre eventos de El Niño/La Niña e Dipolo positivo/negativo com a intensidade do vento e avaliar o comportamento do vento em locais de forte potencial eólico.

Objetivos específicos

- 1) Identificar áreas de maior intensidade média mensal do vento sobre a região para as alturas de 10 e 100 metros;
- 2) Obter a densidade de potencia eólica para as alturas de 10 e 100 metros;
- 3) Avaliar a distribuição espacial do coeficiente de correlação linear entre a TSM do Pacífico e Atlântico com a velocidade do vento;
- 4) Avaliar a variabilidade do vento (direção e intensidade), em locais de alto potencial eólico, referente a episódios de moderado a forte de El Niño/La Niña e Dipolo positivo/negativo à 100 metros de altura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vento

Klink (1999) utilizando dados de vento à superfície para o período de 1961 a 1990 em 216 estações dos Estados Unidos, com objetivo de identificar características no comportamento dessa variável que conseguissem oferecer informações complementares à climatologia dos Estados Unidos, verificou que a variação sazonal no campo médio está relacionada com mudanças sazonais na pressão ao nível médio do mar, enquanto que a topografia tem grande influência no comportamento do vento na parte oeste dos EUA. Na época do inverno os ventos de oeste e noroeste são predominantes, já no verão os ventos de sul são determinantes. Com relação as direções, elas são mais variáveis nas estações de transição, da primavera e outono.

A velocidade do vento é mais intensa no inverno e primavera, tendo em vista que nessas estações do ano os gradientes horizontais de temperatura e pressão (equador-pólo) são mais intensos. As similaridades e diferenças nos campos médios do vento à superfície (velocidade, direção e vetor velocidade) e sua variabilidade interanual são resultado da interação entre sistemas locais e de escala sinótica.

Correia (2000) usando dados horários de vento à superfície para um período de 5 anos (1977-1981) com objetivo de analisar as componentes zonal e meridional do vento afim de determinar padrões temporais da variabilidade do vento associando-os com a fisiografia, e os fenômenos atmosféricos que atuam na região nordeste do Brasil, verificou que a maioria dos sistemas atmosféricos, em especial a circulação de grande escala (anticiclone subtropical do Atlântico Sul) e a difícil fisiografia são fatores determinantes no comportamento do vento à superfície na região nordeste do Brasil.

Barreto (2001) afirmou que a variabilidade do vento à superfície é resultante da atuação de fenômenos de várias escalas de tempo e espaço. A escala de tempo diária é diretamente relacionada com processos de circulação de mesoescala em todos os padrões espaciais. Os resultados mostram que todas as circulações locais interagem com o escoamento de grande escala, o que pode explicar a complexidade da variabilidade do vento à superfície representada nos padrões espaciais que apresentam núcleos localizados em áreas de orografia complexa, sendo eles: o vale do submédio São Francisco e o norte da Chapada Diamantina, e em áreas litorâneas.

Silva *et al.* (2002) caracterizaram o regime dos ventos predominantes objetivando avaliar os recursos eólicos no estado da Bahia. Foram utilizados dados de velocidade e direção do vento a 10 metros de altura de 22 estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia, (INMET), para o período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. Os resultados obtidos mostraram que a distribuição de frequência Weibull representou adequadamente a distribuição de frequência da velocidade do vento, propiciando a identificação de áreas com grande potencial de geração de energia eólica na região.

Leite e Filho (2006) ressaltam que a velocidade do vento é uma variável aleatória, com ocorrência de variações anual, mensal, diária e até mesmo horária nos valores médios estimados dentro de uma série de dados.

Silva (2007) em uma análise para a região de tabuleiros costeiros (Pilar-AL) observou que o vento é influenciado pelos fenômenos locais e os de grande escala. As brisas são os fatores mais importantes em termos de escala local, já o El Niño é o que mais tem influência se tratando de grande escala.

Rodrigues *et al.* (2011) mostraram que as anomalias do vento no oeste do Atlântico equatorial variam entre eventos de El Niño.

Santos (2014) com objetivo de determinar a variabilidade sazonal-interanual e a tendência da velocidade do vento afim de validar dois modelos numéricos de mesoescala e microescala respectivamente, para identificar recursos eólicos em algumas localidades do Nordeste Brasileiro, utilizou dados de velocidade do vento provenientes de estações meteorológicas e torres anemométricas. Ele concluiu que a variabilidade sazonal mostrou maiores velocidades no inverno e primavera. Com relação a variabilidade interanual foi observado que a influência dos fenômenos El Niño e La Niña, contribuem para um acréscimo e redução da intensidade da velocidade do vento, respectivamente. Verificou-se que os recursos eólicos apontam as áreas de Paracuru-CE e Triunfo-PE como favoráveis para geração de energia.

Silva (2017) trabalhou com dados anemométricos do Projeto SONDA (Sistema Nacional de Organização de Dados Ambientais) localizado às margens do Rio São Francisco em Petrolina – PE, e de dois parques eólicos situados no litoral do Estado do Ceará: Quixaba (litoral leste), na cidade de Aracati, e Lagoa Seca (litoral oeste), no município de Acaraú. Com objetivo de desenvolver métodos de previsão de vento em curto prazo. As velocidades mais baixas (altas) do ciclo diário do vento foram observadas na madrugada-início da manhã (pela manhã e final da noite, com exceção do

litoral oeste, que apresentou valores máximos no final da tarde). No Ceará ele ocorre no período da manhã (início da tarde e meio da noite) no litoral leste (oeste) e no Lago de Sobradinho durante a noite até o início da manhã. Foi verificado que no litoral leste os ventos são mais fortes, provavelmente devido à curvatura côncava do litoral.

Lima *et al.* (2013) também avaliaram o comportamento do vento no litoral do Ceará a partir de meses representativos da estação seca e chuvosa para eventos de El Niño e La Niña, e observaram que na atuação desses eventos extremos à costa do Ceará apresenta valores de velocidade média favoráveis à instalação de parques eólicos.

2.2 El Niño/La Niña

Marengo *et al.* (1993) associaram o posicionamento da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) com eventos de El Niño, fase quente do ENOS e concluíram que durante anos de grande aquecimento das águas do Pacífico Equatorial, a ZCIT localiza-se mais ao norte de sua posição climatológica sobre o Atlântico Tropical. A intensidade e posicionamento da ZCIT tem forte influência no clima do Nordeste brasileiro (NIMER, 1989).

O posicionamento mais ao norte da ZCIT, favorece a ocorrência de períodos de déficit de precipitação em meses da estação chuvosa, e resulta o enfraquecimento (intensificação) da alta subtropical do Atlântico Norte (Atlântico Sul). Esse padrão está ligado com ventos alísios enfraquecidos e movimentos verticais ascendentes sobre o Pacífico equatorial, já sobre o NEB há movimentos verticais descendentes. Os impactos da fase fria do ENOS (La Niña) tendem a ser opostos aos do El Niño. Os eventos de ENOS tendem a alterar os padrões de vento em escala global, e a precipitação em regiões tropicais e de latitudes médias.

O Fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) tem duas fases: La Niña (Fase Fria), e El Niño (Fase Quente). O ENOS altera a circulação zonal de Walker e com isso afeta a convecção tropical, provocando distúrbios na circulação atmosférica global, e no clima (TRENBERTH, 1997). A alta pressão na superfície, na região central do pacífico, intensifica a componente zonal do vento, reforçando os ventos alísios (VIANELLO; ALVES, 2012).

A mudança na circulação de Walker origina consequências no que diz respeito as variáveis meteorológicas, uma vez que a posição climatológica dessa célula é deslocada (FERREIRA *et al.*, 2005).

Menezes Neto *et al.* (2006) analisaram a relação entre episódios de ENOS e as condições de vento no NEB, com foco no estado do Ceará, em anos de El Niño e La Niña. Notaram que em eventos de El Niño os ventos são mais intensos, o que favorece a geração de energia eólica. Kayano *et al.* (2011) observaram que anomalias na TSM no Oceano Atlântico tropical pode ser identificadas 5-6 meses antes dos eventos ENOS.

O fenômeno La Niña tende a provocar diminuição das temperaturas no Brasil. Ainda assim, sua influência é muito menor em relação ao impacto causado em anos de El Niño (GUIMARÃES; REIS, 2012).

De acordo com Rodrigues e McPhaden (2014) as desigualdades no posicionamento das anomalias de TSM durante um episódio de La Niña podem causar efeitos contrários no nordeste do Brasil. Kayano e Capistrano (2014) mostram que em episódios fortes de El Niño (La Niña) que acontecem durante a fase fria (quente) da AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) ocorrem devido a presença de uma TSM negativa (positiva) entre Pacífico e Atlântico, o que fortalece a ocorrência de El Niño (La Niña) no Pacífico Tropical com a circulação de Walker atípica.

Cavalcanti *et al.* (2020) analisando episódios de El Niño e La Niña, concluíram que em anos de El Niño há uma predominância de anomalia positiva da velocidade do vento sobre a região nordeste do Brasil, o que significa ventos mais intensos. Já em anos de La Niña, com exceção para a primavera de 2007, essa predominância é de anomalias negativas do vento, ou seja, ventos menos intensos.

2.3 Dipolo

Assim como o fenômeno El Niño/Oscilação Sul (Enos) no pacífico (CAVIEDES, 1973; KOUSKY *et al.*, 1984; NOBRE; RENNÓ, 1985; ROPELEWSKI; HALPERT, 1986; KAYANO *et al.*, 1988; ACEITUNO, 1988; KOUSKY; ROPELEWSKI, 1989; ALVES; REPELLI, 1992), o Padrão de Dipolo no Atlântico (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; SERVAIN; LEGLER, 1986; NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA, 1999) tem papel importante na variabilidade oceano-atmosférica de grande escala, por influenciar diretamente a variabilidade interanual da estação chuvosa no Semi-Árido Nordeste.

O Padrão de Dipolo caracteriza-se pela ocorrência conjunta de anomalias de TSM configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical. Anomalias positivas na bacia Norte e negativas no Sul configuram

um padrão de dipolo positivo (DP). Já anomalias positivas na bacia Sul e negativas no Norte, caracterizam um padrão de dipolo negativo (DN) (MOURA; SHUKLA, 1981).

No Nordeste do Brasil com maior influência do Atlântico durante a fase positiva do dipolo estão os Estados de Alagoas, Sergipe e Bahia. Já com o Dipolo neutro, Pernambuco se destaca. Rio Grande do Norte e Paraíba são os dois estados com maior influência do Atlântico durante a fase negativa do dipolo (MOURA *et al.*, 2000).

Lima Filho (2016) com objetivo de descrever a influência e quantificar o efeito do Dipolo do Atlântico Tropical sobre as forçantes da circulação oceânica, tendo como interesse a cidade de Fortaleza, utilizou dados mensais de reanálise do modelo ERA-Interim, no período de 1979 a 2013, para cinco forçantes: TSM, precipitação, evaporação, vento e fluxo de calor total. Como resultados obtidos, foi verificado que os eventos de dipolo positivo são mais frequentes e mais intensos que os eventos negativos. O Dipolo apresentou alta correlação positiva (negativa) na região do Atlântico Tropical norte (sul) para as forçantes: TSM, precipitação e componente meridional do vento, e alta correlação negativa com a anomalia da componente zonal por toda a porção do Atlântico Tropical sul. Em anos de DP, sobre a região de Fortaleza, o oceano ganha (perde) mais calor que a média no primeiro (segundo) semestre. Já anos de DN verifica-se o oposto, porém com porcentagens maiores.

2.4 Energia Eólica

A inovação tecnológica tem exercido um papel central para a evolução e o avanço do setor energético (SAGAR; HOLDREN, 2002). Silva *et al.* (2002) com intuito de determinar a potência eólica da direção predominante do vento, usando dados de 77 Estações Climatológicas do Nordeste do Brasil, concluíram que o estado do Rio Grande do Norte apresentou o maior potencial eólico, enquanto o Maranhão mostrou o menor potencial eólico dentre os estados estudados.

O Brasil apresenta excelentes sítios para instalação de parques eólicos, as melhores áreas são localizadas ao longo da costa, em particular no Nordeste, onde está localizado o Estado da Paraíba, com grande potencial para geração de energia eólica (SAUER *et al.*, 2006). Silva Júnior (2016) corrobora com os autores acima ao dizer que a região brasileira mais promissora é o Nordeste Brasileiro (NEB) com destaque para a costa litorânea, tendo um maior potencial comparado as demais.

Sacramento *et al.* (2006) utilizaram dados de PCDs da FUNCEME afim de investigar o potencial eólico da Serra da Ibiapaba-CE. Os resultados mostraram que nas regiões serranas a variabilidade do vento é baixa, devido o clima atípico, tendo em vista a altitude das regiões. O período de ventos mínimos foi observado justamente com a temporada de chuvas do Estado, já o período de ventos máximos coincidiu com a estação mais seca. Os autores identificaram as regiões de São Benedito e Ubajara com um ótimo potencial eólico.

Lira (2009) confirmou que Paracuru e Camocim são regiões potencialmente favoráveis ao aproveitamento de energia eólica, em seu estudo no que se refere a estimativa dos recursos eólicos no litoral do Ceará.

Sun *et al.* (2009) estudaram a questão da previsão da velocidade do vento para fazendas eólicas em áreas costeiras, no intuito de determinar um sistema para a previsão de energia eólica, foi utilizado o Modelo RAMS para obter a simulação da brisa terra-mar. Os perfis de vento apresentaram diferenças significativas quando sopram do continente e do mar. O cisalhamento do vento é menor quando sopra do mar do que quando sopra do continente. Foi confirmado que mesmo não havendo brisa terra-mar quando o vento sopra do mar, o cisalhamento do perfil do vento é também menor do que o que sopra do continente.

Lima *et al.* (2010) analisou a densidade do potencial eólico nas localidades de São Gonçalo, Patos, Monteiro, Campina Grande e João Pessoa no estado da Paraíba, em um período de 5 anos, de janeiro de 1978 a dezembro de 1981. Os resultados obtidos mostraram que a região com maior potencial eólico foi Campina Grande, enquanto que São Gonçalo foi à de menor potencial comparada às demais localidades.

Melo *et al.* (2010) realizaram simulações com o modelo RAMS, a fim de avaliar o potencial eólico na região do vale do Rio Jaguaribe no Estado do Ceará. Os resultados obtidos mostraram que a região estudada é bastante favorável para geração de energia eólica, tanto em termos de velocidade quanto de direção, em virtude de sua pouca variabilidade.

De acordo com Nunes (2012) toda a extensão da costa nordestina apresenta recursos eólicos abundantes, em sua maioria, devido a presença dos ventos alísios, que atuam durante o ano inteiro na região nordeste do Brasil. O litoral entre as cidades de São Luiz no Maranhão e Natal, e a oeste do Maranhão até o estado do Amazonas, se destacam por seu potencial eólico.

Araújo (2013) constatou que os ventos do Nordeste são mais constantes que os ventos observados nos Estados Unidos e Europa, e essa menor dispersão em torno da velocidade média contribui para um aumento na geração de energia eólica. Também foi verificado que nos Estados Unidos e Europa a densidade do ar é mais elevada que a da região Nordeste, assim favorecendo uma maior capacidade de geração eólica.

Oliveira (2013) realizou simulações numéricas com os Modelos BRAMS e WRF, com objetivo de analisar o potencial eólico do estado da Paraíba, focando nas regiões onde o comportamento do vento é mais favorável à geração de energia elétrica. Os resultados mostraram que os menores valores de velocidade média do vento sobre a Paraíba ocorrem entre o verão e o outono. Já os maiores valores foram obtidos entre o inverno e a primavera.

Segundo Barbosa Filho (2013) o uso da energia eólica representa uma importante alternativa na geração de energia elétrica, principalmente no que refere-se ao impacto ambiental, e a necessidade de redução na emissão de gases de efeito estufa do setor energético.

Júnior *et al.* (2014) com objetivo de avaliar o potencial eólico do estado do Ceará nos períodos chuvoso e seco em eventos de El Niño e La Niña. Concluíram que em episódios de ENOS positivo, há uma condição mais favorável de geração de energia do que em evento de ENOS na fase fria, sobretudo na região litorânea do estado do Ceará.

O estado do Piauí dispõe de regiões favoráveis para o aproveitamento de energia eólica. Porém, deve ser utilizado em complementaridade à energia hidrelétrica, pelo fato deste tipo de energia ser intermitente (LIRA *et al.*, 2017).

Fontenelle (2019), realizou um estudo para a avaliação do potencial eólico utilizando dados de reanálise, verificou que há vantagens em utilizar dados de reanálise para períodos de maior ou menor intensidade do vento, por estes representarem bem a sazonalidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo: Estado da Paraíba e seus Aspectos Climáticos

O Estado da Paraíba está inserido no extremo leste do NEB, entre os paralelos 6°S-8°S e os meridianos 34°W-38°W, incluída totalmente na zona tropical. A Paraíba faz fronteira com o estado do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará e Oceano Atlântico. A Ponta do Seixas, na Paraíba, é o local mais a leste da América do Sul.

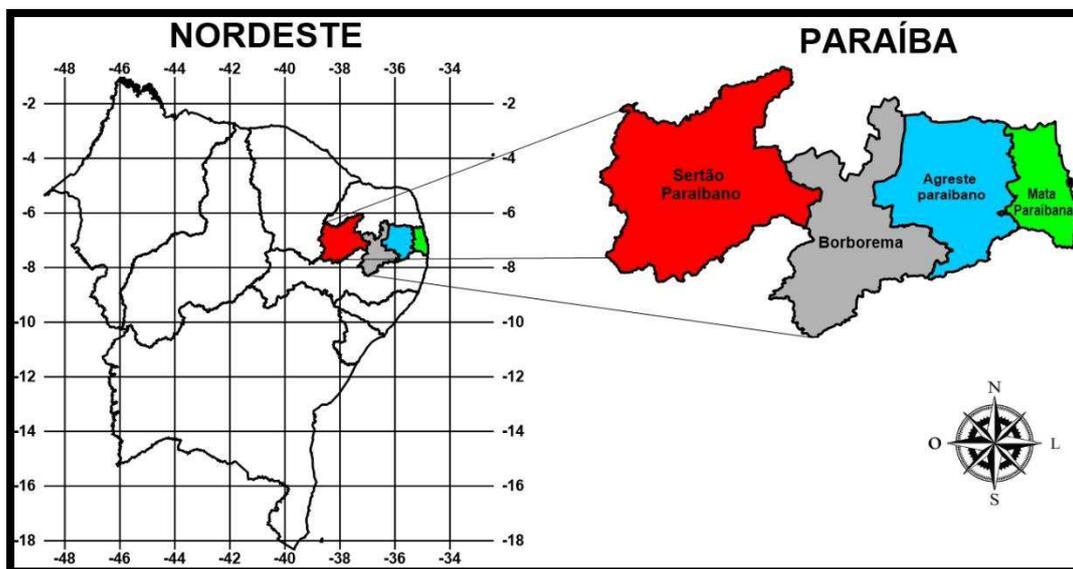


Figura 1. Área de Localização e Mesorregiões.

Localizado próximo à linha do Equador, o Estado da Paraíba possui clima quente, com médias de temperatura que variam de 27°C no litoral, 22°C no Planalto da Borborema, chegando a 30°C no interior do Estado. O clima é do tipo tropical úmido nas áreas litorâneas, com temperaturas médias que variam de 24°C e 27°C, e índices pluviométricos que variam de 900 mm a 1.800 mm ao ano. Na região central do estado onde as médias altimétricas ultrapassam os 300m, atingindo altitudes médias de 600 m, o clima é semi-árido com índices pluviométricos que vão de 1.000 a 2.000 mm ao ano. Na região do Sertão Paraibano o clima predominante é semi-árido quente seco, e semi-úmido nas áreas de serras e depressões, com chuvas de verão, e temperaturas médias anuais de 27°C. Durante o período de 75 anos, as medições pluviométricas registraram taxas

mínimas de 138,0 mm, média de 391,2 mm e máximas de 1.035 mm, distribuídas irregularmente (RODRIGUEZ, 2002; MARIANO NETO, 2003).

O Estado da Paraíba apresenta uma cobertura vegetal bastante diversificada devido a suas condições ambientais. No que é composta por matas, mangues, basicamente constituídos por gramíneas e arbustos, além da floresta Atlântica. Já na região oeste do Estado, área de clima semi-árido, a Caatinga é predominante (RODRIGUEZ, 2002). A caatinga pode ser do tipo arbóreo, com espécies como a baraúna, ou arbustivo representado, entre outras espécies, pelo Xique-Xique e o Mandacaru.

Com relação ao relevo, é caracterizado por planície na região litorânea. No centro do estado está a região do Planalto da Borborema que apresenta as porções mais altas da Paraíba. No Agreste, temos algumas depressões, onde apresenta muitas serras. A parte Oeste do estado (Sertão), é caracterizada pela depressão sertaneja. O ponto mais elevado do estado é o Pico do Jabre, na Serra do Teixeira, esta região é caracterizada principalmente por serras de alta complexidade, com altitudes variando entre 500 e 1.000 metros e áreas de planaltos de média complexidade, com a rugosidade definida por extensões de caatinga arbórea (Back *et al.*, 2016).

3.2 Dados

Nesta pesquisa foram utilizados dados de reanálises da componente zonal (u) e meridional (v) do vento para altura de 10m e 100m, e da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), com resolução espacial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, durante os anos de 1981-2010. A componente (u) é a velocidade horizontal do ar que se move na direção Leste-Oeste expressa em metros por segundo (m/s); a componente (v) é a velocidade horizontal na direção Norte-Sul e também possui dimensão em (m/s). Os dados utilizados nesta pesquisa são oriundos de reanálises do conjunto de dados ERA5, gerados pela parceria entre o *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*, *European Commission, Copernicus Europe's eyes on Earth* e o *Climate Change Service*. Para visualização e manipulação dos dados de reanálises desse trabalho foi utilizado o *Software Grid Analysis and Display System (GrADS)*.

3.3 Dados de Reanálise

Existem alguns fatores que dificultam o desenvolvimento de diversos estudos, como estações que apresentam séries históricas com falhas de medições, devido a falta de manutenção ou problemas técnicos; regiões que possuem poucas estações para coleta de dados; questões financeiras; erros de coleta e até dificuldades de acesso. Diante dessa adversidade são adotados outros meios para a aquisição desses dados, como dados de satélites, sensoriamento remoto, reanálise meteorológica e outros (NÓBREGA; SOUZA; GALVÍNCIO, 2008) e (MOREIRA *et al.*, 2017). Centros de previsão de tempo e clima também disponibilizam produtos de reanálise, que são séries de dados meteorológicos obtidos através da assimilação e reanálise de dados observados em superfície (estações), aviões, navios, imagens de satélite, imagens de radar e radiossondagens em todo o planeta (KALNAY *et al.*, 1996).

Os dados de reanálises são provenientes de uma climatologia desenvolvida por centros meteorológicos. Em outras palavras a reanálise meteorológica pode ser definida como um conjunto de dados em grade. Esses dados são obtidos através da combinação de aquisições de dados medidos por órgãos meteorológicos e modelos físicos de circulação e previsão globais. O resultado dessa interação é um novo conjunto de dados, com alta resolução, e que pode descrever de forma detalhada tanto o comportamento climático de variáveis meteorológicas, como da atmosfera e superfície terrestre, e também dos oceanos (ECMWF, 2020).

De acordo com Mieres (2012) os dados de reanálise podem ser entendidos como a integração de dois sistemas: um que consiste na combinação de um modelo de previsão (obtidos através de satélite), e outro obtidos a partir da assimilação de dados de campo.

3.4 ERA5

O ERA5 integra o projeto “ECMWF *Re-Analysis*” (ERA) desenvolvido pelo *ECMWF* que reúne dados de reanálise de uma grande quantidade de observações climatológicas a nível global. As informações disponibilizadas ao usuários são estimativas horárias de muitas variáveis climatológicas atuante nas condições atmosféricas, terrestres e oceânicas desde 1950 até os dias atuais. O ERA5 apresenta inúmeros avanços comparado ao ERA-Interim, seu antecessor. Dentre as melhorias, temos a resolução espacial horizontal de 31 km, com dados reunidos em uma grade

dividida em 137 níveis, a partir da superfície terrestre até 80 km de altura da camada atmosférica. E os dados sendo atualizados de hora em hora, incluindo estimativas de erros. Apresenta ainda, curvas sobre a evolução das emissões de gases agravantes do efeito estufa, temperatura superficial dos oceano, geleiras e erupções vulcânicas (ECMWF, 2020).

3.5 Análise de Correlação e Teste t de Student

Foi efetuada a correlação entre a TSM da área de El Niño/La Niña (Niño3) com a intensidade do vento para 10m e 100m de altura, em cada ponto de grade. Também, foi feita a correlação da TSM media da área do Atlântico Norte, assim como, da área do Atlântico Sul com a intensidade do vento em 10m e 100m para cada ponto de grade referente ao Estado da Paraíba.

Realizou-se o cálculo para cada ponto da grade o coeficiente de correlação de Pearson entre a TSM em eventos de El Niño/La Niña, assim como dipolo positivo/negativo com a intensidade do vento a 10 e 100 metros acima da superfície. Para tanto foi utilizado *lag* para verificar a correlação com *lag* 0, 1, 2, 3, 4 e 5 correspondendo a defasagem da TSM com meses de 0 a 5 de atraso. Portanto, utilizando-se a expressão:

$$r = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Neste caso, a significância estatística foi avaliada pelo teste t de Student para 99% ($\alpha = 0,01$), com (n-2) graus de liberdade (n = 360). O valor t_c foi obtido para os dois casos através da tabela de distribuição t de Student. Sendo:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

Logo, para o t crítico obtido na tabela pode-se obter o r crítico e portanto se a correlação obtida for igual ou superior, a hipótese nula é rejeitada e portanto o valor de r é estaticamente significativo para uma probabilidade de $p=1-\alpha$ (ex. $\alpha=0,01$).

Utilizando-se o t_c é possível determinar o r_c pela expressão

$$r_c = \frac{t_c}{\sqrt{(n-2)+t^2}} \quad (3)$$

e portanto, se $r > r_c$ a hipótese nula é descartada caracterizando-se valor significativo à 99% e(ou) 95% dependendo dos respectivos valores.

$$t_c = 2,5867 \quad (4)$$

$$r_c = \frac{2,5867}{\sqrt{358+2,5867^2}} = \pm 0,13554 \quad (5)$$

Portanto, valores de correlação maiores que 0,13544 ou menores que -0,13544 são considerados estatisticamente significativos à 99% de probabilidade.

3.6 Comportamento do Vento em Episódios Moderados e Fortes de El niño/La Niña e Dipolo Positivo/Negativo

Foram selecionados e separados os casos mais significativos de ocorrência de El Niño/La Niña e Dipolos positivo/negativo e a respectiva velocidade do vento a 100m para as localidades apresentadas na Tabela 2. Para tal foram adotados critérios propostos por Marcuzzo e Romero (2013) e Cavalcanti *et al.* (2020), respectivamente. (Ver Tabela 1).

Tabela 1 Critério de classificação de El Niño/La Niña (MARCUIZZO; ROMERO, 2013) e de gradiente/dipolo positivo/negativo (CAVALCANTI *et al.*, 2020).

Eventos	Fraco	Moderado	Forte
El Niño	0,5 a 0,9	1,0 a 1,4	$\geq 1,5$
La Niña	-0,5 a -0,9	-1,0 a -1,4	$\leq -1,5$
Gradiente/Dipolo positivo	0,3 a 0,5	0,6 a 0,8	$> 0,8$
Gradiente/Dipolo Negativo	-0,3 a -0,5	-0,6 a -0,8	$< -0,8$

A partir disso, foram analisados o comportamento da variabilidade do vento correspondente a períodos de atuação de El Niño, La Niña, dipolo/gradiente positivo e dipolo/gradiente negativo com características de moderados a fortes.

Estas localidades foram escolhidas tendo como base resultados provenientes de um projeto de pesquisa numa parceria entre a Eletrobras e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), que teve como propósito a definição de localidades para instalação de torres anemométricas experimentais, a instalação de três destas é comprovado em Mariano e Cavalcanti (2017).

Tabela 2 Localidades escolhidas para estudo da variabilidade.

N	Localidade da Paraíba	Altitude (m)	Latitude (° S)	Longitude (° W)
1	Juazeirinho	558	7,113	36,565
2	Damião	602	6,617	35,904
3	Teixeira	774	7,282	37,302
4	Campina Grande	512	7,293	35,952
5	Mataraca	6	6,537	35,014
6	Pitimbu	40	7,382	34,831

Nesse processo foram utilizados gráficos de *boxplot*, assim como, diagramas de rosa dos ventos. Possibilitando avaliar mudanças da intensidade e direção do vento.

3.7 Densidade de Potência Eólica

A densidade de potência é um parâmetro de suma importância na análise dos recursos eólicos, uma vez que fornece uma medida do potencial de geração de energia para uma determinada estimativa do valor médio do vento, independentemente das especificidades técnicas das turbinas eólicas. É expressa em (W/m²), e representa o fluxo de energia cinética por unidade de área. Pode ser calculada a partir da equação da energia cinética

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Vv^2 = \frac{1}{2}\rho \delta lAv^2 \quad (6)$$

Potência - P

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2}\rho \frac{dl}{dt}Av^2 \quad (7)$$

Partindo da equação da potência, chega-se à densidade de potência, que é a relação entre a potência eólica disponível e a área da seção transversal.

Potencia por unidade de área ou densidade de potência - DP

$$DP = \frac{P}{A} = \frac{1}{A} \frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (8)$$

Em que (Dp) é a densidade de potência (W/m²). Neste estudo foi usado $\rho = 1,17 \text{ kg/m}^3$.

Em aplicações de energia eólica a densidade de potência está diretamente relacionada com a produção energética das máquinas, uma vez que multiplicando a densidade de potência eólica disponível pela área varrida pelas pás do rotor da máquina tem-se a potência disponível para cada aerogerador (SILVEIRA, 2011).

4. RESULTADOS

4.1 Campos Médios do Vento

Na Figura 2 são mostrados os campos médios da velocidade do vento para a altura de 10m no Estado da Paraíba, entre os meses de Janeiro a Dezembro, abrangendo os anos de 1981-2010. Os resultados mostram que a estação do ano que apresenta a maior intensidade do vento é o inverno, abrangendo os meses de Junho a Setembro, com destaque para os meses de Agosto e Setembro que apresentam os maiores valores de intensidade do vento na Mesorregião da Borborema, e no Litoral Paraibano. Nesse período os valores variam entre 5,0 e 6,5m/s. Os menores valores são observados na parte Oeste do estado, na qual está situada a Mesorregião do Sertão Paraibano, onde não há variações significativas da velocidade do vento. Os valores máximos podem ser vistos na parte Norte da Borborema e Litoral entre os meses de Julho a Outubro. Podemos observar que a partir do mês de Junho até meados de Setembro a intensidade do vento no Estado da Paraíba se torna mais regular. Os meses de Outubro e Novembro ainda apresentam valores significativos. Os menores valores encontram-se mais ao Sul do Sertão, e no Agreste Paraibano, com destaque para os meses de fevereiro, março e abril. A predominância das maiores intensidades de velocidade do vento são verificados no segundo semestre do ano, devido o período mais seco e de menores eventos de chuva.

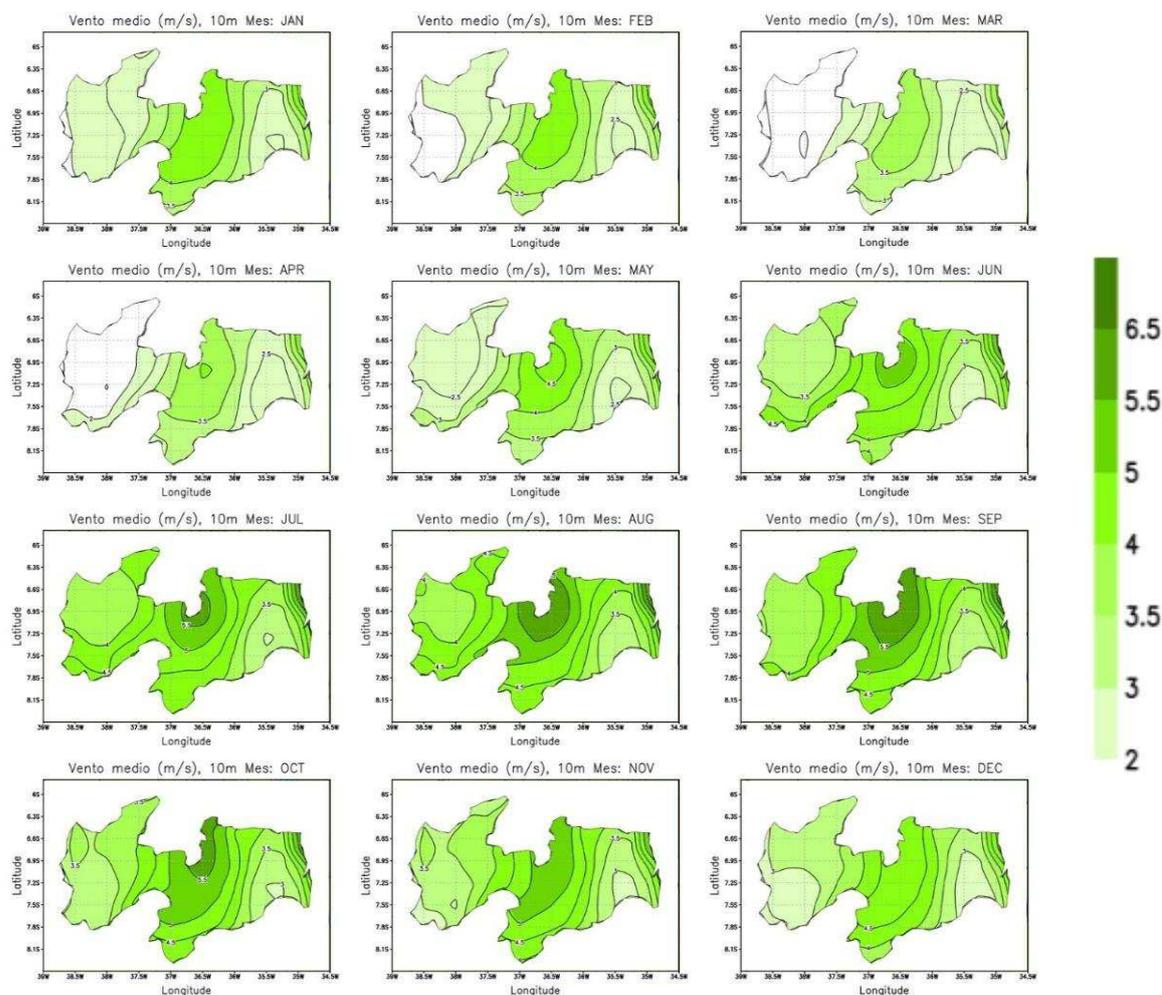


Figura 2. Campos médios do vento para a altura de 10m referente aos meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981 – 2010.

Os campos médios da velocidade do vento para a altura de 100m no Estado da Paraíba entre os meses de janeiro a Dezembro no período de 1981 – 2010 são apresentados na Figura 3. Podemos observar que nos meses de Janeiro e Fevereiro a velocidade do vento é maior na mesorregião da Borborema, atingindo a média de 6,5 m/s. Nos meses de Março e Abril os valores são inferiores, especialmente no Sertão Paraibano, onde variam entre 2,0 e 3,0 m/s. Nos meses de Maio e Junho observam-se valores com maior intensidade para todo o Estado da Paraíba, sendo mais expressivos na região litorânea, e na Borborema. O efeito da rugosidade devido ao relevo tem influência na velocidade do vento, nota-se que à medida que o vento penetra o continente esses valores vão diminuindo. Logo em seguida o vento com baixa velocidade é impulsionado,

provavelmente devido a topografia da região, e assim aumenta de intensidade, até chegar aos valores mínimos no Sertão do Estado

Na altura de 10m o efeito da rugosidade é maior. Já na altura de 100m, a influência da topografia é mais relevante em todos os meses na área do Planalto da Borborema.

Os valores são mais intensos na altura de 100m de acordo com a dinâmica da Camada Limite Planetária (CLP). Podemos observar uma variação sazonal com ventos mais fortes na primavera, e menores no outono, para ambos os níveis analisados na presente pesquisa.

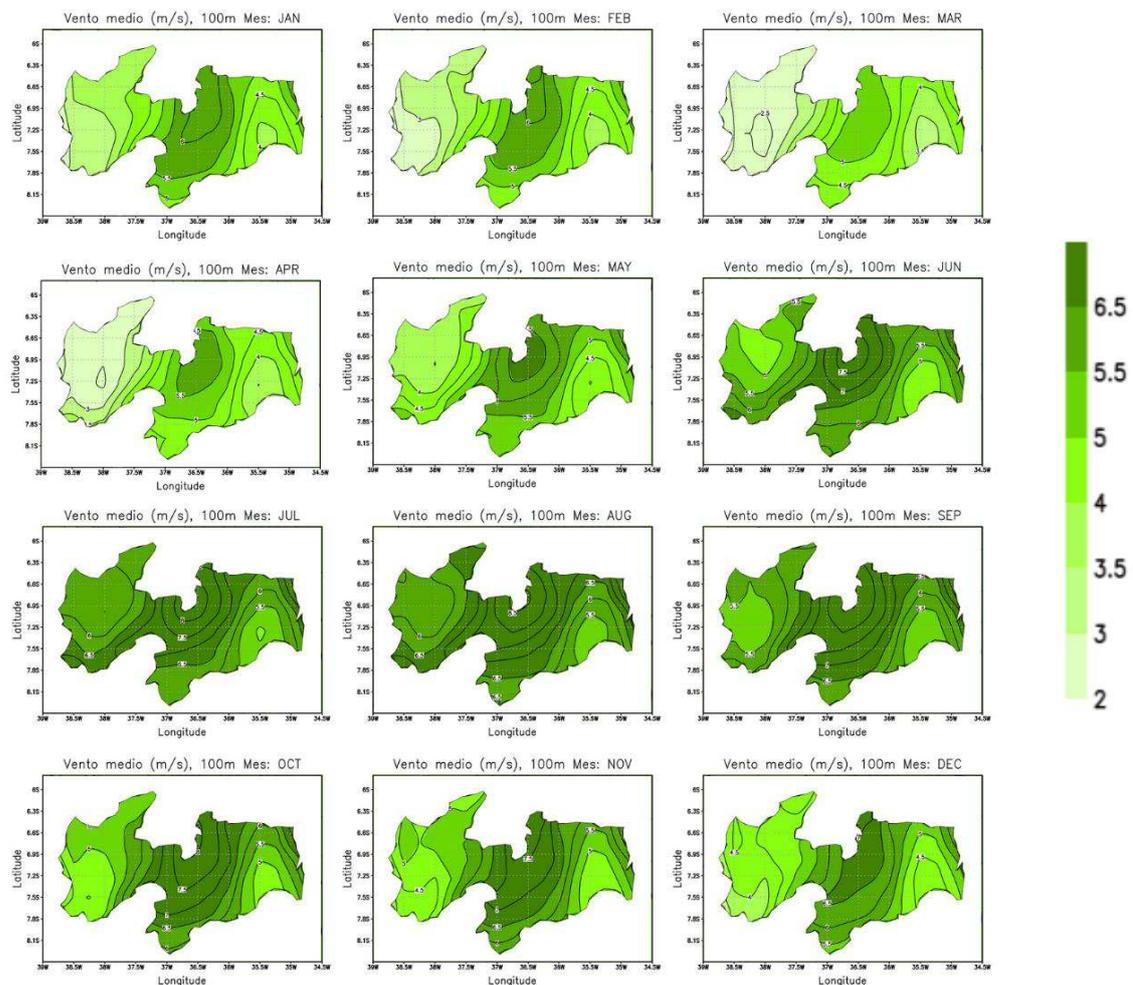


Figura 3. campos médios do vento para a altura de 100m referente aos meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981 – 2010.

4.2 Densidade de Potência Eólica

Nas Figuras 4 e 5 têm-se o mapa do Estado da Paraíba para a Densidade de Potência Eólica (DPE) média mensal em (W/m^2) para 10m e 100m, no período de Janeiro de 1981 a Dezembro de 2010 respectivamente.

Pode se observar a partir da Figura 4 que os maiores valores de densidade de potência eólica foram encontrados entre os meses de Julho a Setembro, e com valores consideráveis em Outubro, na mesorregião do Planalto da Borborema, onde esta localizada a cidade Juazeirinho, na parte norte do Agreste Paraibano, onde esta situada a Cidade de Damião, e no litoral paraibano, onde estão situados os municípios de Mataraca e Pitimbu. Nota-se também que a oeste da borborema, em que esta localizada a cidade de Teixeira, verifica-se altos valores de densidade de potência eólica. Os menores valores são vistos no Sertão paraibano.

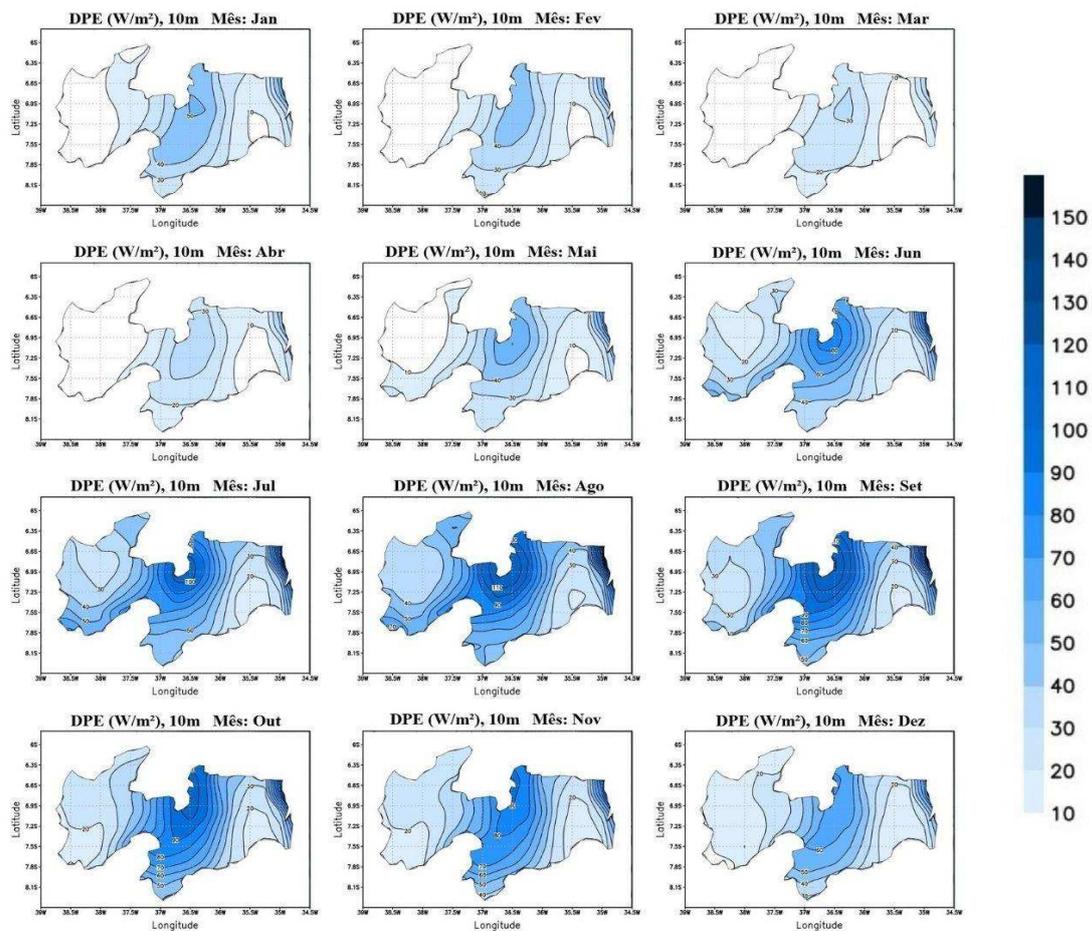


Figura 4. Densidade de Potência Eólica (DPE) média mensal em (W/m^2) para 10m referente aos meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981-2010.

Na Figura 5 tem-se a configuração do Estado da Paraíba para a densidade de potência eólica em W/m^2 para a altura de 100m. A estação de inverno, obteve melhor configuração para a potência eólica, na região, ou seja, os resultados a partir de meados de julho, agosto, e setembro, e se estendendo até a primavera, abrangendo os meses de outubro e novembro foram superiores aos resultados observados no primeiro semestre do ano, como pode ser observado comparando Figura 4 a Figura 5 o que corrobora com os resultados obtidos por Oliveira (2013).

Para ambos os níveis o sertão do estado apresentou os valores mínimos. Os melhores locais de densidade de potência eólica foram novamente no Planalto da Borborema, como observado na figura anterior, com alguns pontos a oeste da Borborema como é o caso de Teixeira, e Mataraca no Litoral Paraibano.

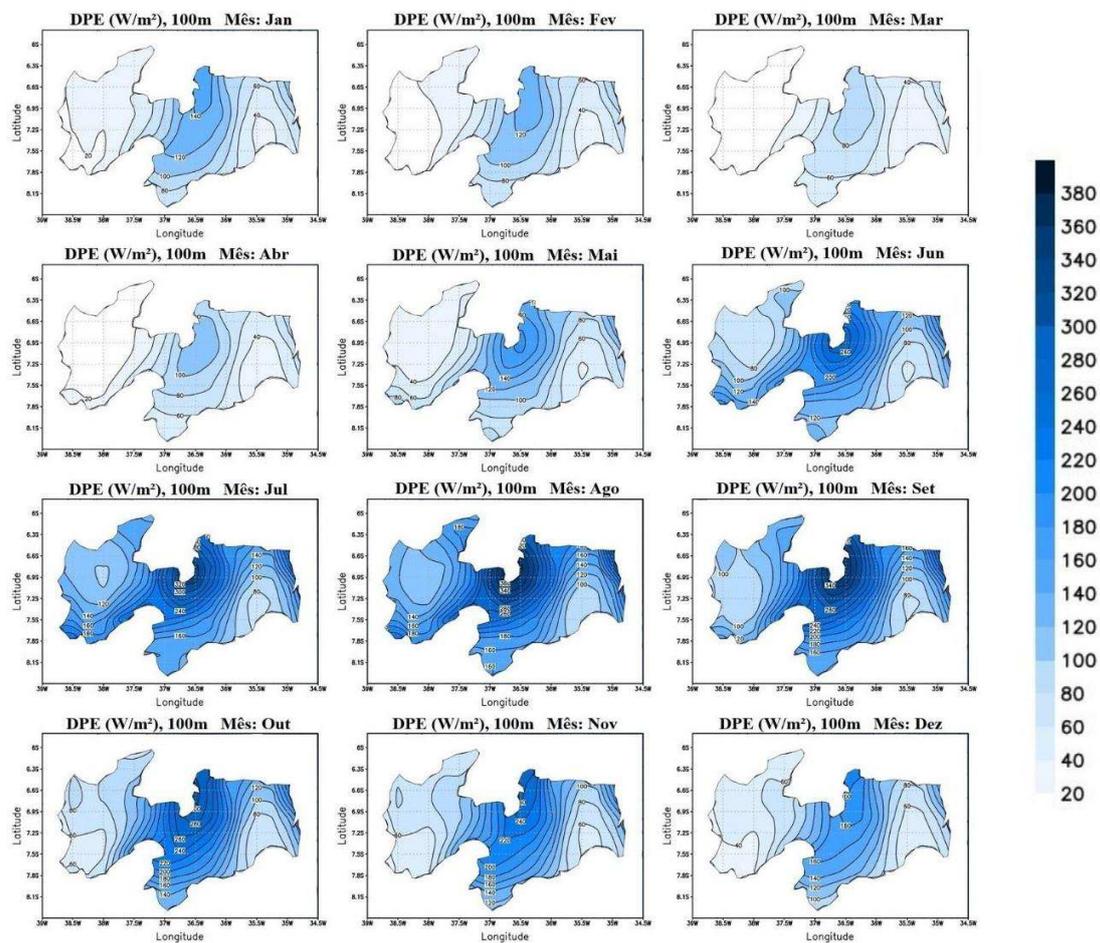


Figura 5. Densidade de Potência Eólica (DPE) média mensal em (W/m^2) para 100m referente aos meses de Janeiro a Dezembro no período de 1981-2010.

4.3 Correlações

As Figuras de 6-11 destacam o coeficiente de correlação entre a TSM do Pacífico, Atlântico Norte e Atlântico Sul com a intensidade do vento a 10 m e 100m de altura no Estado da Paraíba para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

De acordo com a Figura 6 que representa o Coeficiente de Correlação entre a TSM do Pacífico (área do *niño3*) e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses, podemos observar correlações negativas e fortes em toda a porção do estado para Lag 0. A partir de Lag 1 temos valores inferiores aos vistos em lag 0, ainda assim negativos. Para Lag 2 nota-se correlações positivas, porém fracas na parte oeste do estado, onde está localizado a mesorregião do Sertão Paraibano. Correlações mais fortes no Sertão e Litoral, e mais fracas no Planalto da Borborema e parte do Agreste podem ser observadas para lag 3. A partir de lag 4 e 5 temos correlações positivas e fortes para todo o estado.

Vale ressaltar que mesmo correlações baixas, são estatisticamente significativas. Visto que valores de correlação maiores que 0,13544 ou menores que -0,13544 são considerados estatisticamente significativos à 99% de probabilidade.

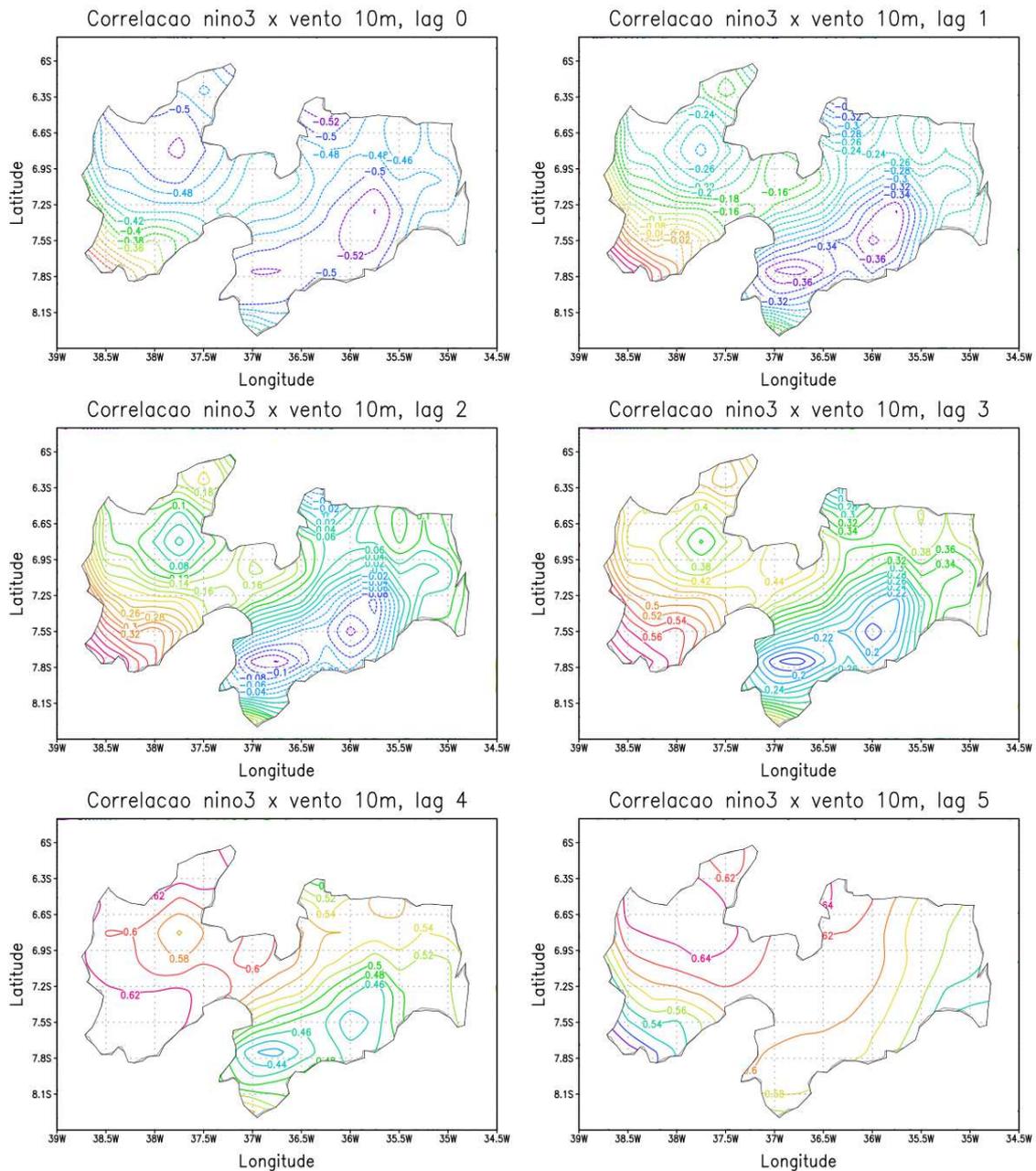


Figura 6. Coeficiente de Correlação entre a TSM do Pacífico e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

A Figura 7 mostra o Coeficiente de Correlação entre a TSM do Pacífico e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses. Para defasagem (*lag*) 0 e 1 nota-se valores negativos, enquanto lag 2, 3, 4 e 5 apresentam correlações fortes e positivas. Com predominância de maiores valores no sertão e litoral, e menores na borborema.

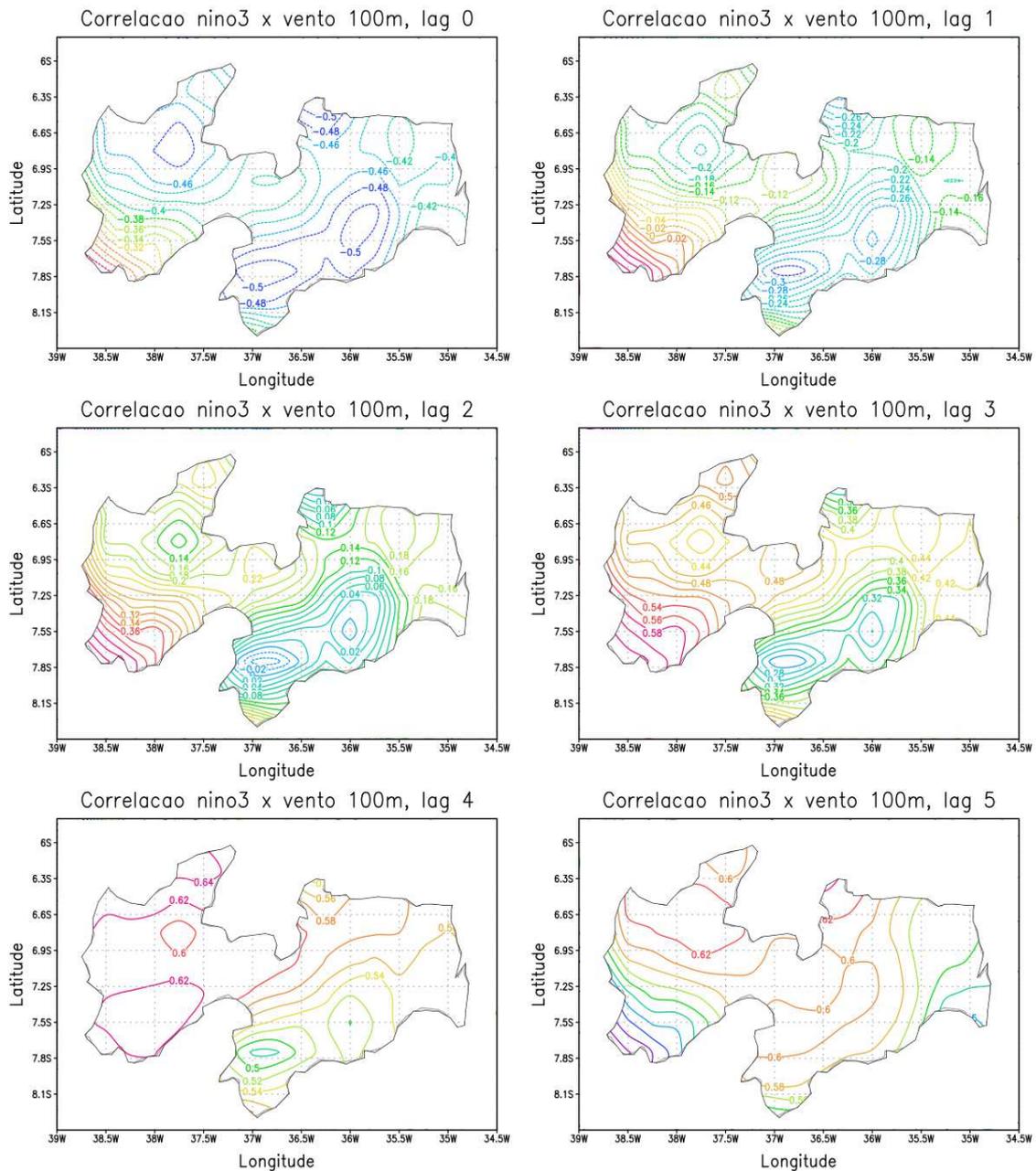


Figura 7. Coeficiente de Correlação entre a TSM do Pacífico e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

A Figura 8 apresenta o Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 10 m. Podemos observar o contrário do que foi identificado para o Pacífico. Percebe-se correlações mais fortes e positivas em lag 0 e 1 do que foi visto para as mesmas defasagens no caso do Pacífico. Em lag 2 já podemos observar correlações negativas em algumas porções do sertão, e correlações baixas, porém estatisticamente significativas no planalto da borborema, agreste e litoral. A partir

de lag 3 nota-se correlações negativas, lag 4 e 5 apresentam as maiores correlações negativas.

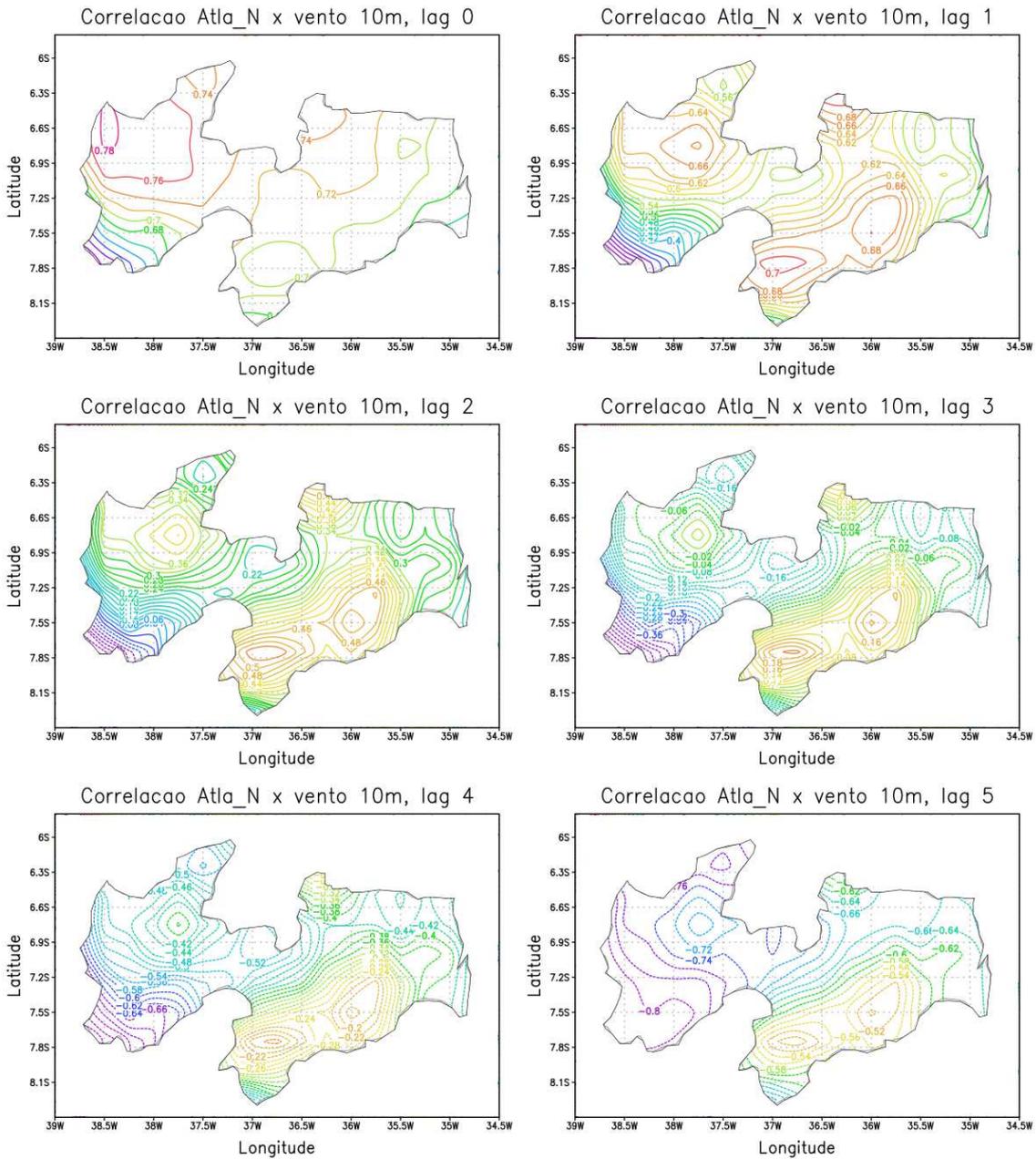


Figura 8. Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

O Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 100 m é representado pela Figura 9. Existe uma grande semelhança entre a correlação encontrada para 10m e 100m. Onde a correlação é mais forte na mesorregião do sertão paraibano, e planalto da borborema para as defasagens de lag 0, 1 e 2. Para lag 3, 4 e 5 observa-se uma correlação negativa, mais forte no sertão, e mais fraca no litoral do estado.

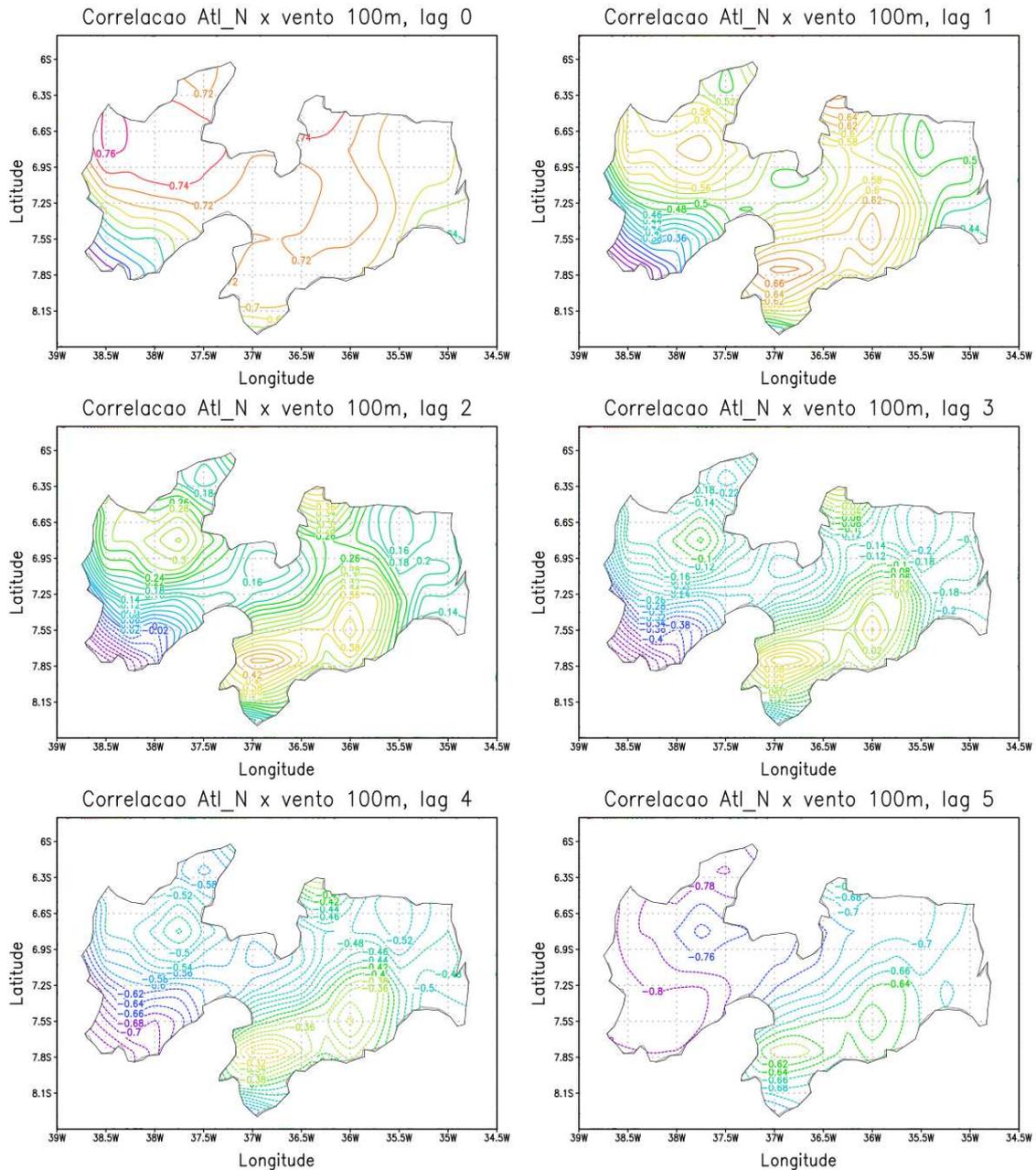


Figura 9. Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

A Figura 10 é caracterizada pelo Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses. Verifica-se correlações negativas compostas pelas defasagens 0 e 1, e 2, este último com valores mais abaixo. A partir de lag 3 constata-se correlações positivas, mais fortes no sertão, litoral e parte do agreste, e correlações mais fracas no planalto da borborema.

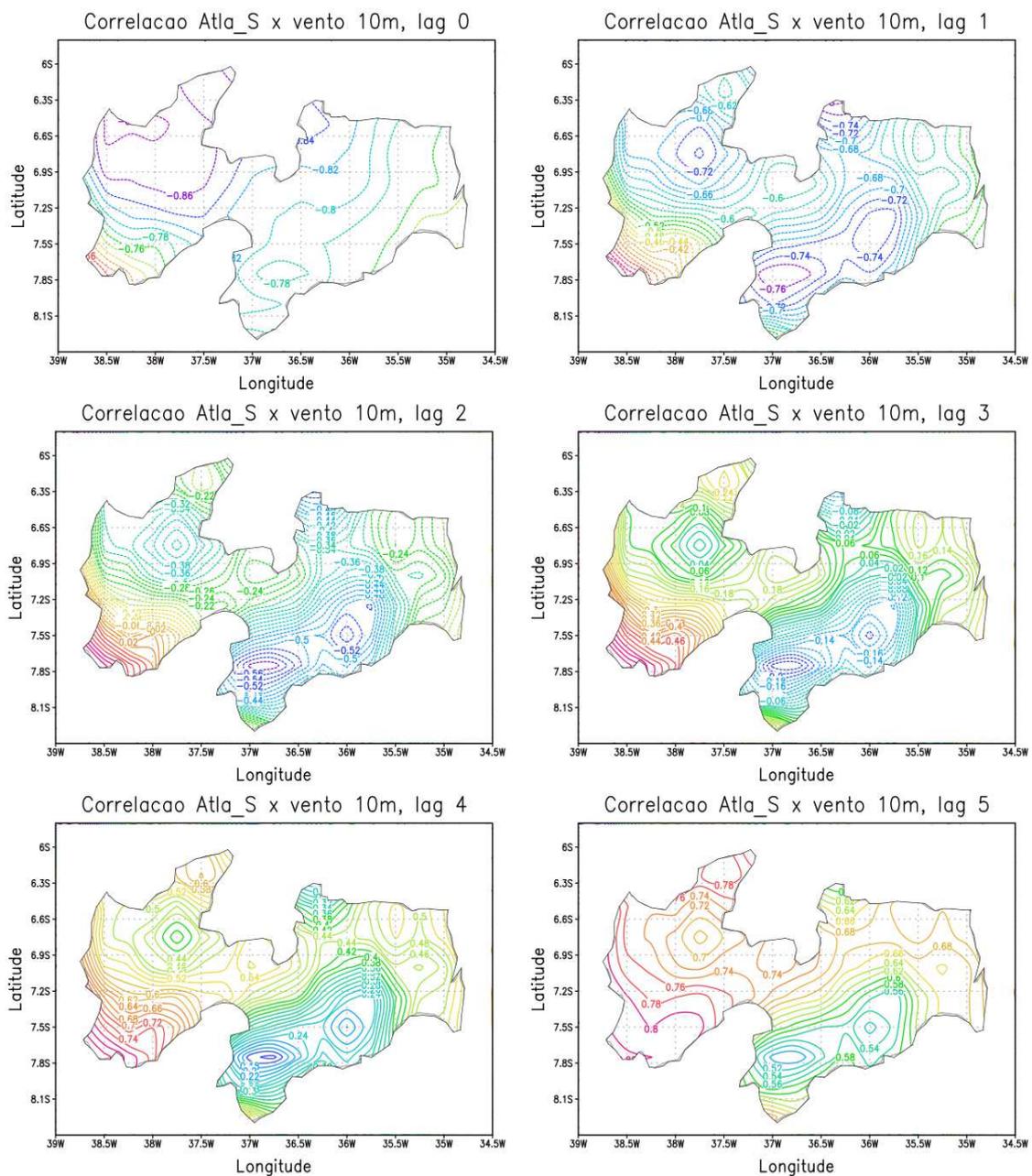


Figura 10. Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento a 10 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

O Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento a 100 m é retratado pela Figura 11. Assim como na Figura 10 (altura de 10m), podemos observar valores negativos para defasagem de 0, 1 e 2, com correlações fortes no litoral, agreste e sertão. As correlações mais fracas são vistas no planalto da borborema. As defasagens de 3, 4 e 5, caracterizam uma correlação positiva, também com maiores valores na mesorregião do sertão paraibano, litoral, e parte do agreste. As menores correlações podem ser observadas no planalto da borborema.

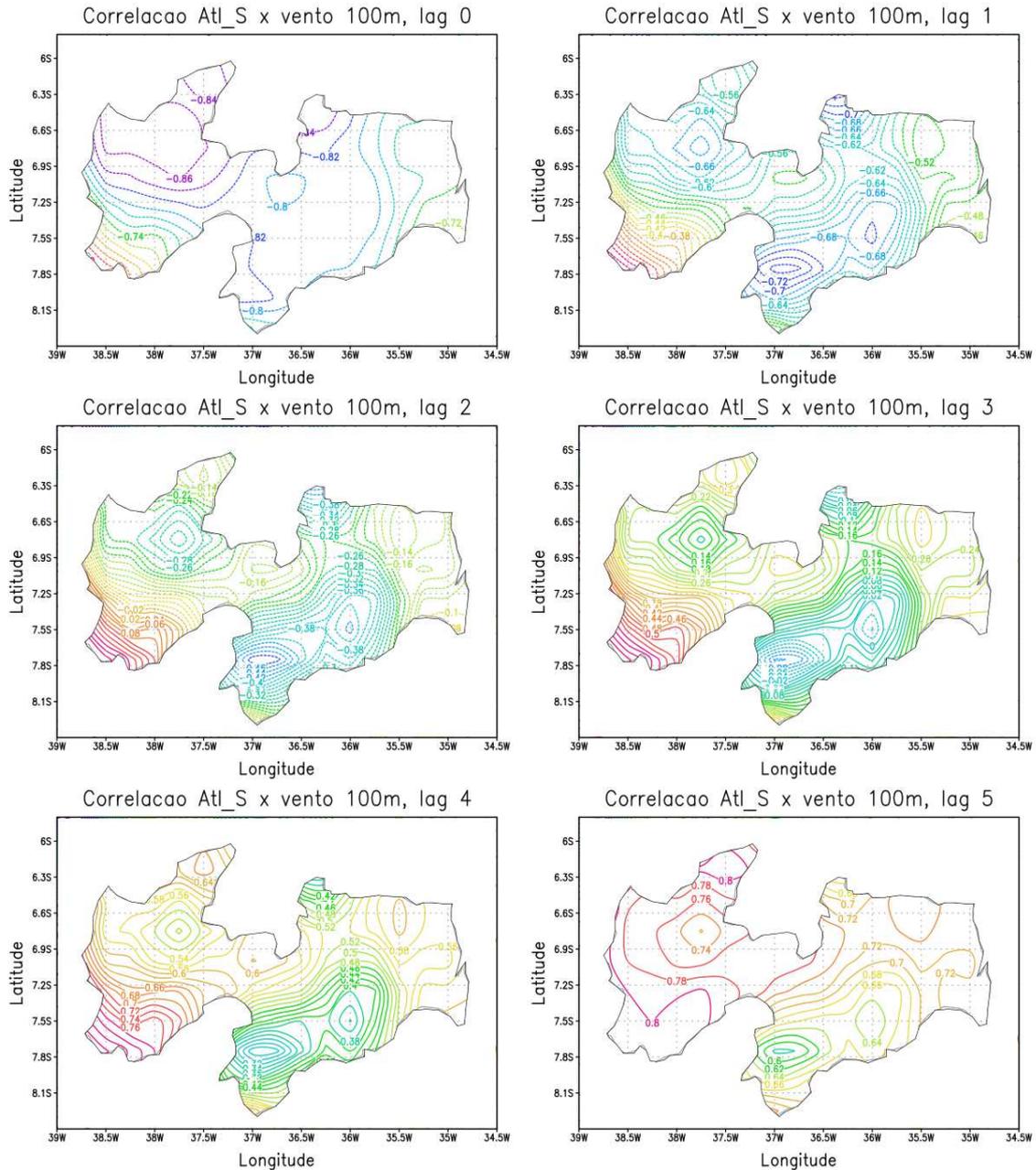


Figura 11. Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento a 100 m de altura para defasagem (*lag*) de 0 (zero) a 5 (cinco) meses.

4.4 Série Temporal da Anomalia de TSM

A Figura 12 mostra a série temporal da anomalia de TSM no Oceano Pacífico, na área de Niño 3, durante os meses de Janeiro a Maio entre os anos de 1979-2021. Destaca-se os pontos que representam os casos de El Niño de moderado a forte, que estão acima do valor de 1°C de anomalia. E os de La Niña de moderado a forte localizados abaixo da linha de -1°C de anomalia. Da mesma forma na Figura 13 para Dipolo positivo (acima de $0,6^{\circ}\text{C}$) e Dipolo negativo (abaixo de $-0,6^{\circ}\text{C}$).

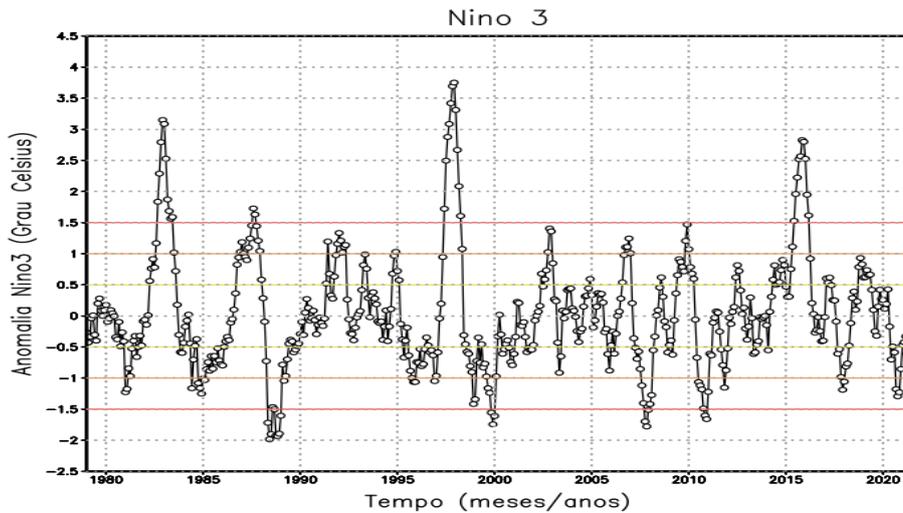


Figura 12. Série temporal da anomalia de TSM no Oceano Pacífico, área de Niño 3. Linhas de limiar de $\pm 0,5$; $\pm 1,0$ e $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, de Janeiro de 1979 a Maio de 2021.

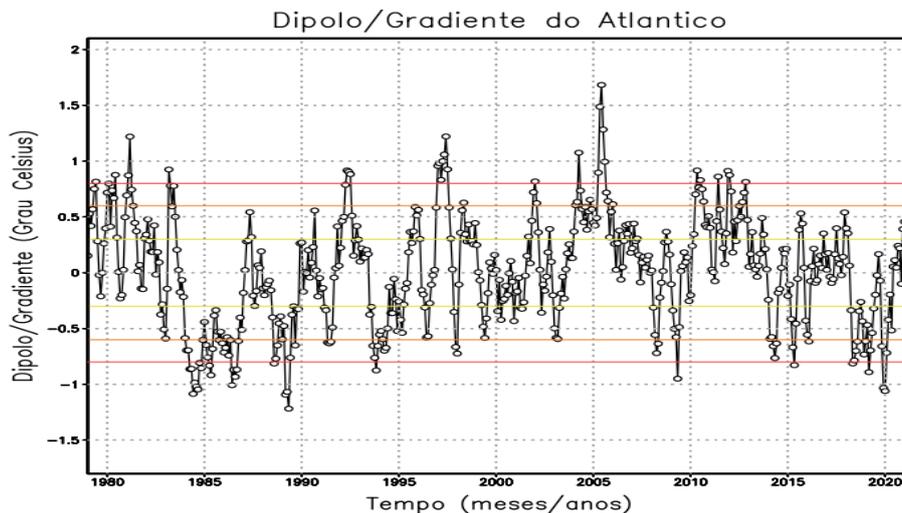


Figura 13. Série temporal da anomalia de TSM (Dipolo/Gradiente: A. Norte – A, Sul) no Oceano Atlântico, Linhas de limiar de $\pm 0,3$; $\pm 0,6$ e $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$, de Janeiro de 1979 a Maio de 2021.

Podemos observar na Figura 14, a variabilidade da TSM em eventos de El Niño/La Niña e Dipolo positivo/negativo. Para eventos de El Niño, a anomalia de temperatura pode ser caracterizada como forte, uma vez que sua média atinge 1,8 °C, e o valor da mediana (segundo quartil) correspondendo a 1,5 °C. Os valores variam de 1 °C (mínimo) a 3,75 °C (máximo), e 1,14 °C a 2,5 °C correspondendo ao primeiro e terceiro quartil respectivamente. Para eventos de La Niña temos o valor da mediana da anomalia de temperatura é menor que sua média, sendo -1,2 °C e -1,37 °C respectivamente, caracterizando um evento moderado. Os valores variaram de -1,9 °C (mínimo) a -1,01 °C (máximo). Em eventos de dipolo/gradiente positivo, a anomalia é determinada como forte, tendo uma média de 0,85 °C, e uma mediana de 0,81 °C. A anomalia de dipolo/gradiente para episódio de dipolo/gradiente negativo é tido como forte, mesmo sendo caracterizada por uma média abaixo da mediana, correspondendo a -0,7 °C. Dentre os eventos analisados podemos destacar a alta variação da anomalia de temperatura em episódios de El Niño.

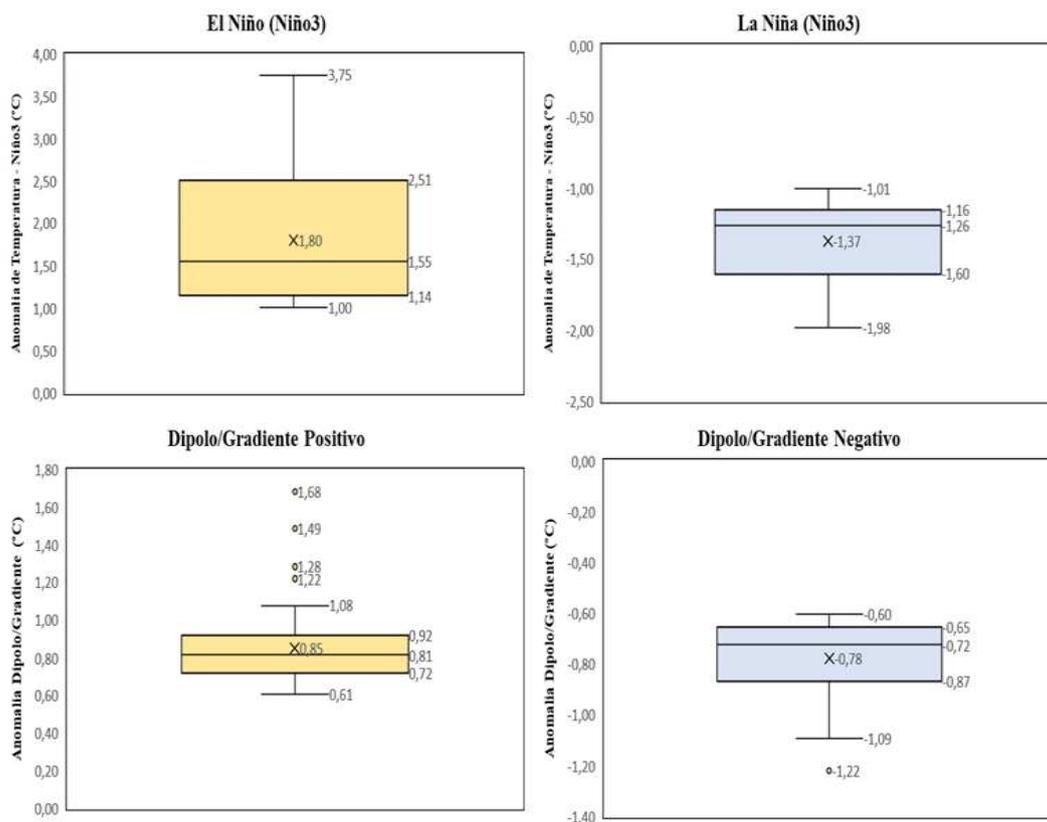


Figura 14. Anomalias de temperatura para Eventos de a) El Niño e b) La Niña referente a condições de moderado (1,0 a 1,4 e -1,0 a -1,4 °C) e forte ($\geq 1,5$ e $\leq -1,5$ °C), e anomalias de dipolo/gradiente para eventos de c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo para condições de moderado (0,3 a 0,5 e -0,3 a -0,5 °C) a forte ($> 0,8$ e $< 0,8$ °C).

4.5 Análise Estatística da Velocidade do Vento a 100m Para os Casos e Localidades Seleccionadas

Os Gráficos de *BoxPlot* foram elaborados com intuito de realizar uma análise estatística descritiva e comparação dos resultados obtidos para velocidade do vento a 100m em eventos de a) EL Nino e b) La Nina referentes a condições de moderado e forte, e anomalias de dipolo/gradiente para eventos de c) Dipolo/gradiente positivo e d) Dipolo/gradiente negativo, para condições de moderado a forte para cada localidade (Figura 15) e na mesma ordem apresentada na Tabela 2.

A Figura 15 destaca a velocidade do vento a 100m em Juazeirinho-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo. Observa-se variações maiores de velocidade do vento, com destaque para casos de La Niña e Dipolo/gradiente negativo. Já em eventos de El Niño a velocidade do vento obteve a menor variação, de 6,04 m/s a 8,89 m/s, ainda assim, com a maior média entre os quatro eventos, com valor de 7,29 m/s, primeiro quartil 6,9 m/s, mediana de 7,24 m/s e terceiro quartil 7,74 m/s. Para o caso de La Niña, temos uma média de 7,21 m/s, com uma mediana de 7,22 m/s sendo superior a média, e a velocidade do vento variando de 4,14 m/s a 9,51 m/s. Em ocorrências de Dipolo/gradiente positivo a velocidade do vento variou de 4,92 m/s a 9,11 m/s, e com uma mediana de 7,37 m/s superior a média de 7,25 m/s. A maior variabilidade da velocidade do vento pode ser observada em casos de Dipolo/gradiente negativo, com velocidade mínima de 3,58 m/s e máxima de 9,14 m/s. Média de 6,59 m/s menor que a mediana de 6,90 m/s.

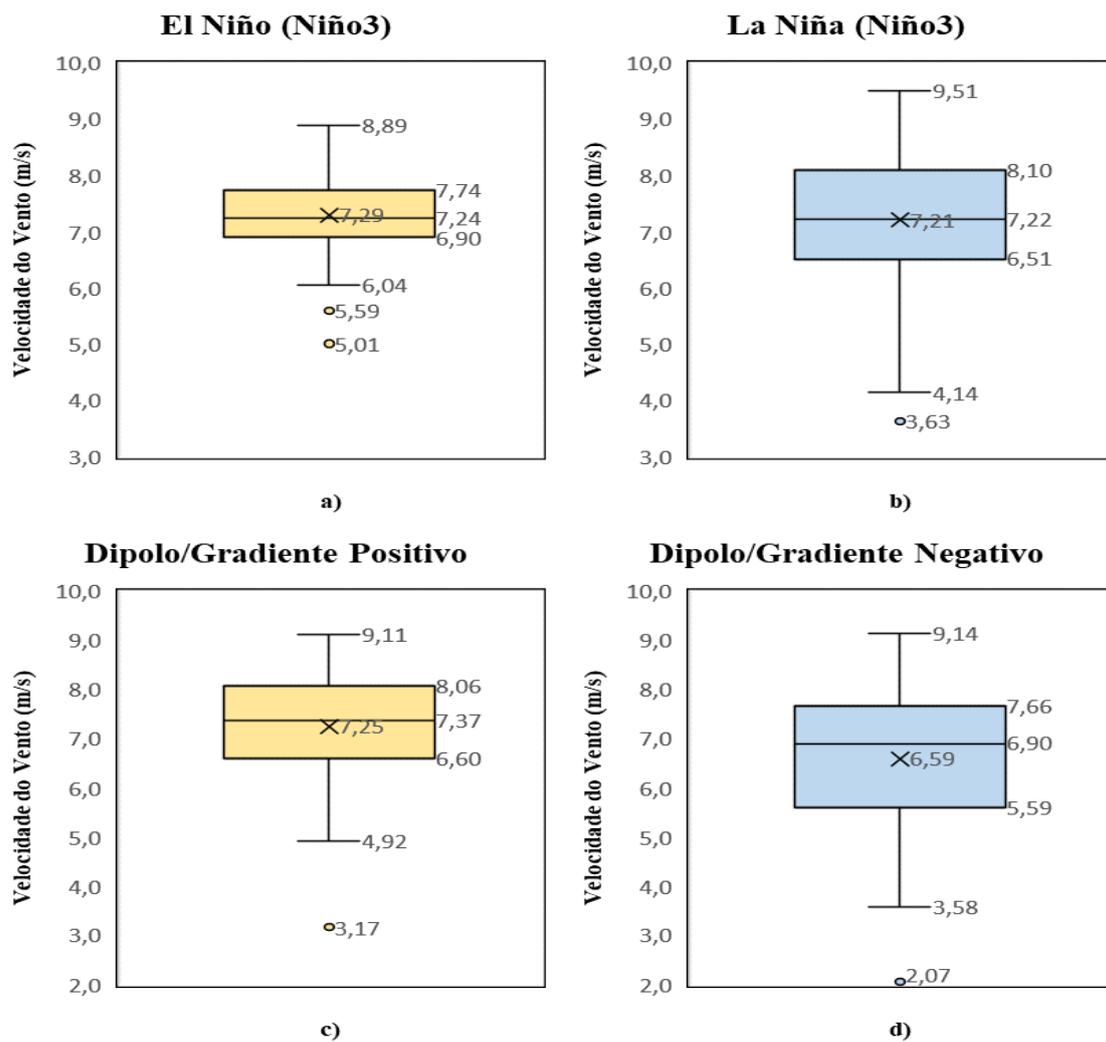


Figura 15. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Juazeirinho-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo respectivamente.

Na Figura 16 para a cidade de Damião a maior variabilidade da velocidade do vento pode ser analisada para eventos de Dipolo/Gradiente negativo, onde variou de 3,43 m/s a 8,02 m/s, porém, como visto para a localidade anterior, temos uma média inferior a mediana. Em casos de Dipolo/gradiente positivo obteve variação de 4,64 m/s a 7,98 m/s, primeiro quartil de 5,89 m/s, uma mediana de 6,47 m/s, superior a média de 6,42 m/s, e terceiro quartil 7,08 m/s. A média da velocidade do vento para eventos de El Niño e La Niña foram de 6,47 m/s, e mediana de 6,44 m/s e 6,45 m/s respectivamente. E variações de 5,21 m/s a 7,85 m/s para El Niño, e 4,12 m/s a 8,39 m/s para casos de La Niña.

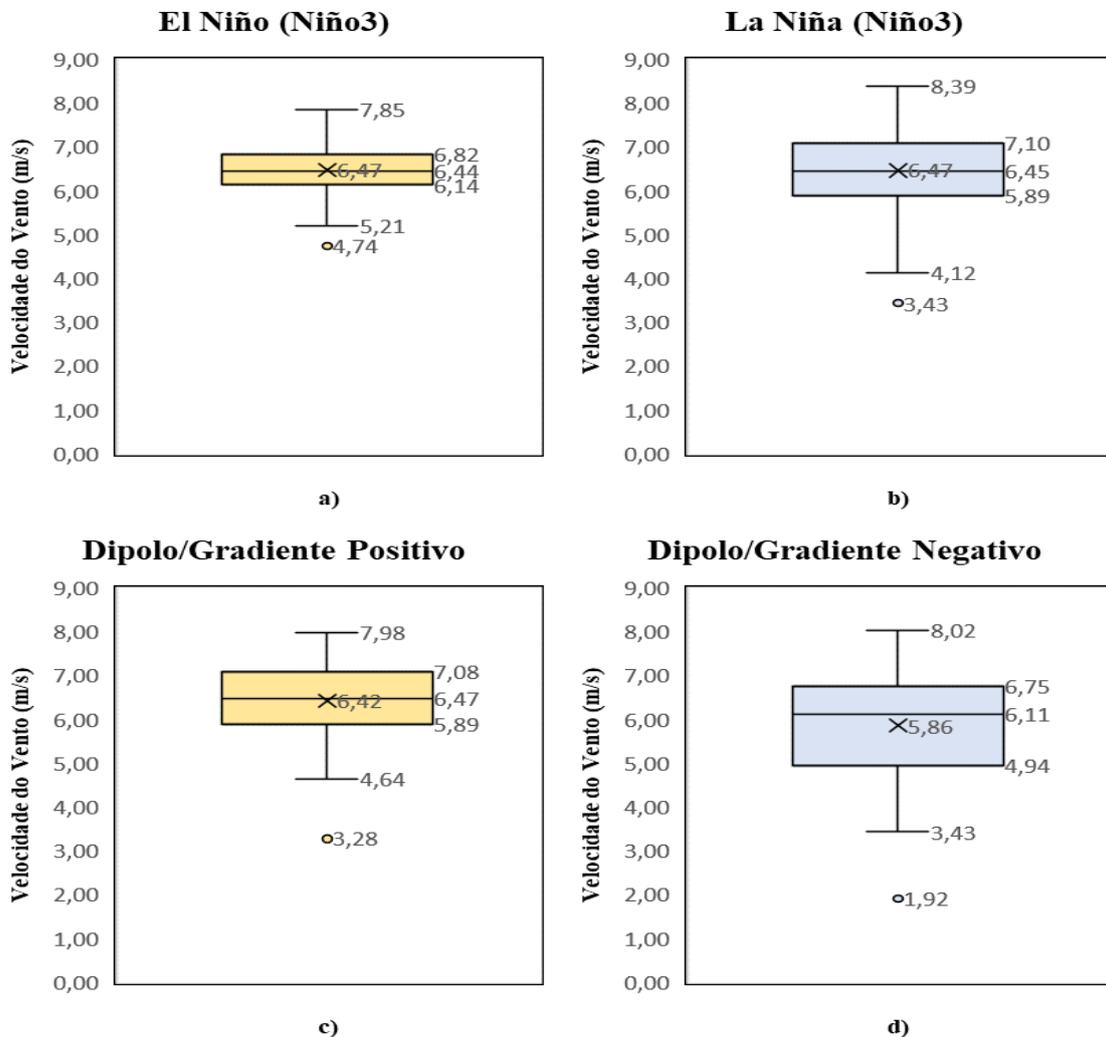


Figura 16. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Damião-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

Dentre os eventos analisados para Teixeira (Figura 17), o Dipolo/Gradiente negativo se destaca, com uma variabilidade da velocidade do vento de 1,51 m/s a 8,24 m/s, porém corrobora com a maioria das localidades onde o evento com maior variabilidade também mostrou ter uma mediana superior a média. Para os demais eventos com excessão do El Niño, a mediana se sobressaiu a média. O que resulta em maior concentração de valores abaixo da média, o que não vem a ser um resultado interessante para fins de geração de energia eólica.

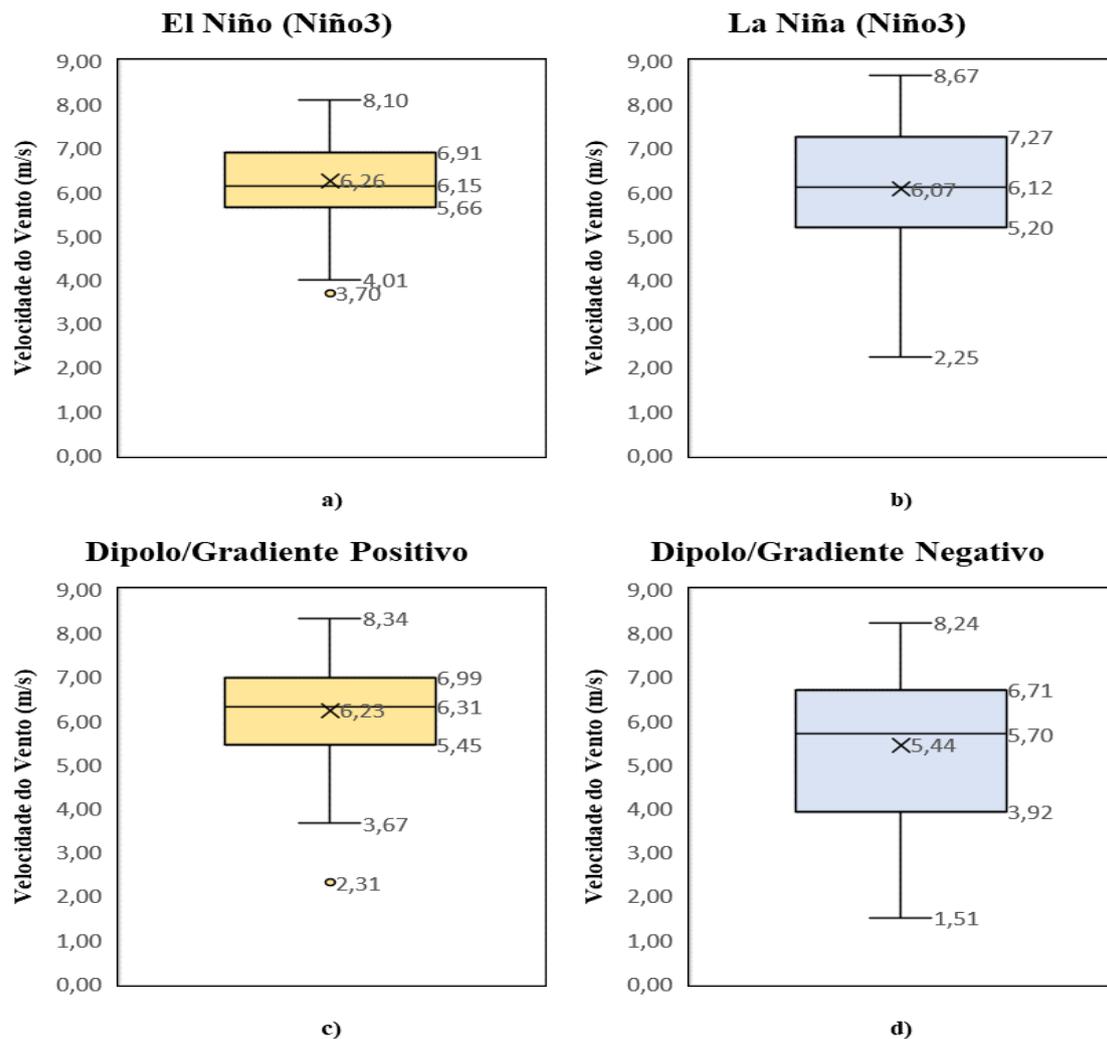


Figura 17. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Teixeira-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

A Figura 18 para Campina Grande destaca-se a menor variação da velocidade do vento em casos de El Niño dentre as localidades estudadas, variando de 5,82m/s a 7,84m/s. Podemos observar que os valores das medianas da velocidade do vento são maiores que suas respectivas médias no caso de El Niño e Dipolo/Gradiente negativo, embora as médias mais altas da velocidade do vento foram encontradas em eventos de El Niño e La Niña correspondendo a 6,15 m/s e 6,16 m/s mutuamente, as maiores variações da velocidade do vento são observadas nos episódios de La Niña e Gradiente/dipolo negativo. Os eventos de Dipolo/gradiente positivo e Dipolo/gradiente negativo, apresentaram médias de 5,9 m/s e 5,5 m/s respectivamente.

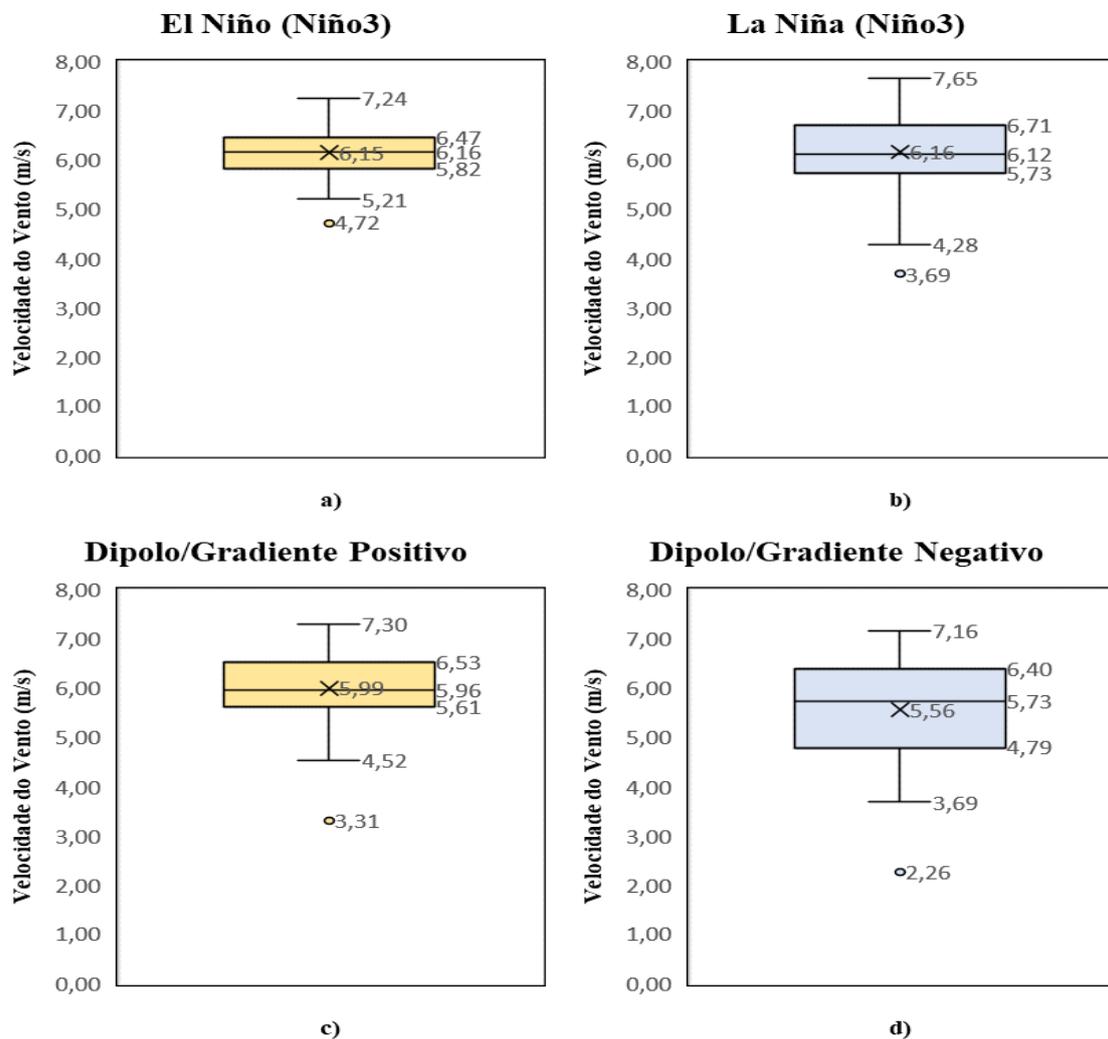


Figura 18. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Campina Grande-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo e d) Dipolo/Gradiente negativo respectivamente.

A partir da Figura 19, observa-se que a variação da velocidade do vento em Mataraca é entre 5,14 m/s a 8,26 m/s para eventos de El Niño. Sua média é de 6,58 m/s, com mediana de 6,48 m/s. Em casos de La Niña podemos observar uma variabilidade consideravelmente alta, de 3,90 m/s a 9,61 m/s, e média de 6,79 m/s, primeiro quartil de 6,0 m/s, mediana de 6,79 m/s, e terceiro quartil 7,49 m/s. A velocidade do vento varia de 4,60 m/s a 9,03 m/s em episódios de Gradiente/dipolo positivo. Tendo sua média centrada em 6,74 m/s, e mediana de 6,66 m/s. O dado mais relevante dessa análise é observado em eventos de Dipolo/Gradiente negativo com a maior variabilidade da velocidade do vento para todas as localidades compreendidas neste estudo, sendo de 2,98 m/s a 9,01 m/s, porém, com uma média de 6,05 m/s, sendo inferior a sua mediana de 6,28 m/s.

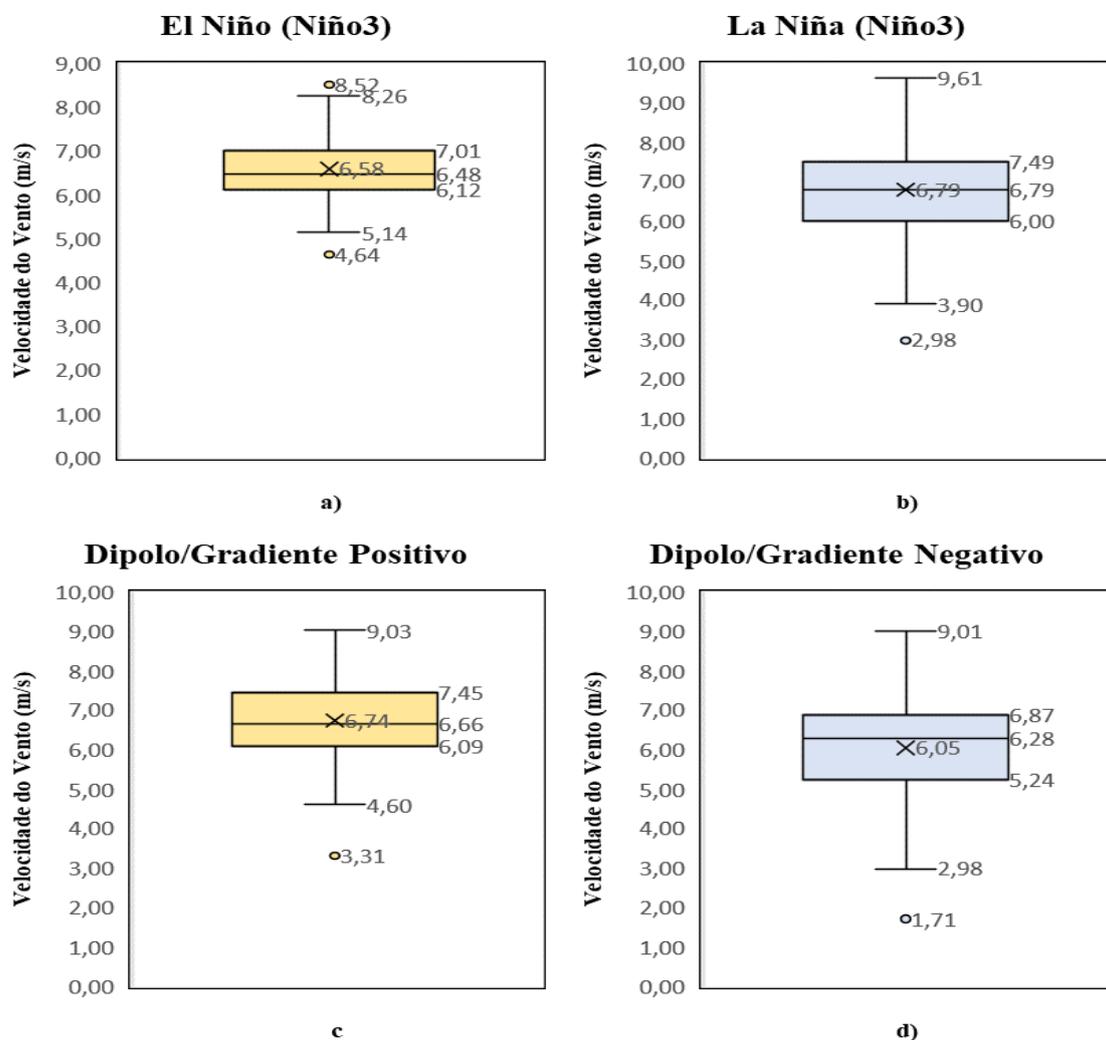


Figura 19. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Mataraca-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

Para Pitimbu em casos de El Niño, a velocidade do vento variou de 4,21 m/s a 6,75 m/s, com uma média de 5,53 m/s e mediana de 5,42 m/s. Em eventos de La Niña temos uma alta variabilidade, de 3,60 m/s a 8,10 m/s, média de 5,78 m/s, segundo quartil de 5,16 m/s, mediana de 5,64 m/s e terceiro quartil de 6,34 m/s. Já em eventos de Dipolo/Gradiente positivo temos uma média 5,73 m/s e mediana de 5,60 m/s, e uma variação de velocidade do vento de 3,94 m/s a 7,84 m/s. A maior variabilidade em Pitimbu é observada em casos de Dipolo/Gradiente negativo, sendo de 2,86 m/s a 7,47 m/s, embora tenha uma mediana superior a sua média.

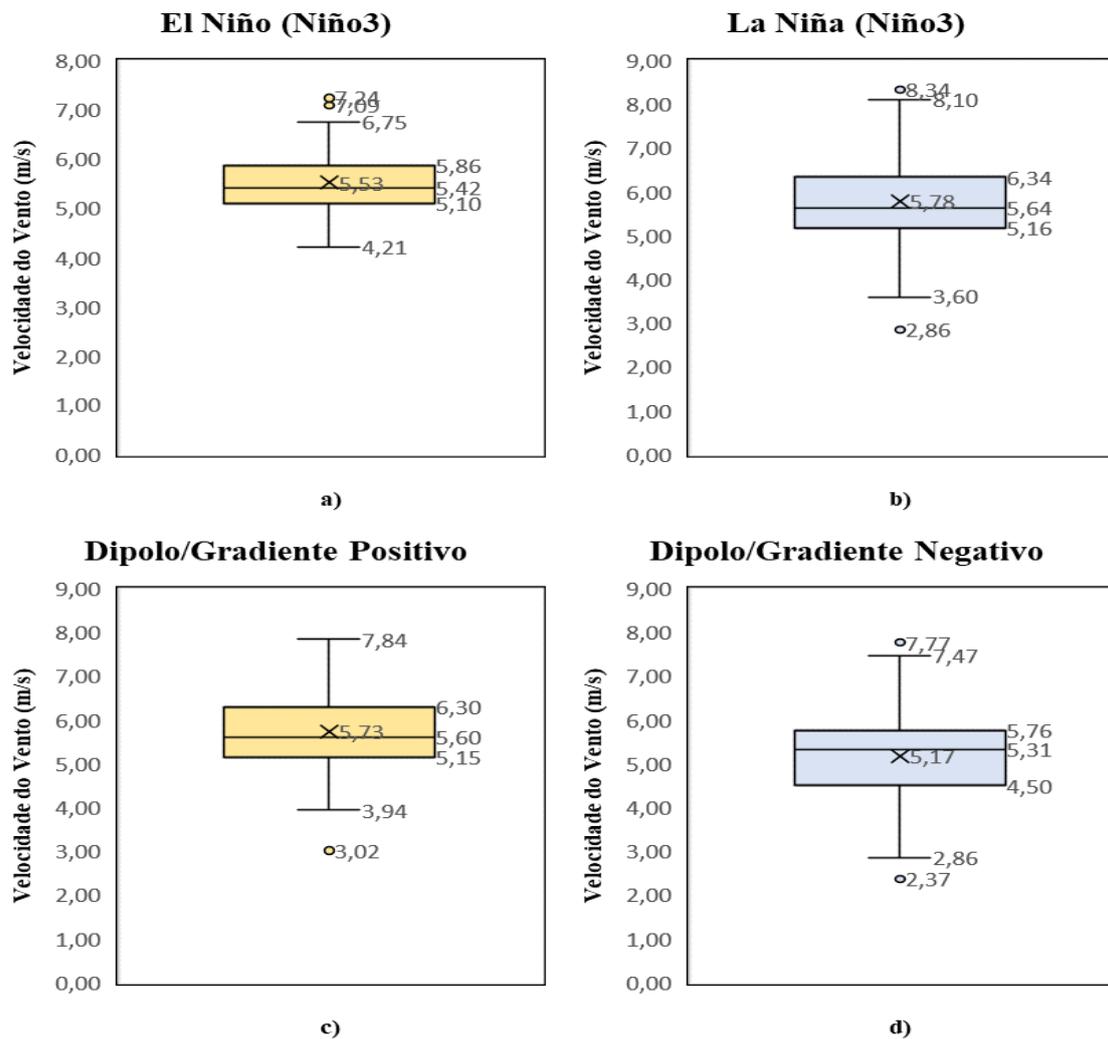


Figura 20. Velocidade do vento (m/s) a 100m de altura em Pitimbu-PB para eventos com condições de moderado a forte para: a) El Niño, b) La Niña, c) Dipolo/Gradiente positivo, e d) Dipolo/Gradiente negativo.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos por meio dos gráficos de *boxplot*, referentes a velocidade do vento a 100m para os eventos de El Niño, La Niña, Dipolo/Gradiente Positivo, e Dipolo/Gradiente Negativo respectivamente, para as localidades de Juazeirinho, Damião, Teixeira, Campina Grande, Mataraca e Pitimbu.

Tabela 3. Valores obtidos referentes a velocidade do vento a 100m para os casos e localidades selecionadas.

Eventos	Velocidade	Localidades					
	m/s	Juazeirinho	Damião	Teixeira	C.Grande	Mataraca	Pitimbu
El Niño	Máximo	8,89	7,85	8,10	7,24	8,26	6,75
	Mínimo	6,04	5,21	4,01	5,21	5,14	4,21
	Média	7,29	6,47	6,26	6,15	6,58	5,53
	1° Quartil	6,90	6,14	5,66	5,82	6,12	5,10
	Mediana	7,24	6,44	6,15	6,16	6,48	5,42
	3° Quartil	7,74	6,82	6,91	6,47	7,01	5,86
La Niña	Máximo	9,51	8,39	8,67	7,65	9,61	8,10
	Mínimo	4,14	4,12	2,25	4,28	3,90	3,60
	Média	7,21	6,47	6,07	6,16	6,79	5,78
	1° Quartil	6,51	5,89	5,20	5,73	6,00	5,16
	Mediana	7,22	6,45	6,12	6,12	6,79	5,64
	3° Quartil	8,10	7,10	7,27	6,71	7,49	6,34
Dip./Grad. (+)	Máximo	9,11	7,98	8,34	7,30	9,03	7,84
	Mínimo	4,22	4,64	3,67	4,52	4,60	3,94
	Média	7,25	6,42	6,23	5,99	6,74	5,73
	1° Quartil	6,60	5,89	5,45	5,61	6,09	5,15
	Mediana	7,37	6,47	6,31	5,96	6,66	5,60
	3° Quartil	8,06	7,08	6,99	6,53	7,45	6,30
Dip./Grad. (-)	Máximo	9,14	8,02	8,24	7,16	9,01	7,47
	Mínimo	3,58	3,43	1,51	3,69	2,98	2,86
	Média	6,59	5,86	5,44	5,56	6,05	5,17
	1° Quartil	5,59	4,94	3,92	4,79	5,24	4,50
	Mediana	6,90	6,11	5,70	5,73	6,28	5,31
	3° Quartil	7,66	6,75	6,71	6,40	6,87	5,76

Observa-se na Tabela 3 que os valores máximos de intensidade do vento foram verificados para as localidades de Juazeirinho, Damião, Teixeira e Mataraca, esta última juntamente com Campina Grande se destacam em casos de El Niño, com a menor variabilidade da velocidade do vento entre as demais, variando de 5,21 m/s a 7,24 m/s, e 5,14 m/s a 8,26 m/s, respectivamente. Mataraca apresentou a maior variabilidade dentre todas as localidades em casos de Dipolo/Gradiente negativo, com uma variação de 2,98 m/s a 9,01 m/s. O vento obteve maior intensidade em casos de La Niña para todas as

localidades analisadas. Vale ressaltar que em eventos de El Niño foi verificado as menores variações de velocidade do vento, e em casos de La Niña, e Dipolo/Gradiente negativo constata-se as maiores variabilidade de velocidade do vento. Possivelmente associado a um maior número de sistemas precipitantes sobre a Paraíba em condições de La niña e/ou Dipolo negativo.

4.6 Rosa dos Ventos à 100m Para os Casos e Localidades Selecionadas

Para analisar a direção do vento a 100m foram construídos gráficos de Rosa dos Ventos constituindo as Figuras 21 a 26, para seis localidades distintas (Campina Grande, Juazeirinho, Damião, Mataraca, Pitimbu e Teixeira), em eventos de (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Na Figura 21 pode se observar uma predominância de ventos de sudeste, porém com maior intensidade do que foi encontrado para as demais localidades. Em casos de La Niña e Dipolo positivo e negativo a intensidade do vento ficou acima de 9 m/s. Em eventos de El Niño o vento foi mais intenso na ordem de 7 m/s, alcançando valores de 8m/s, com maiores porcentagens de velocidade do vento ocorreram nas faixas de 7 m/s a 8 m/s, e 8 m/s a 9 m/s.

Juazeirinho, PB

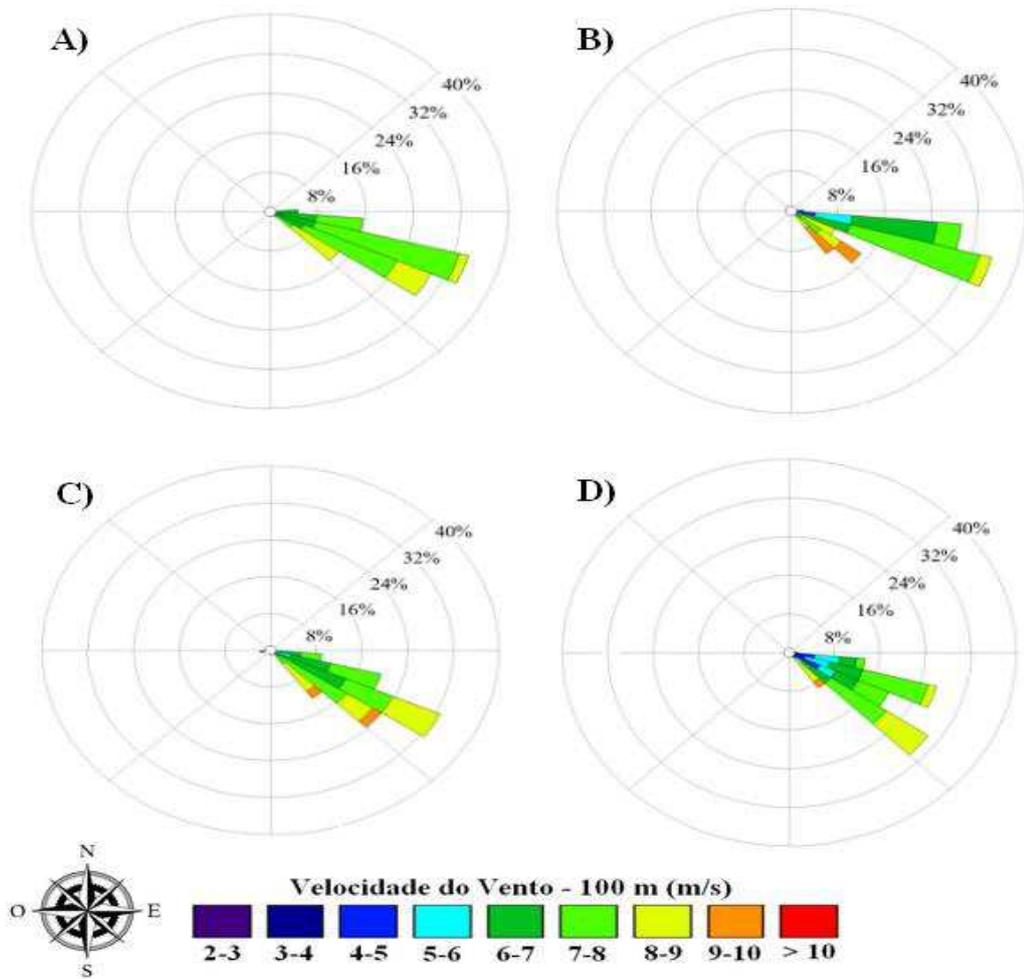


Figura 21. Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Juazeirinho-PB para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Em Damião (Figura 22), temos uma grande variabilidade da velocidade do vento, com variações de 3 m/s a 9 m/s. E com predominância de Sudeste, com ventos mais intensos em eventos de dipolo negativo. As maiores porcentagens de velocidade do vento ocorreram na faixa de 6 m/s a 7 m/s.

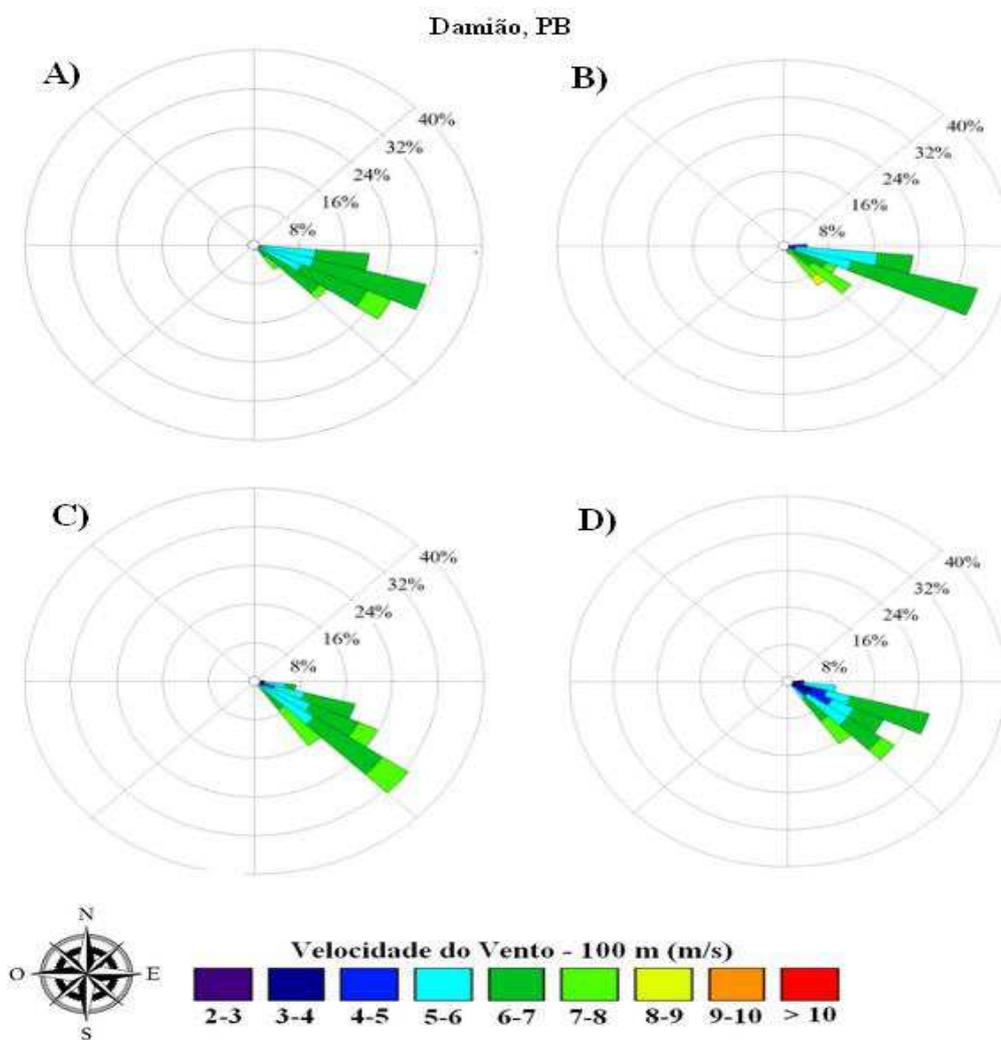


Figura 22. Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Damião-PB para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Na Figura 23 para a cidade de Teixeira, temos ventos predominantes de Sudeste, com velocidade máxima de 9 m/s observada para todos os eventos em questão. As maiores porcentagens de velocidade do vento foram verificadas nas faixas de 5 m/s a 6 m/s, 6 m/s a 7 m/s, 7 m/s a 8 m/s, e 8 m/s a 9 m/s.

Teixeira, PB

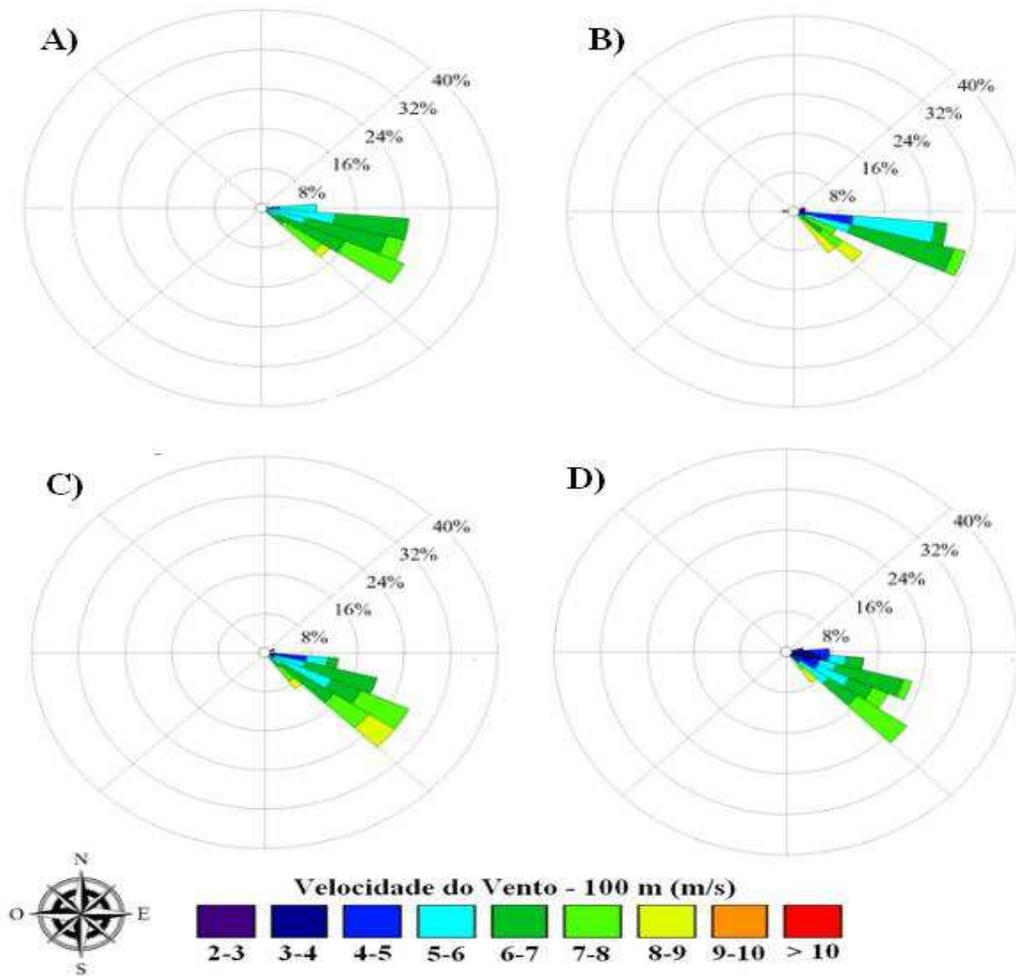


Figura 23. Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Teixeira-PB para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

De acordo com a Figura 24 a direção predominante do vento para todos os eventos analisados em Campina Grande é de Sudeste, com variações de 3 m/s a 8 m/s. As maiores porcentagens de velocidade do vento ocorreram na faixa de 6 m/s a 7 m/s.

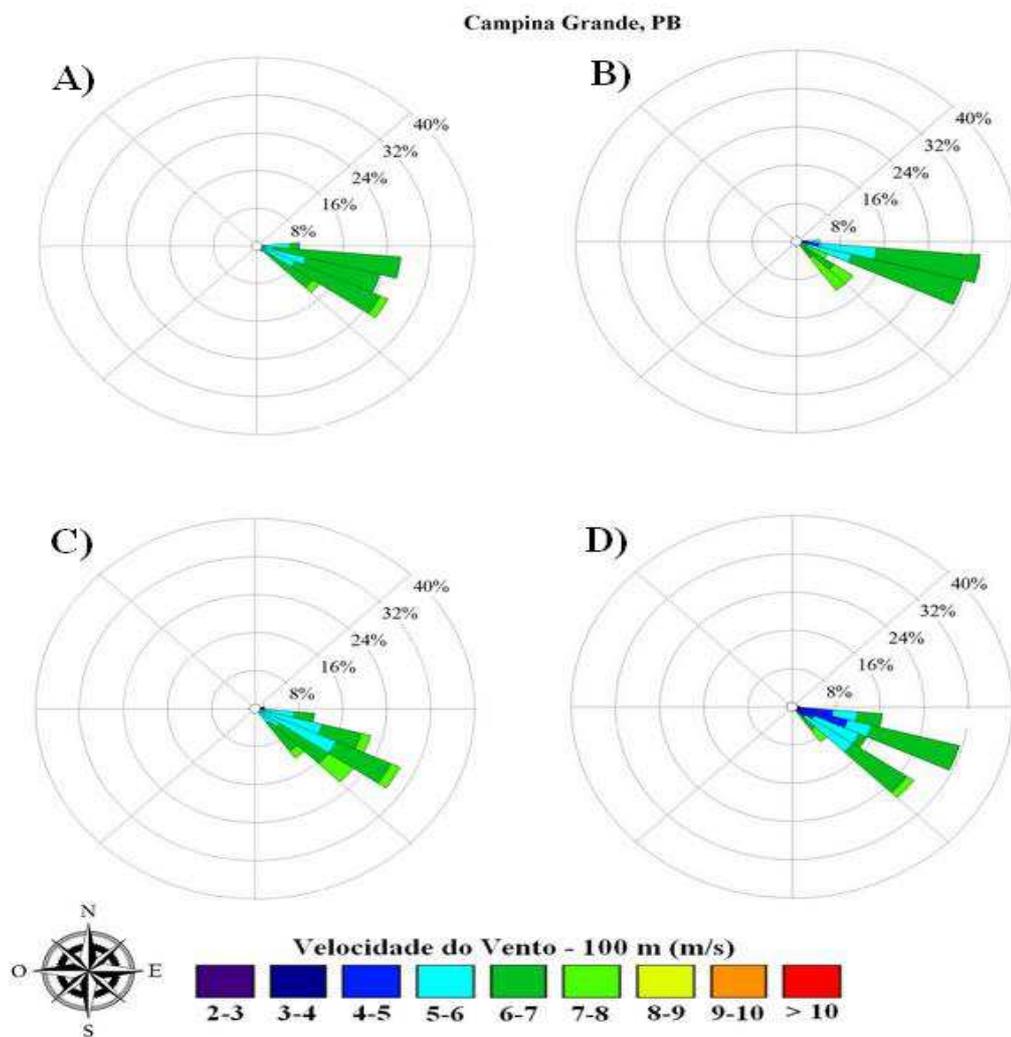


Figura 24. Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Campina Grande-PB para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Como nos casos anteriores a Figura 25 que retrata a cidade de Mataraca, mostra ventos predominantes de sul e sudeste, com uma variabilidade de 5 a 9 m/s. Para a localidade de Pitimbu (Figura 26), foi encontrado os menores valores de velocidade do vento. As menores porcentagens de velocidade do vento ocorreram nas faixas de 5 m/s a 6 m/s para eventos de El Niño e La Niña, e Dipolo/gradiente negativo. Já as maiores porcentagens ocorreram nas faixas de 6 m/s a 9 m/s em eventos de Dipolo/gradiente positivo. A análise da rosa do ventos comprovam também a variabilidade na intensidade do vento verificada nos gráficos de *boxplot*.

Mataraca, PB

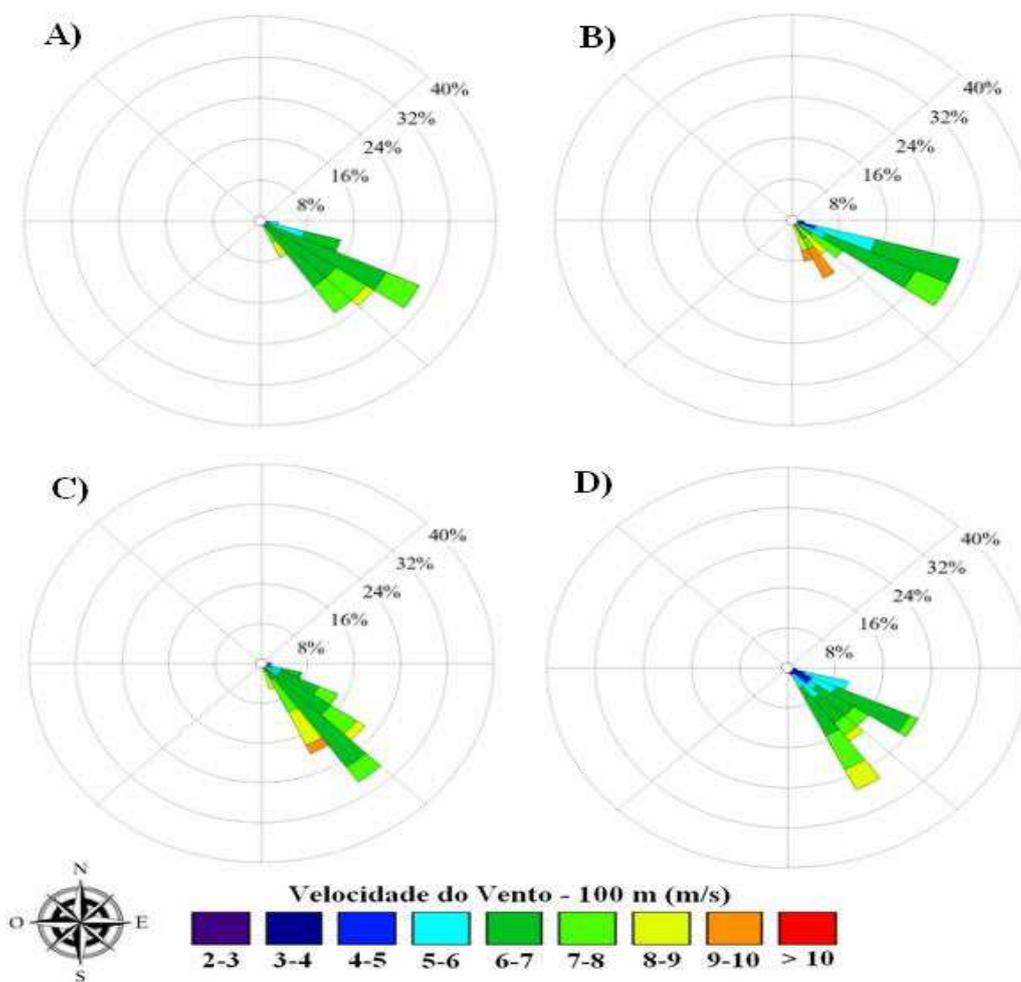


Figura 25. Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Mataraca-PB para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

Pitimbu, PB

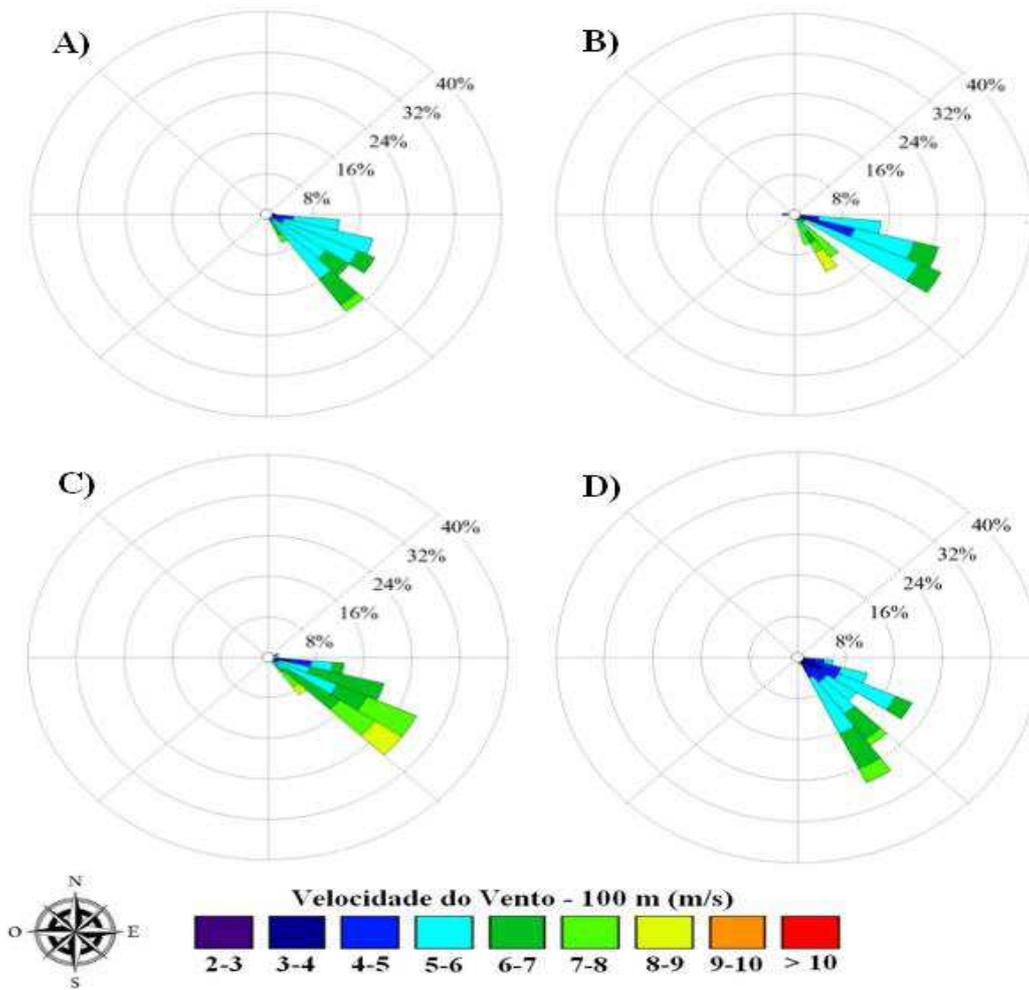


Figura 26. Rosa dos Ventos, velocidade e direção do vento a 100 m acima da superfície em Pitimbu-PB para (a) El Niño, (b) La Niña, (c) Dipolo/Gradiente Positivo, e (d) Dipolo/Gradiente Negativo para o período de Janeiro/1981 a Dezembro/2010.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados, conclui-se que para os campos médios da velocidade do vento na altura de 10m, a estação do ano que apresenta a maior intensidade do vento é o inverno, abrangendo os meses de Junho a Setembro, com destaque para os meses de Agosto e Setembro que apresentam os maiores valores na Mesorregião da Borborema, e no Litoral Paraibano, com valores variando entre 5,0 e 6,5m/s. Os menores valores são observados na Mesorregião do Sertão Paraibano. A predominância das maiores intensidades de velocidade do vento são analisadas no segundo semestre do ano.

Com relação a altura de 100m, os meses de Maio e Junho apresentaram valores com maior intensidade para todo o Estado da Paraíba, sendo mais expressivos na região litorânea, e na Borborema. O efeito da rugosidade devido ao relevo tem influência na velocidade do vento, juntamente com a topografia da região. Uma vez que a topografia mais elevada está associada a ventos mais intensos. O vento no interior do Estado, em especial na região da Borborema, tende a ser mais intenso que nas demais regiões tanto no primeiro quanto no segundo semestre.

As densidades de potência média mais elevadas para altura de 10m foram verificadas entre os meses de Julho a Setembro, para o Litoral, Planalto da Borborema, porção norte do Agreste, e a oeste da Borborema, onde estão situadas as localidades analisadas na presente pesquisa. Para a altura de 100m, a estação de inverno, obteve melhor configuração para a potência eólica, na região, ou seja, os resultados a partir de meados de julho, agosto, e setembro, e se estendendo até a primavera, abrangendo os meses de outubro e novembro foram superiores aos resultados observados no primeiro semestre do ano. Para ambos os níveis o sertão do estado apresentou os valores mínimos. Os melhores locais de densidade de potência eólica foram semelhantes aos encontrados para 10m, no Planalto da Borborema, com alguns pontos a oeste, como é o caso de Teixeira, e Mataraca no Litoral Paraibano. De acordo com a densidade de potência média, pode-se inferir que as áreas estudadas dispõem de potencial para geração de energia.

O coeficiente de correlação entre a TSM do Pacífico com a intensidade do vento a 10 m, apresentou correlações negativas e fortes em toda a porção do estado para defasagem (lag) 0, 1 e 2. Para lag 4 e 5 temos correlações positivas e fortes para todo o

estado. No nível de 100m verificou-se resultados semelhantes, com predominância de maiores valores no sertão e litoral, e menores na borborema. Para o Coeficiente de Correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Norte e a intensidade do vento a 10m e 100m foi constatado correlações mais fortes e positivas em lag 0 e 1. E correlações negativas compostas pelas defasagens 0 e 1, e 2 para o coeficiente de correlação entre a TSM do Oceano Atlântico Sul e a intensidade do vento, o que pode caracterizar um padrão de Dipolo positivo.

Em eventos de El Niño, verificou-se a menor variabilidade da velocidade do vento, com destaque para a cidade de Mataraca e Campina Grande, que obtiveram as menores variações dentre as localidades analisadas. Já em episódios de La Niña, o vento foi mais intenso. Em casos de Dipolo/Gradiente negativo constata-se as maiores variabilidades de velocidade do vento.

A direção predominante nas localidades analisadas é de Sudeste com maiores variações de Sul em Mataraca e Pitimbu, para eventos de La Niña, e Dipolo/Gradiente positivo e negativo, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part II: upper-air circulation. **Journal Of Climate**. v. 2, n. 4, p. 341-355, 1989.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C.A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 583-592, 1992.

ARAÚJO, A. N.. **Potencial Eólico**: o caso do nordeste brasileiro. 2013. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

JÚNIOR, L. M. A.; SILVA, E. M.; COSTA, A. E.; SALES, D. C.; JUNIOR, F. C. V.; GUIMARÃES, S. O.. Avaliação dos recursos eólicos simulado no estado do Ceará: um estudo de caso para o el niño 97/98 e para la niña 98/99. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 139-152, 2014.

BACK, A. C. *et al.* **Áreas Promissoras**: área 6: serra do teixeira. Área 6: Serra do Teixeira. 2016. Disponível em: <http://mapaeolico.pb.gov.br/areas-promissoras/serra-do-teixeira.html>. Acesso em: 14 fev. 2022.

BARRETO, A. B.. **ESTUDO DO CICLO DIÁRIO DO VENTO À SUPERFÍCIE NO NORDESTE DO BRASIL**. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2001.

BARBOSA FILHO, W. P.. **Estudo dos impactos ambientais em usinas eólicas**. 2013. Disponível em: http://techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1784. Acesso em: 25 ago. 2013.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R.; FILHO, J. B. C.. Wind Speed Variability and Ocean Influences: na approach for electrical energy generation purposes in northeastern brazil. **Anuário do Instituto de Geociências – Ufrj**, v. 43, n. 1, p. 273-285, 2020.

CAVIEDES, C. N.. SECAS AND EL NIÑO: two simultaneous climatological hazards in south america. **Proceedings Of The Association Of American Geographers**, v. 5, p. 44-49, 1973.

CORREIA, A. A.. **PADRÕES DE VARIABILIDADE DO VENTO À SUPERFÍCIE NO NORDESTE DO BRASIL**. 2000. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Meteorologia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2000.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF. ERA 5: data documentation: Era 5. 2020.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N.G. S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FONTENELLE, A. L. P.. **Geração eólica urbana e segurança energética**: uso de dados de reanálise atmosférica para avaliação do potencial preliminar. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J.R.A.; CAVALCANTI, E. P. Análise de Aspectos Meteorológicos Sobre o Nordeste do Brasil em Anos de El Niño e La Niña (Analysis of Meteorological Aspects on the Northeast of Brazil in El Niño and La Niña Years). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 429-444, 2011.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. Impactos do Fenômeno Enos Sobre a Temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2012.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103: 77-92, 1977.

IEA - Internacional Energy Agency. **Renewables 2020**: analysis and forecast to 2025. S.L: Shutterstock, 2020. 172 p.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin Of The American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, mar. 1996. American Meteorological Society.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A .F. Evolving anomalous SST patterns leading to ENSO extremes: relations between the tropical Pacific and Atlantic Oceans and the influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 1119-1134, 2011.

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical circulation and associated rainfall anomalies during two contrasting years. **J. Climatology**, v. 8, n. 8, p. 477-488, 1988.

KAYANO, M. T.; CAPISTRANO, V. B.. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 1, p. 162-178, 2014.

KLINK, K. Climatological mean and interannual variance of United States surface wind speed, direction and velocity. **International Journal de Climatology**, v. 19, p. 471-488, 1999.

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

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. Extremes in the Southern oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, n. 2, p. 351-362, 1989.

LEITE, M. L., FILHO, J. S. V.. Avaliação da Velocidade Média e Direção Predominante do Vento em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 14, n. 2, p. 157-167, 2006.

LIMA, F. J. L. Avaliação do potencial eólico no Estado da Paraíba: um estudo observacional e numérico. 80f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Curso de Meteorologia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

LIMA, D. O. S.; LEÃO, R. P. S.; SANTOS, A. C. S.; MELO, F. D. C.; CHAVES, C. M. N. M. Análise do potencial eólico offshore do Ceará em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Ciência e Natura**. V. 1, n. 1, p. 49-51, 2013.

LIMA FILHO, A. C. A.. Efeitos do Dipolo do Atlântico Tropical sobre as forçantes da circulação oceânica. Fortaleza, 2016. 48 p. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

LIRA, M. A. T.; MOITA NETO, J. M.; LOIOLA, J. V. L.; SILVA, E. M.; ALVES, J. M. B.. Caracterização do Regime de Ventos no Piauí Para o Aproveitamento de Energia Eólica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 77-88, 2017.

LIRA, M. A. T.. Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.

MARIANO, E. B; CAVALCANTI, E. P. Análise comparativa da velocidade do vento simulado pelo BRAMS com dados observados e de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, 269-276, 2017.

MARIANO NETO, B. Geografia: Textos, Contextos e Pretextos para o Planejamento Ambiental. 1ª ed. – Guarabira/Pb: Gráfica São Paulo, 2003.

MARENGO, J. A. DRUYAN, L.; HASTENRATH, S. Observational and modelling studies of Amazonia interannual climate variability. **Climate Change**, v.23, n. 3, p. 267-286, 1993.

MELO, C. M. N.; LEAL JUNIOR, J. B. V.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; LIMA, D. K. S.; MELO, F. D. C. Modelagem numérica regional para avaliação do potencial eólico no vale do Rio Jaguaribe. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Pará, 13 - 17 Setembro, 2010.

MENEZES NETO, O. L.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. A.; SOMBRA, S. S. Impactos da circulação geral em casos de El Niño e La Niña no potencial eólico no Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis, RJ. Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

MIERES, L. S. **Reanálise CFSR-NCEP aplicada ao modelo SIB2 na simulação de fluxos de CO₂ sobre o cultivo de soja em Cruz Alta**. 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 7, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; LACERDA, F. F.; PASSAVANTE, J. Z. O.. Relação entre a precipitação no setor leste do nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 247-251, 2000.

MOREIRA, A. *et al.* Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de vegetação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, 2017.

NIMER, E.. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 427 p.

NOBRE, C. A.; RENNÓ, N. O. Droughts and floods in South American due to the 1982-83 ENOS episode. 16th Conf. Hurricanes and Tropical Meteorology, AMS, Houston, TX, 1985.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal Climate**, v. 10, n. 4, p. 2464-2479, 1996.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do trmm em uma sub-bacia da amazônia ocidental. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6–20, 2008.

NUNES, H. M. P.. Avaliação do potencial eólico ao largo da costa nordeste do Brasil. 2012. 119 f., Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

OLIVEIRA, S. S. Análise do potencial eólico do estado da Paraíba utilizando modelos de meso escala. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, abril de 2013.

RAO, V. B.; SATUAMURTI, P.; BRITO, J. I. B. On the 1983 drought in Northeast Brazil. **Internacional Journal of Climatology**, v. 6, n. 1, p. 43-51, 1986.

ROPEPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S.. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 2, p. 1606-1626, 1986.

RODRIGUEZ, J. L. Atlas Escolar da Paraíba. 3ª ed., João Pessoa: Editora Grafset, 2002.

RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M. J.. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014.

ROMERO, V.; MARCUZZO, F.F.N.. Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado de Goiás. **Revista Acta Geográfica**, p. 93-106, 2013. Revista ACTA Geografica.

SAGAR, A. D.; HOLDREN, J. P. Assessing the global energy innovation system: some key issues. **Energy Policy**, v.30, n. 6, p.465-469, 2002.

SACRAMENTO, E. M.; CUNHA, E. B. A. C.; LEAL, J. J. B. V.; COSTA, A. A. Estudo preliminar sobre o potencial eólico das regiões serranas do Ceará. Anais do XIII CBMet. Florianópolis, 2006.

SANTOS, A. T. S. Um estudo sobre a variabilidade do vento no nordeste do Brasil através de métodos estatísticos e via modelos dinâmicos de meso e micro escala. 2014. 109f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SAUER, I. L.; QUEIROZ, M. S.; MIRAGAYA, J. C. G.; MASCARENHAS, R. C.; QUINTINO JÚNIOR, A. R. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras. Bahia *Análise & Dados*, v. 16, n. 1, p. 9-22, 2006.

SERVAIN, J.; LEGLER, D. M. Empirical orthogonal function analyses of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, n. 14, p. 181-191, 1986.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P.; DANTAS, R. T. Potencial Eólico na Direção Predominante do Vento no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, 431-439, 2002.

SILVA, J. K. A. da. Wind characterization and aeolian potential estimate to the coastal region (Pilar, Alagoas). 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Processos de superfície terrestre) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

SILVA JUNIOR, R. S.; LYRA, R. F. F.; RAMOS, D. N. S.; MOURA, M. A. L.; GOMES, H. B.; HOLANDA, S. C. Prognóstico do vento para o estado de alagoas utilizando o modelo wrf em alta resolução: avaliação da melhoria da topografia, uso do solo e velocidade de fricção. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 137-144, 2016.

SILVA, P. K.. Análise e previsão de curto prazo do vento através de modelagem estatística em áreas de potencial eólico no Nordeste do Brasil. 2017. 166 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SILVEIRA, S. R. Geração descentralizada de energia através de fonte alternativa. 55f. Monografia (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SOUZA, E. B. Um estudo observacional sobre o padrão de dipolo de anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n. 2-3, p. 210-211, 1999.

SUN, C. Y.; TAO, S. W.; LUO, Y.; WANG, S. G.; SONG, L. L. Land-sea breeze and the application of wind profile in the wind speed forecasting to wind farm along the coast. **Chinese Journal of Geophysics**, v. 52, n. 3, p. 630-636, 2009.

TRENBERTH, K. E.. The definition of el nino. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

VIANELLO, R. L; ALVES, A. R.. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2. Ed. Viçosa: Ufv, 2012. 460 p.