



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **PREVISÃO DE VENTO E PRECIPITAÇÃO EM ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO EM REGIÃO DE TOPOGRAFIA COMPLEXA**

Kamyllin Hildegard Pereira

Relatório de Iniciação Científica do  
Programa PIBIC em Meteorologia,  
orientado pelo Dr. Jorge Luís Gomes e  
coorientado pela Dra. Claudine Pereira  
Dereczynski.

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
2021



## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo buscar aumentar a acurácia da previsão dos ventos e precipitação sobre a região Sudeste do Brasil. Previsões numéricas contém erros, e o conhecimento destes erros permitem introduzir técnicas para tentar reduzi-los. Estas técnicas podem ser por modificações no modelo numérico, dinamicamente, ou por técnicas de correção estatística da previsão.

Palavras-chave: Modelo Eta. Previsão de vento. Previsão de precipitação.



# **HIGH RESOLUTION WIND AND PRECIPITATION FORECAST IN COMPLEX TOPOGRAPHY REGION.**

## **ABSTRACT**

This work aims to increase the accuracy of forecasting winds and precipitation over the Southeast region of Brazil. Numerical predictions contain errors, and knowledge of these errors allows you to introduce techniques to try to reduce them. These techniques can be by modifying the numerical model, dynamically, or by statistical correction techniques of the forecast.

Keywords: Eta Model. Wind forecast. Precipitation forecast.



## LISTA DE FIGURAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Figura 3.1 – Intensidade média do vento (m/s) em 10 metros. ....	7
Figura 3.2 - escoamento médio do vento (m/s) em 10 metros.....	8
Figura 3.3 - Ciclo diurno da intensidade do vento (m/s). ....	12





## LISTA DE TABELAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Tabela 2.1 - Ocorrência de anos de La Niña.....	4
Tabela 2.2 - Ocorrência de anos de El Niño.....	4
Tabela 3.1 - Dados do ERA5 e da Torre A do CNAAA. ....	11



## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ENOS	El Niño e Oscilação Sul
NEB	Nordeste Brasileiro
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
CNAAA	Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
GrADS	Grid Analysis and Display System

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	2
2 DADOS E METODOLOGIA .....	2
2.1 Reanálise do ERA5 .....	3
2.2 Dados da Torre A da CNAAA .....	3
2.3 Software GrADS .....	3
2.4 El Niño e La Niña.....	4
2.5 Campos médios.....	5
2.5.1 ERA5.....	5
2.5.2 Ciclo diurno do vento em 10 metros da Torre A.....	6
3 RESULTADOS .....	6
3.1 Escoamento sobre a América do Sul e oceanos adjacentes.....	6
3.1.1 Intensidade média.....	6
3.1.2 Escoamento médio.....	8
3.2 Comparação entre os dados do ERA5 e da Torre A do CNAAA .....	10
4 Conclusão.....	13





## **1 INTRODUÇÃO**

O projeto tem por objetivo buscar aumentar a acurácia da previsão dos ventos e precipitação sobre a região Sudeste do Brasil. A melhoria na qualidade da previsão será buscada por métodos dinâmicos, a partir do modelo atmosférico Eta/INPE, e por métodos estatísticos, a partir de correção estatística das previsões. Previsões numéricas contém erros, e o conhecimento da magnitude ou características desses erros das previsões permitem introduzir técnicas para tentar reduzir os erros. Estas técnicas podem ser por modificações no modelo numérico, dinamicamente, ou por técnicas de correção estatística da previsão. As duas abordagens são desenvolvidas neste projeto.

Devido à escassez de observações para se obter uma estatística mais robusta dos padrões de erros das previsões numéricas de tempo, a comunidade científica usa como referência dados de reanálise.

Na fase inicial do trabalho foi realizado um estudo sobre a circulação sobre a América do Sul e oceanos adjacentes através dos dados de vento em 10 metros da reanálise ERA5 para o mês de janeiro. O período de dados utilizado no estudo compreende o mês de janeiro de 1980 a 2020. Uma verificação da acurácia das informações fornecidas pela reanálise ERA5 foi feita confrontando as mesmas com dados de uma torre de coleta de dados da Usina de Angra.

## **2 DADOS E METODOLOGIA**

Na primeira etapa do trabalho são analisados os dados do mês de janeiro compreendidos entre os anos de 1980 a 2020 (41 anos) por ser o período disponível na plataforma. A análise da variação em anos de ENOS e neutros é para aprendizado da manipulação dos dados no software e um melhor entendimento do padrão de circulação.

A segunda etapa do trabalho baseia-se na análise dos dados de intensidade do vento da Torre Meteorológica (Torre A) da CNAAA, no mês de janeiro entre 2005 e 2012 (8 anos), uma vez que é a única a medir a direção e intensidade do vento no nível de 10 metros (mesmo nível do ERA5). Este procedimento

será para fins comparativos entre os dados observados e o da reanálise, durante o mesmo período, para ver como está sendo o comportamento durante o ciclo diurno.

## **2.1 Reanálise do ERA5**

A reanálise ERA5 é a quinta geração do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). As informações são geradas por esse sistema utilizando um sistema de assimilação de dados, em que a previsão do modelo é combinada com as observações. Os dados estão disponíveis para download no site da copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/>).

Utilizaram-se os dados horários em níveis únicos das componentes u (zonal) e v (meridional) do vento em 10 metros, que combinadas fornecem a velocidade e direção do vento horizontal nesta altitude, com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , nos meses de janeiro de 1980 a 2020.

## **2.2 Dados da Torre A da CNAAA**

A CNAAA está localizada na praia de Itaorna, num fundo de baía, cercada por montanhas elevadas, caracterizada por morros de alta declividade em todos os lados, exceto a sul/sudoeste onde está voltada para o Oceano Atlântico (Oliveira Junior, 2008), no município de Angra dos Reis, em uma região de topografia complexa. A Torre A está a uma altitude de 40 metros, na latitude  $23,01^\circ$  S e longitude  $44,46^\circ$ W.

## **2.3 Software GrADS**

O software GrADS (Grid Analysis and Display System) é uma ferramenta interativa desenvolvida pelo pesquisador Brian Doty e distribuída gratuitamente na internet. Nele é possível acessar, manipular e visualizar dados das Ciências da Terra em diversos formatos como por exemplo binário e NetCDF. Com linguagem de script permitindo o uso de funções, expressões, análises sofisticadas e visualização gráfica cujos aspectos podem ser controlados, suas variáveis (longitude, latitude, níveis verticais, tempo e conjunto) podem ser combinadas e plotadas nos mais variados tipos de gráficos, dentre eles



contorno, sombreado, linhas de corrente, vetores para vento e a figura gerada pode ser gravada em diversos formatos como o PNG.

## 2.4 El Niño e La Niña

O ENOS (El Niño e Oscilação Sul) é um fenômeno atmosférico-oceânico que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente) e que acarreta efeitos no clima regional e global alterando os padrões de vento, temperatura e precipitação. Nas Tabelas 2.1 e 2.2 temos, respectivamente, anos sob a influência do fenômeno La Niña e El Niño.

Tabela 2.1 - Ocorrência de anos de La Niña.

<b>Anos de ocorrência</b>	<b>Intensidade</b>
1988-1989	Moderada
1998-1999	Fraca
1999-2000	Moderada
2007-2008	Moderada
2010-2011	Moderada
2017-2018	Moderada

Fonte: Adaptada de INPE.

Tabela 2.2 - Ocorrência de anos de El Niño.

<b>Anos de ocorrência</b>	<b>Intensidade</b>
1979-1980	Moderada
1982-1983	Forte
1986-1987	Moderada
1987-1988	Forte
1991-1992	Forte
1992-1993	Fraca
1997-1998	Forte

2002-2003	Moderada
2006-2007	Moderada
2009-2010	Moderada
2015-2016	Forte

Fonte: Adaptada de INPE.

## **2.5 Campos médios**

Nesta seção é descrito a metodologia para da construção dos campos médios de vento a 10 metros da reanálise ERA5 e das observações da Torre A.

### **2.5.1 ERA5**

Os dados de vento em 10 metros da reanálise ERA5, obtidos no site da Copernicus, possuem uma frequência temporal horária. Para o estudo da circulação sobre a América do Sul e oceanos adjacentes, foram gerados os campos médios para o mês de janeiro. Para a comparação com os dados observados da Torre A foi calculado o ciclo diurno médio do período de 2005 a 2012.

Para identificar os possíveis efeitos na intensidade e escoamento do vento, foi feita a média dos anos de El Niño, La Niña e anos em que não havia atuação do fenômeno (neutros), separadamente, e depois comparados com a climatologia. As informações destes anos, a metodologia adotada, o período considerado (intervalos dos meses) e os critérios de classificação de intensidade estão disponíveis no site do INPE, foram adaptados e se encontram nas Tabelas 2.1 e 2.2. A climatologia escolhida está entre 1991 e 2020 e anos selecionados neste trabalho compreendem o intervalo de 1980 a 2020, resultando em 6 anos de La Niña, 11 anos de El Niño e 24 anos neutros, que são os demais anos não encontrados nas tabelas.

## **2.5.2** Ciclo diurno do vento em 10 metros da Torre A

Para a obtenção do ciclo diurno do vento em 10 metros da Torre A, foram calculadas as médias de cada horário do dia para o mês de janeiro entre os anos de 2005 a 2012 (8 anos).

## **3 RESULTADOS**

Nesta seção são apresentadas as análises da diferença no comportamento do vento em anos de ENOS e neutros em relação à climatologia tanto para a intensidade média quanto para o escoamento médio. Além disso, são comentadas as diferenças de intensidade entre anos de El Niño e La Niña em relação a anos neutros. E por fim, há a comparação das médias horárias da intensidade do vento para o nível de 10 metros entre a Torre A e o ERA5 durante o ciclo diurno.

### **3.1 Escoamento sobre a América do Sul e oceanos adjacentes**

Nesta seção está a análise da circulação sobre a América do Sul e oceanos adjacentes.

#### **3.1.1 Intensidade média**

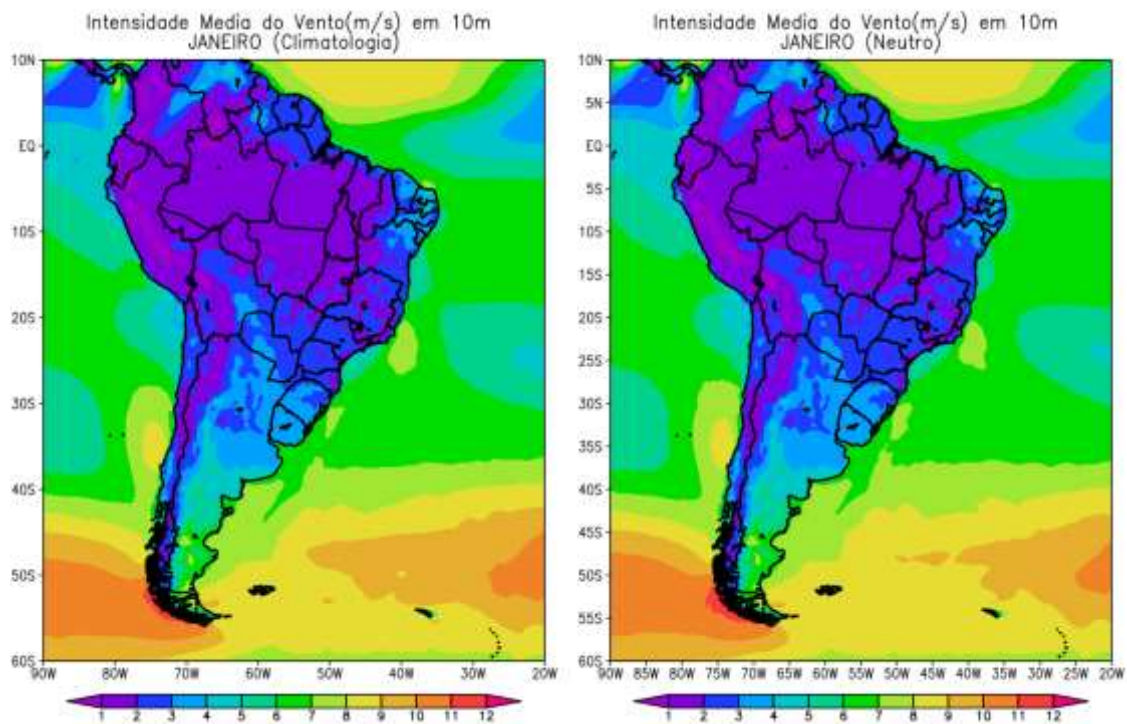
Para a magnitude do vento, ao comparar anos de ENOS ativo e anos neutros com a climatologia, os resultados mostram que na média de anos de El Niño não há mudanças significativas na magnitude entre 10°N e 40°S nos oceanos. No continente, na região de formação de CCMs (Complexos Convectivos de Mesoescala) entre o Paraguai e a Argentina, os ventos ficam menos intensos em contraposição com a faixa próxima ao litoral entre o estado do Ceará e a Guiana em que o aumento da magnitude do vento adentra o continente. Entre 45°S e 60°S, no Atlântico, pode-se observar um avanço do núcleo em cerca de 2° para norte e ventos menos intensos no Pacífico, como por exemplo a região de Magalhães e Antártica Chilena, no sul do Chile. Na média de anos de La Niña, nesta mesma faixa de latitude, pode-se observar, em ambos os oceanos, aumento da magnitude e o mesmo ocorre entre 5°N e 10°N. No Pacífico, entre a Linha do Equador e cerca de 7°S, há uma região de orientação NE-SE onde

os ventos ficam menos intensos assim como no continente, na região de formação de CCMs e na faixa próxima ao litoral entre o estado do Ceará e a Guiana. Em anos neutros, os ventos ficam mais intensos na região de Magalhães e Antártica Chilena, e menos intensos entre 45°S e 60°S no Atlântico e também na faixa próxima ao litoral entre o Ceará e a Guiana.

Figura 3.1 – Intensidade média do vento (m/s) em 10 metros.

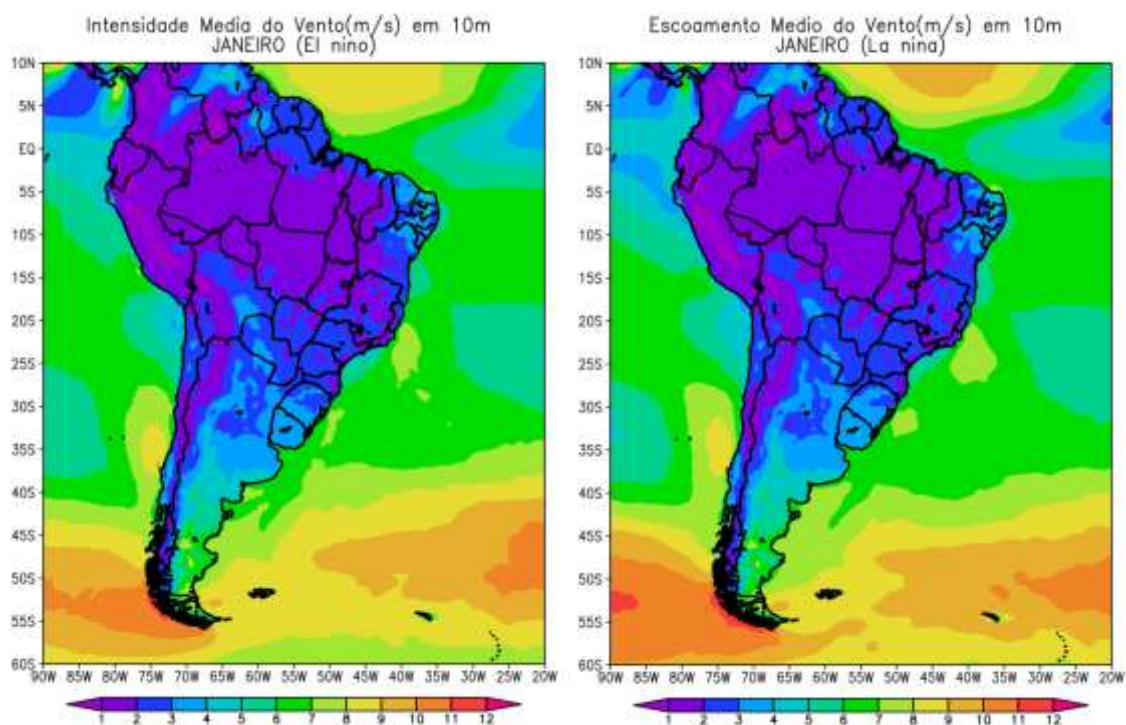
(a)

(b)



(c)

(d)



Intensidade média do vento (m/s) em 10 metros: (a) climatologia, (b) anos neutros, (c) anos de El Niño (d) anos de La Niña. Climatologia de 1991 a 2020, anos neutros e ENOS entre 1980 e 2020.

Fonte: Produção do autor.

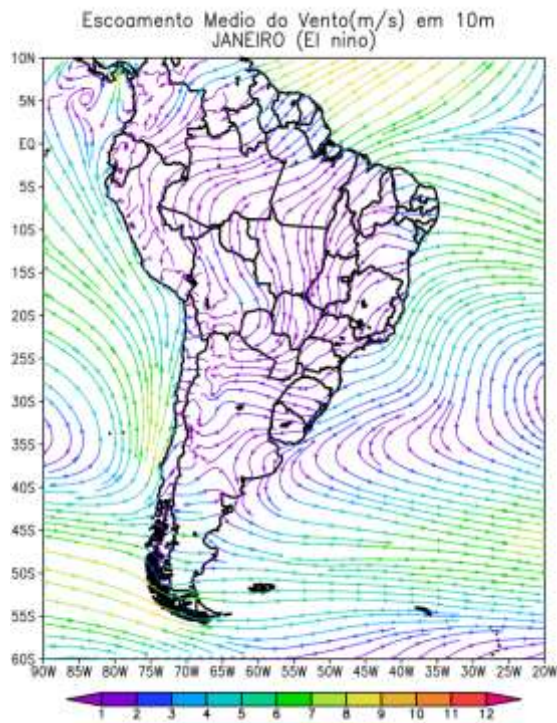
### 3.1.2 Escoamento médio

No escoamento médio, as mudanças observadas na média dos anos de El Niño são de ventos menos intensos entre 45°S e 60°S no Pacífico, ventos menos intensos atingindo a costa do Nordeste do Brasil (NEB) e um leve deslocamento para norte da circulação abaixo de 20°S em ambos os oceanos, enquanto que na média dos anos de La Niña ocorre o oposto: os ventos são mais intensos no intervalo de latitudes e na costa do NEB e o deslocamento é mais para sul e. Além disso, os ventos que atingem o norte da América do Sul no Oceano Atlântico são mais intensos. Em anos neutros o escoamento médio permanece próximo da climatologia.

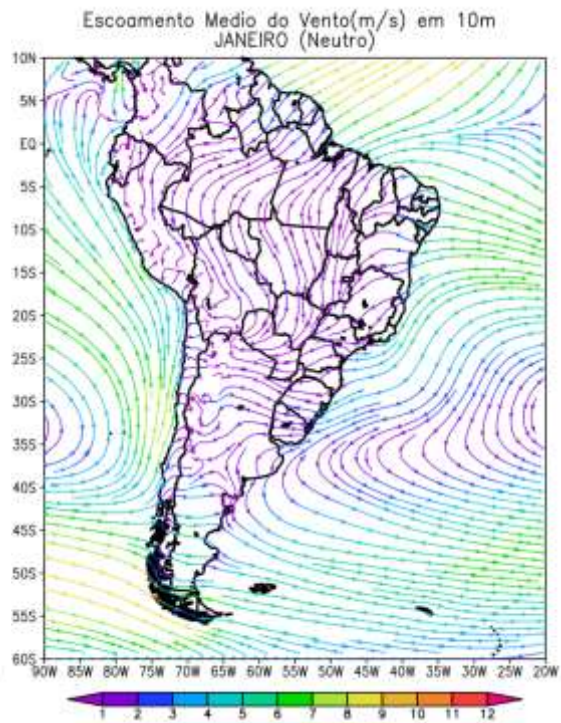
Figura 3.2 - Escoamento médio do vento (m/s) em 10 metros.



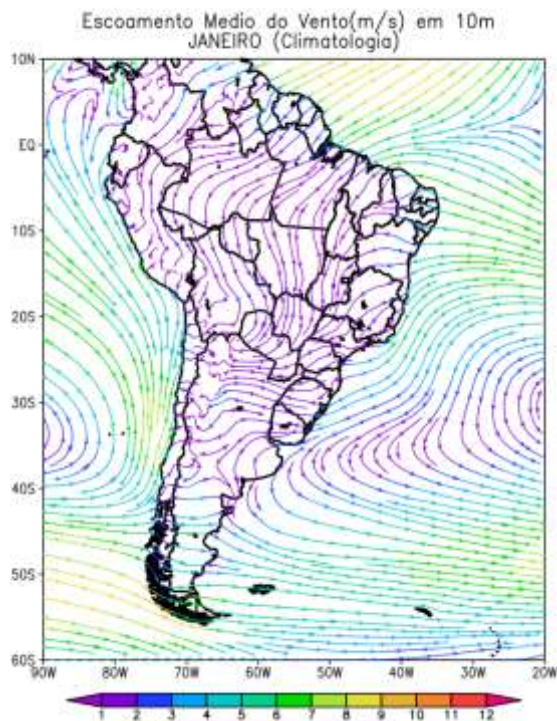
(a)



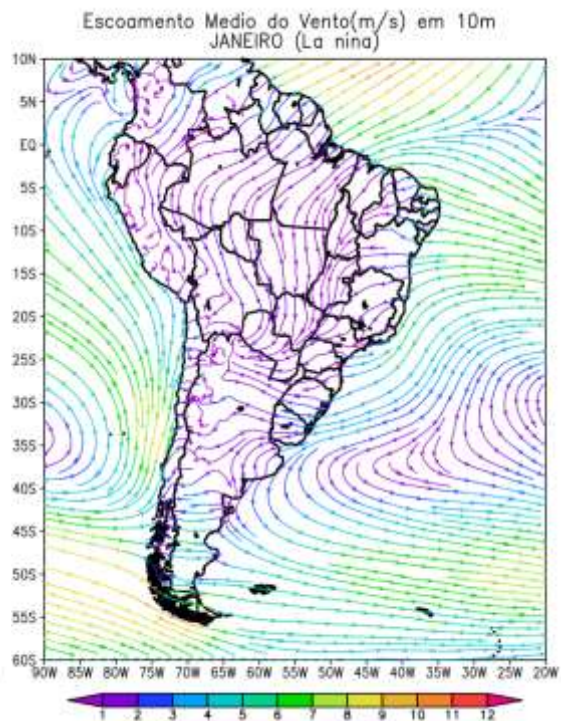
(b)



(c)



(d)



Escoamento médio do vento (m/s) em 10 metros: (a) climatologia, (b) anos neutros, (c) anos de El Niño (d) anos de La Niña. Climatologia de 1991 a 2020, anos neutros e ENOS entre 1980 e 2020.

Fonte: Produção do autor.

### **3.2 Comparação entre os dados do ERA5 e da Torre A do CNAAA**

Na tabela 3.1 estão os dados de reanálise da intensidade do vento do ERA5, os dados observados da Torre A do CNAAA, a diferença deles e o desvio padrão.

A diferença de intensidade entre ambos foi utilizada como parâmetro para observar se o ERA5 iria superestimar ou subestimar os valores de intensidade e o desvio padrão foi calculado para ser usado de intervalo.

Ao compará-los, caso essa diferença possuísse valores acima do desvio padrão, o quadrado da tabela correspondente às horas estaria indicado em vermelho, caso os valores estivessem abaixo, o quadrado estaria indicado em verde.

Tabela 3.1 - Dados do ERA5 e da Torre A do CNAAA.

	ERA5	Torre A		
Hora	Intensidade (m/s)	Intensidade (m/s)	Diferença	Desvio padrão
1	0,62832	1,40925	-0,78093	0,46485
2	0,66424	1,44549	-0,78125	0,42265
3	0,70081	1,40671	-0,70590	0,38439
4	0,71047	1,38285	-0,67238	0,37924
5	0,69652	1,41037	-0,71386	0,39412
6	0,73514	1,38612	-0,65098	0,41586
7	0,72196	1,34545	-0,62349	0,40136
8	0,58068	0,92827	-0,34759	0,46870
9	0,38086	0,70790	-0,32704	0,44476
10	0,49275	0,92940	-0,43666	0,43177
11	0,76971	1,18042	-0,41071	0,97398
12	1,01384	1,33650	-0,32266	0,44833
13	1,21759	1,42666	-0,20907	0,47194
14	1,36561	1,49281	-0,12720	0,50717
15	1,42160	1,47668	-0,05508	0,51181
16	1,37263	1,41854	-0,04591	0,49643
17	1,25272	1,40871	-0,15599	0,50982
18	1,08064	1,39984	-0,31920	0,57118
19	0,82463	1,32183	-0,49720	0,66552
20	0,62198	1,35028	-0,72830	0,55294
21	0,47357	1,50811	-1,03454	0,48070
22	0,45930	1,41482	-0,95552	0,42739
23	0,52077	1,50147	-0,98070	0,48782
24	0,58505	1,42172	-0,83667	0,46716

Fonte: Produção do autor.



De modo geral, entre o período da manhã e o início da noite os valores de intensidade encontram-se dentro do intervalo de desvio, enquanto os valores durante a noite e madrugada ultrapassam esse valor. Nesta região os ventos diurnos são predominantemente de quadrante sul e os noturnos são predominantemente de quadrante norte, e estão possivelmente associados à brisa marítima e a interação da brisa terrestre e brisa de montanha, respectivamente. Embora não haja uma distância destoante dos dados observados, nota-se que o ERA5 subestima os valores de intensidade para todos os horários, como é possível observar na figura 3.4.

Figura 3.3 - Ciclo diurno da intensidade do vento (m/s).

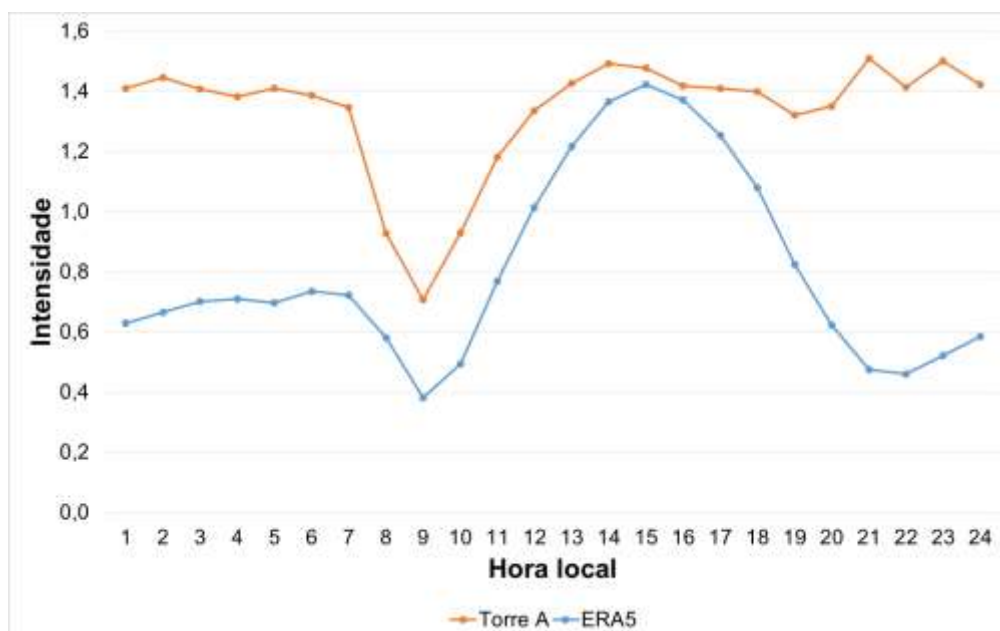


Gráfico do ciclo diurno da intensidade do vento (m/s) em 10 metros, durante o mês de janeiro de 2005 a 2012 (8 anos).

Fonte: Produção do autor.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados das análises mostram que para a magnitude do vento, na região de formação de CCMs, entre o Paraguai e a Argentina, os ventos ficam menos intensos tanto em anos de ENOS ao serem comparados com a climatologia. Entre 45°S e 60°S, no Atlântico, há um aumento na magnitude em anos de La Niña e diminuição em anos de El Niño. Na faixa próxima ao Ceará, os ventos que adentram o continente se intensificam e se desintensificam em anos de La Niña. Na região de Magalhães e Antártica Chilena, no sul do Chile, os ventos estão menos intensos no Pacífico em anos de El Niño e mais intensos em anos de La Niña. Estas observações nestas regiões destacam um padrão de oposição entre El Niño e La Niña.

No escoamento médio, é possível observar também um padrão de oposição entre El Niño e La Niña. Entre 45°S e 60°S no Pacífico, na costa do Nordeste do Brasil e na circulação abaixo de 20°S em ambos os oceanos. E em anos neutros há poucas variações ao ser comparado com a climatologia.

A reanálise ERA5 em relação à Torre A, apresenta valores próximos dos dados observados durante o dia e valores distantes durante a noite e madrugada e de modo geral subestima os valores de intensidade para todos os horários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ECMWF. **Fact sheet: Reanalysis**. 2020. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2020/fact-sheet-reanalysis>. Acesso em: 10 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **El Niño**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>. Acesso em: 10 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/lanina/pt>. Acesso em: 10 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Ocorrência de El Niño**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/~renos/misc/elnino.html>. Acesso em: 10 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Ocorrência de La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/~renos/misc/lanina.html>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Oliveira Junior, J. F. de, 2008. Estudo da camada limite atmosférica na região de Angra dos Reis através do modelo de Mesoescala MM5 e de dados observacionais. Teste de Doutorado. COPPE/UFRJ, 272 p.