



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

TESE DE DOUTORADO

**UM ESTUDO NUMÉRICO E ESTATÍSTICO DA VARIABILIDADE DO VENTO NA
AMAZÔNIA ORIENTAL (AMAPÁ E PARÁ –BRASIL)**

LEANDRO RODRIGUES DE SOUZA

Campina Grande – PB
Julho de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S729e Souza, Leandro Rodrigues de.
Um estudo numérico e estatístico da variabilidade do vento na Amazônia Oriental (Amapá e Pará - Brasil) / Leandro Rodrigues de Souza. – Campina Grande, 2016.
118f. : il. color.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
"Orientação: Prof. Dr. Enio Pereira de Souza".

1. Mesoescala (Meteorologia). 2. Modelo BRAMS (Mesoescala). 3. Potencial Eólico. 4. Vento - Variabilidade (Amapá e Pará). I. Souza, Enio Pereira de. II. Título.

CDU 551.515.6(043)

LEANDRO RODRIGUES DE SOUZA

**UM ESTUDO NUMÉRICO E ESTATÍSTICO DA VARIABILIDADE DO VENTO NA
AMAZÔNIA ORIENTAL (AMAPÁ E PARÁ –BRASIL)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Doutor em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Enio Pereira de Souza

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical

Campina Grande – PB
Julho de 2016

LEANDRO RODRIGUES DE SOUZA

UM ESTUDO NUMÉRICO E ESTATÍSTICO DA VARIABILIDADE DO VENTO
NA AMAZÔNIA ORIENTAL (AMAPÁ E PARÁ – BRASIL)

TESE APROVADA EM 14/07/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


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


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. CLÁUDIO MOISÉS SANTOS E SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas
Centro de Ciências Exatas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte


Prof. Dr. FRANCISCO JOSÉ LOPES DE LIMA
Laboratório de modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
Centro de Ciência do Sistema Terrestre
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

A minha filha Laura

DEDICO

EPÍGRAFE

Imagine que o mundo seja algo como uma gigantesca partida de xadrez sendo disputada pelos deuses, e que nós fazemos parte da audiência. Não sabemos quais são as regras do jogo; podemos apenas observar seu desenrolar. Em princípio, se observarmos por tempo suficiente, iremos descobrir algumas das regras. As regras do jogo é o que chamamos de física fundamental.

Richard Feynman

...pois, “Se soubéssemos o que era aquilo que estávamos fazendo, não se chamaria de pesquisa, não é mesmo?”

Albert Einstein

...logo, “The answer, my friend, is blowin' in the wind. The answer, my friend, is blowin' in the wind”

Bob Dylan

AGRADECIMENTOS

Escrever o agradecimento é a última tarefa na redação de um trabalho como este. São tantas as pessoas, ao longo dos últimos anos, que de alguma forma contribuíram para que essas páginas fossem escritas. Quero registrar aqui meus sinceros agradecimentos a todos.

A Deus, pela vida, pela família e amigos que sempre estiveram ao meu lado.

A minha família pelo grande incentivo e apoio na minha vida estudantil e profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Enio Pereira de Souza pela confiança desde o início e apoio nas minhas opiniões na Tese.

Ao Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha da UNIFAP, pelo incentivo e apoio no desenvolvimento da pesquisa no Amapá desde início desta jornada científica (2007).

Ao Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Energéticos LABREN/CCST/INPE pela estrutura física e pessoal que foi fundamental para desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET pela disponibilidade dos dados utilizados nesta Tese.

Aos professores da banca de qualificação pelas contribuições e sugestões valiosas no projeto de qualificação que deram rumo ao trabalho.

Aos professores do Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande pela contribuição à minha formação profissional. E, aos funcionários do DCA, especialmente a Arilene Lucena e nossa ex-funcionária Divanete Rocha.

A Universidade Federal do Amapá por conceder meu afastamento para desenvolver esta Tese com mais tranquilidade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo, pois não teria como alimentar este sonho hoje realizado.

A Diani Silva, Francisco Lima, Jonathan Amanajás, Julliana Freire e Rodrigo Braz pelas contribuições na operacionalização do modelo BRAMS.

Aos amigos que sempre me apoiaram nos momentos difíceis e alegres desta trajetória: Alexandra, Camilla, Cristiani, Katci...(kaka), Mila, Nilzele, Roberta, Rosaria, Jefferson, Marcos (jequia), Rayonil.

A todos os alunos do curso de Meteorologia que nesses anos fizeram valer o significado de amizade, respeito e incentivo.

A todos que contribuíram direto e indiretamente na conclusão deste trabalho, meu muito obrigado!

RESUMO

O objeto principal do estudo foi utilizar o modelo de mesoescala BRAMS (versão 5.2) para simular a variabilidade do vento, para fins de caracterização e avaliação de potencial eólico nos Estados do Amapá e Pará (Brasil) no ano de 2009. Na metodologia foram aplicados índices e um refinamento estatístico com Redes Neurais Artificiais (RNAs) para validação e ajustes das saídas do modelo atmosférico. Nos resultados, verificou-se que no Amapá a velocidade média do vento horária foi maior em Macapá com valor igual a 3,23 m/s e; no Pará foi em Soure com 2,61 m/s. Macapá (AP) e Soure (PA) apresentaram, também, os valores mais expressivos em escala mensal da velocidade do vento com 3,23 e 3,00 m/s, respectivamente. Após a simulação e uso RNAs, percebeu um aumento estatisticamente significativo da simulação numérica, que aumenta a credibilidade do BRAMS na caracterização da variabilidade do vento nas diversas escalas de tempo. Além disso, na análise da direção do vento, o modelo de mesoescala mostrou-se eficiente sua representação em todas as estações, inclusive com suas magnitudes, exceto em Belém que a direção predominante medida foi de Leste e o modelo reproduziu de Nordeste. No estudo de casos para períodos chuvoso e seco, foram observados que tanto o BRAMS como as RNAs representaram a variabilidade da intensidade do vento de forma eficiente em todas as estações, exceto Macapá que o modelo atmosférico subestimou. Os índices estatísticos (BIAS, RMSE e r) aplicados nas comparações dos dados foram satisfatórios para o BRAMS e com as RNAs, no qual o coeficiente de Pearson na maioria das estações mostrou correlações Moderadas (0,40 a 0,69) alcançando correlações Muito Forte (0,90 a 1,0). Em seguida, os parâmetros da FDP de Weibull indicaram que BRAMS melhor simulou o parâmetro de Forma na maioria dos pontos de estudo e, as RNAs mostraram representação mais adequada do parâmetro de Escala. Por tanto, a utilização de modelos atmosféricos para simular a variabilidade do vento é uma ferramenta importante, principalmente, quando não há registros de dados observacionais em locais remotos. E, se tratando de Amazônia, a baixa densidade de estações meteorológicas na extensa região inviabiliza estudos detalhados para monitorar locais com potencial eólico.

Palavras-chave: Amapá, BRAMS, Energia Eólica, Pará, Redes Neurais Artificiais.

ABSTRACT

The main objective of the study was to use the mesoscale model BRAMS (version 5.2) to simulate the wind variability, for the purpose of characterization and wind potential evaluation in the states of Amapá and Pará (Brazil) in 2009. The methodology was applied indexes and statistical refinement with Artificial Neural Networks (ANN) for validation and adjustments of the atmospheric model outputs. As a result, it was found that in Amapá average wind speed time was higher in Macapá with a value of 3,23 m/s and; Pará was in Soure with 2,61 m/s. Macapa (AP) and Soure (PA) had also the higher values in wind speed of the monthly scale with 3,23 and 3,00 m/s, respectively. After the ANN and use simulation to validation, noticed a statistically significant increase in numerical simulation, which increases the credibility of BRAMS to characterize the wind variability in different time scales. Moreover, the wind direction analysis, the mesoscale model was efficient representation in all seasons, including their magnitudes, except in Bethlehem to the predominant direction as was East and reproduced Northeast model. In the case studies for rainy and dry seasons, it was observed that both the BRAMS as ANN represented the wind speed variability efficiently in all seasons except Macapa that atmospheric model underestimated. Statistical indices (BIAS, RMSE and r) applied to the data comparisons were satisfactory for BRAMS and the ANN in which the Pearson coefficient of at most stations showed moderate correlations (0,40-0,69) reaching correlations very strong (0.90-1,0). Then, the PDF Weibull parameters indicated that BRAMS best simulated shape parameter in most points of study and the RNAs showed better representation of the scale parameter. Therefore, the use of atmospheric models to simulate the wind variability is an important tool, especially when there are no records of observational data in remote locations. And, in the case of Amazon, the low density of weather stations in the vast region derail detailed studies to monitor places with wind potential.

Keywords: Amapá, BRAMS, Wind Power, Pará, Artificial Neural Networks

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2014	5
Figura 2: Área em estudo	14
Figura 3: Topografia da área em estudo	15
Figura 4: Esquema simplificado para calcular a energia eólica	17
Figura 5: Representação esquemática da RNA utilizada no estudo	23
Figura 6: Esquematização simplificada do processo elaboração dos resultados	25
Figura 7: Média horária da velocidade do vento	27
Figura 8: Estação meteorológica automática de Tartarugalzinho (AP)	28
Figura 9: Média mensal da velocidade do vento	30
Figura 10: Série temporal indefinida de validação da RNA e respectivos gráficos de dispersão do BRAMS e da RNA para Oiapoque	32
Figura 11: Média horária da velocidade do vento	33
Figura 12: Média diária da velocidade do vento	35
Figura 13: Variabilidade mensal da intensidade do vento	42
Figura 14: Frequência da direção do vento medido (a), (c), (e), (g), (i), (l), (n), (p) e simulado pelo BRAMS (b), (d), (f), (h), (j), (m), (o) e (q) para Oiapoque, Tartarugalzinho, Macapá, Soure, Belém, Castanhal, Tomé Açu e Cametá	44
Figura 15: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (vermelho) e RNA (Azul) em Oiapoque	47
Figura 16: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Tartarugalzinho	49
Figura 17: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Macapá (AP)	50
Figura 18: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Soure (PA)	52
Figura 19: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Oiapoque (AP)	53
Figura 20: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Tartarugalzinho (AP)	55
Figura 21: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Macapá (AP)	56

Figura 22: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Soure (PA)	58
Figura 23: Histograma da intensidade do vento para Oiapoque	60
Figura 24: Histograma da intensidade do vento para Tartarugalzinho	60
Figura 25: Histograma da intensidade do vento para Macapá	61
Figura 26: Histograma da intensidade do vento para Soure	61
Figura 27: Velocidade média anual da velocidade do vento a 10m de altura	64
Figura 28: Velocidade média no período chuvoso (a) e período seco (b) da velocidade do vento a 10m de altura	65
Figura 29: Densidade média de potência anual (a), período chuvoso (b) e período seco da velocidade do vento a 10m de altura	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Países em capacidade de potência instalada	4
Tabela 2: Estações meteorológicas da área em estudo	16
Tabela 3: Principais esquemas de parametrizações utilizadas no experimento	20
Tabela 4. Critérios de interpretação do índice de desempenho (r)	22
Tabela 5: Índices estatísticos diários entre dados medidos e BRAMS	38
Tabela 6: Índices estatísticos diários entre dados medidos e RNAs	39
Tabela 7: Parâmetros da FDP de Weibull	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
AP	Amapá
BIAS	Erro Sistemático Médio
BRAMS	<i>Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i>
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IME	Instituto de Matemática e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JBN	Jatos de Baixos Níveis
MLP	<i>Multiple Layer Perceptrons</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
NEB	Nordeste do Brasil
PA	Pará
RAMS	<i>Regional Atmospheric Modeling System</i>
RMSE	Erro Médio Quadrático
RNAs	Redes Neurais Artificiais

USP	Universidade de São Paulo
UTC	Tempo Universal Coordenado
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
WASP	<i>Wind Atlas Analysis and Application Program</i>
WRF	<i>Weather Research and Forecasting</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Energia Eólica	3
3.2. Simulação numérica aplicado na variabilidade do vento	6
3.3. Estudos estatísticos aplicados na variabilidade do vento	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Região de Estudo	14
4.2. Dados Utilizados	15
4.2.1. Observados.....	15
4.2.2. Simulação Numérica.....	16
4.3. Estimativa do Potencial Eólico	17
4.4. Modelo BRAMS	19
4.5. Análise Estatística	20
4.5.1. Índices Estatísticos	20
4.5.2. Refinamento Estatístico por RNAs	22
4.5.3. Distribuição de Probabilidade de Weibull	24
4.6. Fluxograma da pesquisa	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1. Avaliação da Variabilidade da Velocidade do Vento	26
5.1.1. Análise Horária	26
5.1.2. Análise Mensal	29
5.2. Validação do modelo BRAMS e da Rede Neural	31
5.3. Avaliação da Simulação Numérica do Vento	32
5.3.1. Análise Horária e Mensal da Intensidade do Vento	33
5.3.2. Análise Anual da direção do vento	43
5.4. Cenários: Período Chuvoso e Seco	46
5.4.1. Estação Chuvosa	47
5.4.2. Estação Seca	53
5.5. Função de Distribuição de Weibull	59

5.6. Aplicação: Análise Espacial da variabilidade do vento	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1. INTRODUÇÃO

O vento é o escoamento de ar na atmosfera, consequência de outras variáveis meteorológicas como radiação e pressão atmosférica. O estudo da variabilidade do vento é fundamental para diversos setores da sociedade como a dispersão de poluentes, erosão costeira, construção civil, navegação aérea e fluvial, aeroportos, setor elétrico, etc.

Sabe-se que a geração de energia é muito importante para a continuidade e o desenvolvimento de um país. É também de conhecimento geral, a vulnerabilidade dos atuais mecanismos de suprimento de energia, baseados em recursos não renováveis, a saber, carvão, petróleo e outros; cujo esgotamento provocaria um colapso na sociedade atual. Além de outros fatores como: alto custo de geração das hidrelétricas e termoelétricas; o atendimento de cargas remotas, em que a rede de transmissão é antieconômica são desafios para instituições do setor energético.

As energias renováveis, principalmente a eólica e solar, são bastante difundidas em países desenvolvidos como a Alemanha, Espanha e Dinamarca, que utilizam essas energias alternativas para complementar a demanda energética. Percebe-se ainda, um avanço nas tecnologias dos materiais usados tanto em turbinas eólicas como nas placas solares.

No Brasil, investimentos em fontes de energias alternativas vêm crescendo nas últimas décadas, principalmente depois da crise do petróleo na década de 1980. Particularmente em regiões de grande potencial eólico, como o Nordeste e no litoral Sul e Sudeste do Brasil, essa energia pode ser utilizada como uma forma de aproveitamento alternativo. Nos Estados do Nordeste brasileiro, que apresentam escassos recursos hidrelétricos, a geração de energia eólica aliada a solar apresentam-se como alternativas poderosas para o abastecimento energéticos. Vale ressaltar que o potencial eólico brasileiro é avaliado em 272,2 TWh.ano⁻¹, uma apreciável quantidade de energia que não pode ser descartada (AMARANTE, 2001).

Para instalação de turbinas eólicas (aerogeradores) é necessário um estudo preliminar para se obter o potencial eólico local, como a intensidade da velocidade e direção do vento. Além disso, é fundamental conhecer as características da região como topografia, finalidade da energia gerada e a facilidade de acesso.

Percebe-se ainda que na região Norte do Brasil, através de dados observacionais de estações meteorológicas, há potencial para geração de energia eólica (AMARANTE, 2001). Porém, é crucial verificar a frequência dessa intensidade de vento durante o ano, na qual deve ser superior a 3,6 m s⁻¹ para torres de grande porte (GUERRINI, 2001). No

Brasil, a quantidade de estações meteorológicas que monitoram diversas variáveis meteorológicas e a consistência desses dados, como o vento, é mínima, principalmente na região Norte, onde esse monitoramento é crítico o que se torna difícil caracterizar o regime de vento. Então o uso de modelo de mesoescala é fundamental para se obter um indicativo de potencial em regiões, nos quais as medidas de velocidade do vento são inexistentes.

É notável o avanço alcançado pelos modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) nas últimas décadas em todo o mundo. Além da pesquisa extensiva na área de modelagem atmosférica, a melhor organização dos dados observacionais e o aumento da capacidade computacional podem ser colocados como fatores decisivos para este sucesso. Em contrapartida, o progresso tecnológico e o amadurecimento da sociedade impõem novos desafios à meteorologia, particularmente com relação à disponibilidade de recursos energéticos (GONÇALVES, 2011).

Através de simulações numéricas podem-se estimar regiões com possível potencial eólico e em seguida realizar medições com torres anemométricas para monitorar essa variável em locais nos quais as medições são inexistentes ou escassas. A utilização de modelos atmosféricos é uma ferramenta crescente nos últimos anos, justamente para auxiliar na identificação de locais com potencial favorável para instalação de turbinas eólicas. Além disso, serve para previsão de curto prazo para gerenciamento de parque eólicos em funcionamento.

Este trabalho está dividido em 7 capítulos, sendo o capítulo 1 a introdução do trabalho, no qual é relatado aspectos relevantes a importância do estudo de vento, energia renováveis, principalmente, a eólica e, o uso de ferramentas computacionais e estatísticas no estudo desta variável. No Capítulo 2 são descritos os objetivos: Geral e específicos da pesquisa. O capítulo 3 apresenta um levantamento bibliográfico sobre energia eólica e a metodologia utilizada para atingir os objetivos do trabalho. No Capítulo 4 foi detalhada região em estudo, os dados utilizados, em seguida apresentado os métodos utilizado e análise da variabilidade do vento. Já no Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da metodologia. Finalizando, as considerações finais e referências descritas nos capítulos 6 e 7, respectivamente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Utilizar o modelo de mesoescala BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System*) na simulação da variabilidade do vento, para fins de caracterização e avaliação de potencial eólico no Estado do Amapá e parte da região litorânea do Pará (Brasil).

2.2. Objetivos Específicos

- Verificar a representação da simulação numérica da variabilidade de vento em escala horária, diária e mensal no ano de 2009;
- Realizar estudos de casos com o BRAMS para obter indicativos de potencial eólico em regiões que não há registro observacional;
- Gerar curvas de ajuste da distribuição da velocidade do vento através da função de densidade de probabilidade de Weibull;
- Aplicar um refinamento estatístico com Redes Neurais Artificiais (RNAs) e aplicar índices estatísticos para avaliação de resultados e desempenho do BRAMS.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Energia Eólica

Durante os últimos 30 anos, a indústria de turbinas eólicas se transformou em uma indústria de alta tecnologia, onde os principais fabricantes estão localizados em países como a Dinamarca, Alemanha, Estados Unidos, Índia, Holanda e Espanha. Observa-se que as fontes de energias usadas em âmbito mundial para geração de eletricidade, como fósseis na forma de carvão, óleo e gás natural ainda prevalecem. Por outro lado, sabe-se que a energia eólica se tornou uma fonte de energia bem difundida e uma importante peça no mercado energético mundial, com aproximadamente 36,5 bilhões de euros em instalações de turbina em 2008, por exemplo. O GWEC (*Global Wind Energy Council*) previu que em 2013 a capacidade de geração eólica seria de 332 GW, em comparação a 120 GW no fim de 2008. Na Tabela 1 mostra a classificação dos 20 primeiros produtores de energia eólica até o fim de 2011 (PINTO, 2013).

Tabela 1: Países em capacidade de potência instalada.

Posição	País	Capacidade (MW)
-	União Europeia	93.957
1	China	62.733
2	Estados Unidos	46.919
3	Alemanha	26.060
4	Espanha	21.674
5	Índia	16.084
6	França	6.800
7	Itália	6.747
8	Grã-Bretanha	6.540
9	Canadá	5.265
10	Portugal	4.083
11	Dinamarca	3.871
12	Suécia	2.970
13	Japão	2.501
14	Holanda	2.328
15	Austrália	2.224
16	Turquia	1.799
17	Irlanda	1.631
18	Grécia	1.629
19	Polônia	1.616
20	Brasil	1.509
Total Mundial		238.251

Fonte: GWEC Global Wind Statistics (2011).

O Brasil representava em 2011 apenas 0,63% da capacidade dos 20 maiores produtores de energia eólica no mundo. Esta alternativa energética vem crescendo nos últimos anos, mas ainda é baixa comparada a outros países subdesenvolvidos como a Índia e Turquia, por exemplo. Mas, de acordo com o relatório do GWEC em 2012, o Brasil já é o décimo quinto país com o maior potencial eólico instalado no mundo e o maior da América Latina. Ao todo, o parque eólico brasileiro conta com 2,5 GW em projetos. Somente em 2012, o país apresentou o oitavo maior crescimento, com um incremento de 1,0 GW, que ajudou a duplicar o potencial dessa matriz limpa. Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), neste mesmo ano, foram instalados 38 novos parques eólicos, totalizando 108 empreendimentos.

Segundo Carvalho *et al.* (2011a), o Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração hidráulica interna corresponde um montante superior a 74% da oferta e somando as importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que aproximadamente 86% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis. Na Pesquisa de 2011, tendo como ano base 2009, a energia eólica correspondia a 0,4%; sendo que na Pesquisa de 2015, exibindo como base o ano de 2014, esse percentual subiu para 2% (Figura 1). No primeiro semestre de 2015, as usinas eólicas brasileiras aumentaram em 114% a produção de energia, que passou o valor superior de 4% de toda energia ligada no Sistema Integrado de Nacional com 6.183 MW.

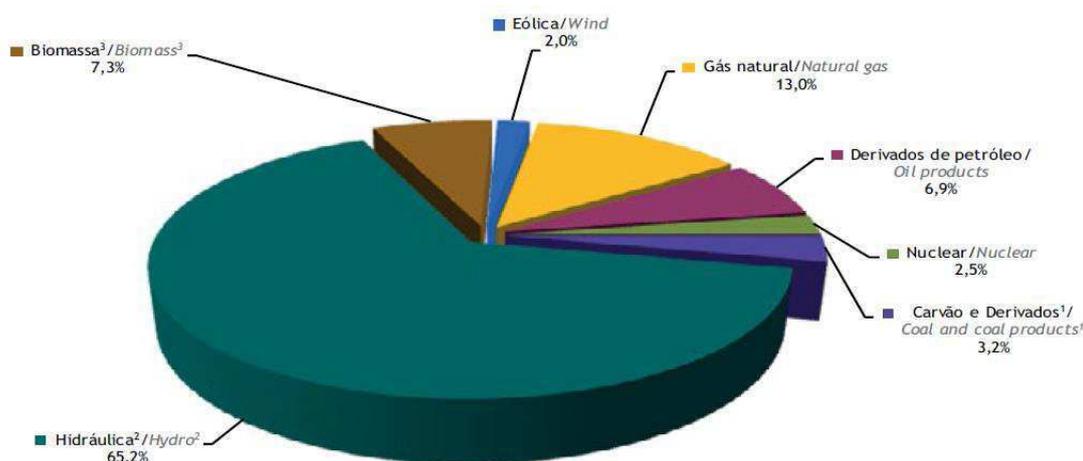


Figura 1: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2014
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2015)

O Nordeste do Brasil se destaca na produção de energia eólica, sendo os principais produtores os Estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (FARRET, 2010). A região

Norte do Brasil, apresenta algumas hidrelétricas que estão interligadas no sistema nacional de energia, sendo que esta energia, de um modo geral é incapaz de atender a todo esse território. Essa região apresenta alta intensidade de vento durante o ano, principalmente, os Estados do Pará e Amapá que estão no litoral do Brasil. Então, a instalação de turbinas eólicas podem ser uma alternativa para suprir a necessidade energética local.

3.2.Simulação numérica aplicado na variabilidade do vento

Os modelos numéricos são ferramentas úteis na avaliação preliminar nas regiões que apresentam ventos favoráveis à geração de energia. Além disso, estes podem realizar a previsão a curto e longo prazo, auxiliando na escolha do melhor momento para a manutenção preventiva realizada nas turbinas eólicas de forma a minimizar os possíveis prejuízos (OLIVEIRA, 2013). Diversos modelos que simulam o vento existem para servir como indicativo de potencial e previsão desta variável. Nesta revisão foram consultados alguns desses modelos utilizados a nível internacional e nacional.

Carvalho et al. (2012b) estudaram o desempenho do modelo de previsão *Weather Research and Forecasting* (WRF) na simulação de vento e foi avaliada sob diferentes opções numéricas para uma área de Portugal, localizada em terreno complexo e caracterizada pelo seu potencial eólico. Como resultados, verificaram que o modelo reproduziu com precisão o regime de ventos locais. A direção do vento foi simulada razoavelmente pelo modelo especialmente em regiões com áreas, predominantemente, abertas.

Santos (2014) também utilizou o modelo WRF para determinar a variabilidade sazonal-interanual e tendência da velocidade do vento e, depois acoplou com o modelo numérico de microescala *Wind Atlas Analysis and Application Program* (WasP) no intuito de obter recursos eólicos em algumas localidades no Nordeste do Brasil. O referido autor utilizou o filtro de Kalman para diminuir significativamente os erros sistemáticos apresentados nas simulações do modelo dinâmico de mesoescala. O resultado gerado foi, que o modelo WRF representou satisfatoriamente o regime de vento verificado através de índices estatísticos, e esse modelo serviu como ferramenta de assimilação de dados adequado para previsão da velocidade do vento.

Chou et al. (2006) mostraram o mapeamento eólico para o Nordeste brasileiro (NEB) a partir de simulações do Modelo ETA em 10 km de resolução horizontal. A média anual e sazonal foram apresentadas para os ventos a 50 m e o fator de forma, k , da

distribuição de Weibull. As regiões de ventos com médias anuais mais intensas e de maiores k se encontraram na divisa dos Estados do Piauí e Ceará, na divisa do Piauí e Pernambuco, em várias áreas na Chapada Diamantina na Bahia, litoral e faixa em pontos altos da Serra da Borborema no Rio Grande do Norte e Pernambuco, litoral e algumas regiões altas no Ceará. Em comparação com o mapeamento eólico, mostraram concordância entre as áreas.

Paiva Neto *et al.* (2004) analisaram os ventos com relação ao potencial de energia sobre o Estado de Santa Catarina e realizou uma avaliação preliminar do uso de modelos numéricos em estimativa de potencial eólico. Utilizaram o modelo regional ETA de agosto/2003 até abril/2004, este modelo foi rodado operacionalmente com espaçamento de grade de 40 km e 38 níveis na vertical. Verificou-se que o modelo ETA apresentou resultados satisfatórios. Algumas regiões no sudeste do Estado, houve uma capacidade de produção anual de quase 3700 GWh. Compararam-se as potências obtidas dos ventos observados com as potências obtidas de ventos previstos pelos modelos, observou-se que as potências derivadas dos modelos apresentavam valores maiores do que os observados.

Pes (2009) desenvolveu uma metodologia para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre o potencial eólico na região Sul do Brasil. Para esse estudo usou-se séries climatológicas observacionais, reanálises ERA40 de 1960 a 2007 e os prognósticos do modelo climático Eta HadCM do CPTEC, para um cenário climático de 2010 até 2100. Após a qualificação das séries de dados, calculou-se o BIAS, RMSE e R para validar modelo Eta HadCM a partir de séries climatológicas observacionais e de reanálises com períodos entre 30 e 50 anos medidos ao nível de 10 metros. O autor empregou o modelo WASP para as regiões de interesse, a fim de obter a distribuição do vento e o potencial eólico ao nível de 50 metros mais detalhado, para uma grade de 40 km. Além disso, foram gerados os campos de vento (ms^{-1}), densidade de potência (Wm^{-2}) e variação em porcentagem do potencial eólico a partir dos dados do modelo Eta HadCM. Os resultados dos campos de vento do modelo mostraram um aumento médio de até 10% no potencial eólico na região de estudo até o ano 2100. Em termos de densidade de potência, as predições médias sazonais do modelo até 2100 mostram que o período de dezembro a janeiro apresenta a maior atenuação na densidade de potência do vento, da ordem de 10 a 40%, enquanto que nos meses de março a maio houve um ganho de 10 a 20% na densidade de potência média.

Poucos são os estudos de simulação numérica de modelos atmosféricos para região Norte do Brasil, acerca da estimativa de potencial eólico. Cruz Segundo (2009)

realizou um levantamento preliminar sobre a viabilidade da geração de energia eólica na Ilha do Marajó (PA), utilizando o modelo ETA com uma grade horizontal de 8 km nos anos de 2004 a 2006. Os resultados indicaram que os ventos mais intensos (superiores a $3,6 \text{ m s}^{-1}$) ocorrem nos meses de setembro a novembro ao longo da região costeira na parte norte-nordeste da Ilha, com valores superiores a 6 m s^{-1} a 50 metros de altura. No período de março, abril e maio houve predominância de ventos fracos tanto na Ilha como na região Costeira, com médias que se limitaram até 3 m s^{-1} . Para essa região verificou-se um potencial eólico médio de 151 Wm^{-2} .

Araújo Junior *et al.* (2014) avaliaram o potencial eólico do Estado do Ceará nas estações chuvosa e seca, em eventos de El Niño e La Niña. Para esse estudo utilizou-se o modelo de área limitada, *Regional Modelling System* (RAMS 6.0), com dados de reanálise do ERA-Interim, para simular a densidade do ar e a velocidade do vento em diferentes níveis atmosféricos. Para avaliação do desempenho do modelo, os dados simulados de velocidade do vento foram comparados com dados observados a 10 m da superfície, oriundas de estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio de gráficos e um conjunto de índices estatísticos. Os resultados apresentados para avaliação do desempenho do modelo mostraram tendência em superestimar os dados observados. Os coeficientes de correlação apresentam índices que variam de moderado ($0,40 < r < 0,69$) a forte ($0,70 < r < 0,89$) nos anos de 1997 e 1998, respectivamente. Através do conjunto de índices estatísticos, ainda foi possível notar que nos semestres mais chuvosos e/ou em período de ocorrência do fenômeno La Niña, o desempenho do modelo é melhor. Com relação à avaliação do potencial eólico, constatou-se que em ocorrência de ENOS positivo há uma condição mais favorável para a geração de energia do que em evento de ENOS na fase fria, principalmente na região litorânea do Estado do Ceará.

Lima *et al.* (2014) avaliaram a capacidade do modelo atmosférico de mesoescala BRAMS para descrever a intensidade e direção do vento em São Gonçalo, Monteiro, Patos, Campina Grande e João Pessoa, no Estado da Paraíba. Os autores constataram que todas as localidades possuem um razoável potencial eólico com destaque em Campina Grande, com bons resultados de densidade de potência, enquanto que São Gonçalo apresentou os menores valores. Também se concluiu que o modelo BRAMS foi capaz de reproduzir satisfatoriamente os ciclos mensais do vento nos regimes considerados, bem como a direção predominante.

Pinto *et al.* (2014) obtiveram resultados do estudo comparativo entre os dados observados em duas torres anemométricas instaladas no Estado de Alagoas, com estimativas de vento produzidas em simulações numéricas realizadas com o modelo de mesoescala BRAMS, com propósito de investigar a influência do refinamento da resolução horizontal e do alinhamento de grades na confiabilidade das estimativas de vento. Os resultados mostraram que houve um aumento na confiabilidade das estimativas da velocidade do vento quando a resolução horizontal passou de 8 para 2 km, mas foi incapaz de detectar mudança significativa entre os resultados simulados com as duas grades.

Búrigo (2014) apresentou a modelagem do escoamento de ar sobre um terreno complexo empregando e comparando os resultados de três modelos comerciais de previsão de potencial eólico: WasP, Meteodyn e WindSim. A finalidade foi identificar a capacidade de previsão das velocidades de vento por meio de cada um dos modelos em um parque eólico localizado na Chapada Diamantina, tendo em vista, que a correta previsão da produção de energia depende de um entendimento adequado e detalhado dos recursos disponíveis. Como resultado, o programa WindSim obteve o menor erro na estimativa da velocidade do vento (-3,7%), quando comparado aos programas WasP e Meteodyn estes valores foram da ordem de -5,1 e -6,5%, respectivamente. O maior erro de aproximação foi obtido pelo programa WasP (11%), quando comparado ao Meteodyn e WindSim, os índices expõem valores de 10,6 e 7,6%, respectivamente.

Morales *et al.* (2012) apresentaram uma metodologia simples para simular o campo de vento de mesoescala utilizando modelagem dinâmica e de dados meteorológicos complementares. As informações meteorológicas foram obtidas a partir do projeto desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa Ambiental (NCEP) e do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica (NCAR), estações meteorológicas, um modelo de elevação digital e um conjunto de dados de uso da terra. Todos estes dados foram inseridos para a simulação de campos de vento em três alturas diferentes (20, 30 e 40 m) através do modelo CALMET, os quais foram realizadas simulações para uma área correspondente à região centro-sul do Chile, conhecido como a região Maule. Os resultados mostram que a resolução espacial simulada (1×1 km) no modelo CALMET produz bons resultados, obtendo-se um valor de Raiz Média do Erro Padrão (RMSE) perto de 1 m s^{-1} para todas as alturas simuladas, com maior RMSE a 40 m ($1,15 \text{ m s}^{-1}$) e um erro médio quadrático menor a 20 m ($1,10 \text{ m s}^{-1}$). A direção dos campos de vento simulados também foi avaliada, obtendo-se um RMSE próximo a 31° a 40 m.

As fontes de energia renováveis, como a eólica, estão sendo cada vez mais aproveitada para geração de eletricidade. No entanto, essa energia é suscetível às mudanças climáticas que podem beneficiar ou afetar negativamente a evolução energética proveniente dos ventos, dependendo da região em questão. Koletsis *et al.* (2016) estudaram em áreas marítimas do Mar Mediterrâneo e uma grande parte do Mar Negro, com um conjunto de seis simulações de modelos climáticos regionais e dois períodos futuros do projeto Ensembles. Os autores verificaram que houve uma diminuição na velocidade média do vento e do potencial eólico sobre o Mar Mediterrâneo central, com as exceções sobre o Mar Egeu, Mar Alboran e Golfo do Leão, que indicaram aumento e sazonalidade.

3.3. Estudos estatísticos aplicados na variabilidade do vento

Ferramentas estatísticas são usadas com frequência na busca de avaliar o comportamento do vento com finalidade de estimar o potencial eólico em áreas que pretende instalar turbinas eólicas.

Sobral (2009) fez o levantamento e o tratamento estatístico de dados de vento do Estado de Sergipe no NEB. O tratamento estatístico para determinação do comportamento dos ventos nos municípios pesquisados foi o cálculo de médias, variâncias, distribuição de frequências e da função de distribuição de probabilidade Rayleigh, caso particular da distribuição Weibull, amplamente difundida em estudos de potencial eólico. Estas análises permitiram extrair todas as informações a partir dos dados brutos obtidos das estações e foram simuladas no *software* Statistica 7.0. No período diurno foram registradas as maiores velocidades médias do vento compreendido entre 12:00 horas e 18:00 horas (local) para todos os municípios em questão.

A função de densidade de probabilidade (FDP) da velocidade do vento é importante em aplicações de energia eólica. Estudos têm sido publicados na literatura científica, relacionados com as energias renováveis que propõem a utilização de uma variedade de FDPs para descrever distribuições de frequência da velocidade do vento. Carta *et al.* (2009) fizeram uma revisão desses FDPs na descrição dos diferentes regimes de vento (altas frequências de ventos nulos, bimodais, regimes bitangencial unimodal, etc.) foram analisadas para uma ampla correlação de modelos. Com o objetivo de catalogar as várias FDPs, foram realizadas comparações entre elas e os dois parâmetros de distribuição de Weibull (FDPW), que tem sido a distribuição mais amplamente utilizada e aceita na literatura especializada sobre energia eólica e outras fontes

renováveis de energia. Entre as várias conclusões obtidas, os autores afirmaram que a FDPW apresenta uma série de vantagens em relação as outras FDPs analisadas. No entanto, a FDPW é incapaz de representar todos os regimes de vento encontrados na natureza, tais como, por exemplo, aqueles com elevadas percentagens de velocidades de vento nulas, distribuições bimodais, etc.

Além da função de densidade de probabilidade derivado com o princípio da entropia máxima (MEP), vários tipos de funções de probabilidade de mistura já foram aplicadas para estimar o potencial de energia eólica, tal como a função bimodal Weibull (WW) e a função Normal Truncado Weibull (NW). Chang (2011) usou duas outras funções da mistura pela primeira vez, para investigar o campo de energia eólica, ou seja, a mistura função Gamma-Weibull (GW) e mistura função Normal Truncado (NN). Estas funções foram analisadas e comparadas em conjunto com a função de Weibull convencional. Os resultados apontam, se tratando em regime de vento, que todas as funções de mistura e da função Entropia Máxima descreve características de vento melhor do que a função de Weibull convencional. Para distribuições de velocidade do vento, a proposta de GW descreve melhor de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov seguido pelos FDPs NW e WW. Enquanto que a FDP NN apresenta pior distribuição. Quanto à densidade de energia eólica, as FDPs NN e GW obteve o melhor desempenho, seguido pelas WW e NW. Cabe ressaltar que a GW pode ser uma alternativa útil para a função Weibull convencional na estimativa de potencial de energia eólica.

O conhecimento do potencial eólico é um passo crucial no planejamento de um projeto de energia eólica de uma região, sendo necessário geralmente em média 3 anos de investigação para verificar a viabilidade de instalação de uma usina eólica. Em vista disso, Islam *et al.* (2011), com a ajuda da FDP de Weibull, avaliaram a potencialidade da energia eólica em Kudat e Labuan, nos anos de 2006 a 2008, na Malásia. O *software* WRPLOT foi usado para mostrar a direção e a velocidade do vento. As médias anuais das velocidades do vento foram da ordem de $4,76 \text{ m s}^{-1}$ em Kudat e $3,39 \text{ m s}^{-1}$ em Labuan. Os maiores valores anuais do parâmetro de Weibull forma (k) e parâmetro de escala (c) foram 1,86 e $3,81 \text{ m s}^{-1}$ em Kudat e Labuan, respectivamente. A densidade máxima de energia eólica encontrada foi de $67,40 \text{ Wm}^{-2}$ em Kudat no ano de 2008. Viu-se ainda que para a velocidade do vento superior a 2 ms^{-1} , o desvio máximo entre a observada e distribuição de frequência de Weibull ficou em torno de 5%. As direções do vento mais provável foram de 190° e 269° em Kudat e Labuan, respectivamente, ao longo dos anos de estudo. A partir deste estudo, os autores concluíram que estes sítios são inadequados para a

produção de energia eólica em grande escala. No entanto, a energia eólica em pequena escala pode ser gerada na altura da turbina de 100 m.

Akpinar & Akpinar (2009) fizeram uma análise das características do vento de quatro estações meteorológicas (Elazig, Elazig-Maden, Elazig-Keban e Elazig-Agin) durante um período de 8 anos (1998-2005). As distribuições probabilísticas de velocidade do vento são uma parte crítica de informações necessárias para a avaliação do potencial de energia eólica, e têm sido convencionalmente descritos por várias correlações empíricas. Entre essas correlações, há a distribuição de Weibull e o princípio de Entropia Máxima. No entanto, este estudo fez uma abordagem teórica de distribuições de frequência de velocidade do vento observadas na região, por meio de aplicativos de *Singly*, da distribuição da mistura normal Weibull, e uma distribuição de Weibull de duas componentes de mistura, que oferecem menos erros relativos na determinação da densidade de potência eólica média anual. Os parâmetros das distribuições foram estimados usando o método dos mínimos quadrados e *software* Statistica. Com base nos resultados obtidos, concluíram que as duas funções de mistura aqui propostas, fornecem modelos muito flexíveis para estudos de velocidade do vento.

Rocha *et al.* (2012) analisaram e compararam 7 (sete) métodos numéricos para a avaliação e na determinação dos parâmetros para a distribuição Weibull, usando dados de velocidade do vento recolhidos nas cidades de Camocim e Paracuru, no Estado do Ceará, na região do NEB, no período de agosto de 2004 a abril de 2006, obtido pelo Departamento de Infraestrutura do Estado do Ceará. Usando os métodos de análise de variância, RMSE (raiz quadrada do erro médio) e qui-quadrado para comparar os métodos propostos, este estudo teve por objetivo determinar quais os métodos foram eficazes na determinação de parâmetros da distribuição Weibull para os dados disponíveis, em uma tentativa de estabelecer critérios aceitáveis a uma melhor utilização da energia eólica no Ceará, que é um destaque nacional no uso de fontes renováveis para a geração de eletricidade. O método de Energia Equivalente foi o método mais eficiente para a determinação os parâmetros k e c para acomodar as curvas de distribuição de Weibull.

Lima *et al.* (2010) aplicaram análise de componentes principais e agrupamento em 28 estações distribuídas no Nordeste do Brasil (NEB), com a finalidade de identificar locais com regime de ventos favoráveis a produção de energia eólica. Os resultados permitiram concluir que as áreas serranas e litorâneas são as mais favoráveis.

Nos últimos 10 anos, novas técnicas estatísticas, além de utilizadas para caracterizar o padrão e regime de vento em diversas regiões do mundo para fins de

projeção potencial eólico, está sendo usadas para refinamento estatísticos de modelo atmosféricos de mesoescala para ajustar e validar resultados e previsão de diversas variáveis meteorológicas. Entre as técnicas destacam-se as Redes Neurais Artificiais (RNAs).

Para previsão de curto prazo Guarnieri (2006) comparou RNAs e regressão linear múltiplas para estimativas de radiação solar a partir do modelo ETA. Seus resultados demonstraram que há um ganho significativo em relação às saídas do modelo e, que a RNA apresentou melhores resultados, sendo que o desempenho das regressões e da RNA foram similares.

No campo de estimativas de vento em superfície, existe uma expectativa de que a capacidade de representar processos não-lineares das RNAs seja determinante, uma vez que estes, exercem forte influência em fenômenos micrometeorológicos.

No Brasil, Dalmaz (2007) utilizou RNAs no refinamento de previsões de vento para algumas estações no Estado de Santa Catarina, no qual obteve RMSE entre 0,7 a 2,2 m s⁻¹. O fato de ter utilizado como previsores apenas vento e temperatura do ar com resolução temporal de 6 horas do modelo Eta/CPTEC 40x40km, pode ter limitado o desempenho da RNA.

Mendes & Marengo (2009) empregaram uma rede tipo MLP (*perceptrons* de múltipla camada) para o refinamento das saídas de precipitação de modelos climáticos do IPCC na região amazônica, em que os resultados foram bem superiores em relação a modelos autoregressivos.

Gonçalves (2011) desenvolveu um modelo de refinamento estatístico para previsão de vento a curto-prazo para a região Nordeste do Brasil, com o uso de regressões lineares múltiplas e redes neurais artificiais alimentadas por saídas do modelo de previsão do tempo ETA, utilizado pelo CPTEC/INPE. Tanto o refinamento por regressões lineares múltiplas quanto por redes neurais artificiais, se mostraram superiores em relação às saídas do ETA. A técnica de redes neurais se mostra ligeiramente superior às regressões quando comparada aos valores observados para 8 estações anemométricas da região.

Lima *et al.*, (2016) usaram uma metodologia para produzir previsões de radiação solar para a região do NEB, utilizando modelo WRF. Em seguida, as previsões de irradiância derivado do modelo foram refinados usando RNAs. As variáveis do WRF representaram as condições atmosféricas previstas de saída, as quais foram utilizadas como preditores (variáveis) para RNAs. Vários preditores foram testados para ajustar e simular as RNAs e a melhor arquitetura foi com 10 variáveis, o qual houve uma melhoria

significativa das previsões desse modelo quando ajustado pela RNAs, produziram as menores BIAS, RMSE e um aumento no coeficiente de correlação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1.Região de Estudo

A região em estudo compreende uma área de 862.470 km² abrangendo dois Estados brasileiros (Amapá e uma parte litorânea do Pará), como também a foz do rio Amazonas e a Ilha do Marajó, como pode-se observar na Figura 2.

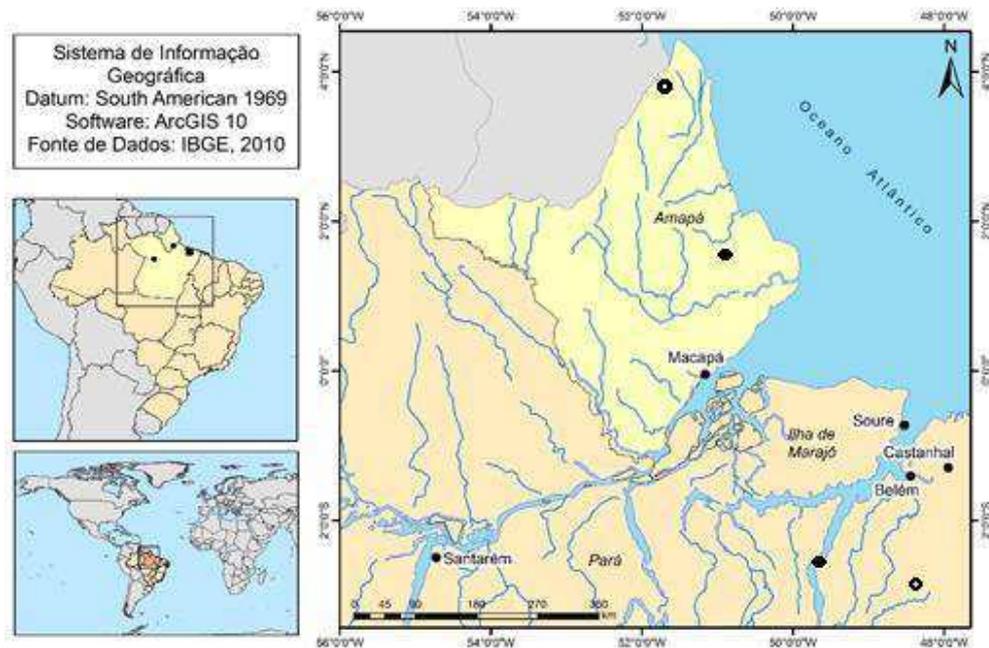


Figura 2. Área em estudo.

O vento é influenciado pela brisa fluvial devido ao contraste de superfície (continente e rio) que torna a região propícia para estudos de potencial eólico. Além disso, setor Oeste do Estado do Amapá apresenta um terreno elevado, em torno de 550 metros, o que favorece a intensificação do vento (Figura 3).

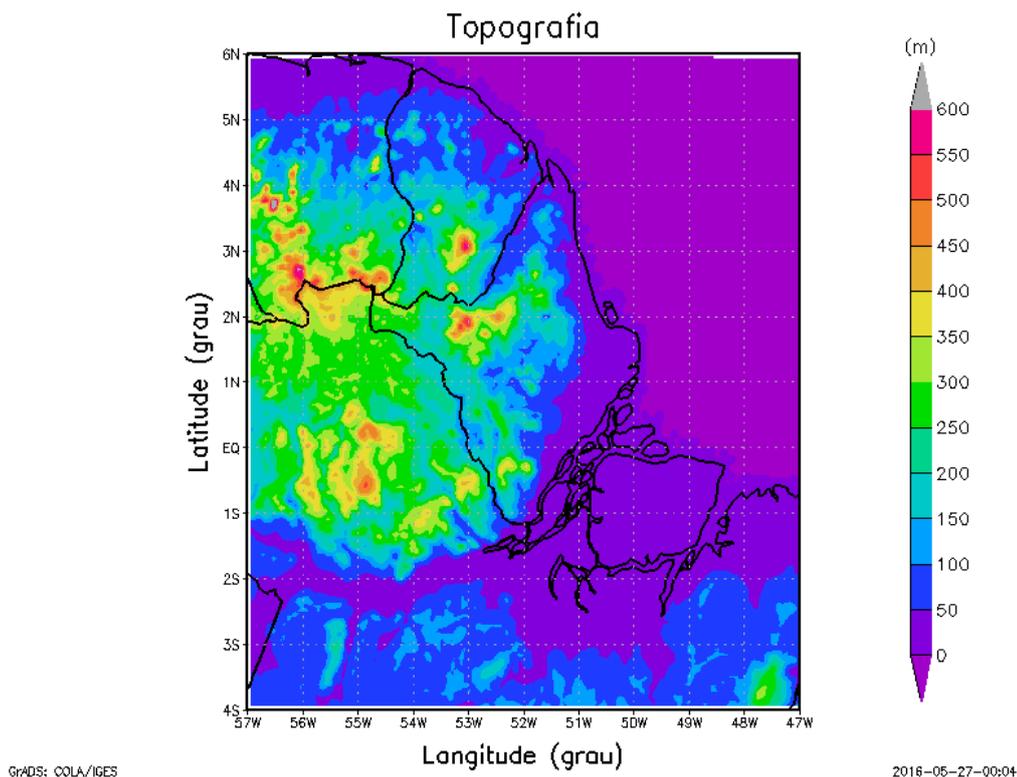


Figura 3: Topografia da área em estudo.

Na região norte também são observados os Jatos de Baixos Níveis (JBN), os quais têm sua formação associada à circulação de brisa marítima, ao longo da costa atlântica da Amazônia, a qual intensifica, no período da tarde, no regime do vento ao longo da costa atlântica. Entretanto, esse centro de máxima velocidade do vento penetra para o interior do continente (COHEN *et al.*, 2006).

4.2. Dados Utilizados

4.2.1. Observados

As principais séries de dados de vento utilizada neste estudo consistem em registros horários de estações automáticas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), exceto Macapá da REDEMET/METAR.

Foram utilizados dados observados do ano de 2009 das estações de Oiapoque, Tartarugalzinho, Macapá, Soure, Belém, Castanhal, Tomé Açu e Cameté por estas apresentarem melhor consistência de dados neste período. No total foram utilizados dados de 8 estações meteorológicas como podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Estações meteorológicas da área em estudo.

Estação	Estado	Origem do Dado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Oiapoque	AP	INMET	3,81°	-51,86°	15,00
Tartarugalzinho	AP	INMET	1,49°	-50,91°	21,00
Macapá	AP	Aeroporto/METAR	-0,05°	-51,06°	17,00
Soure	PA	INMET	-0,73°	-48,52°	13,00
Belém	PA	INMET	-1,41°	-48,44°	21,00
Tomé Açu	PA	INMET	-2,59°	-48,36°	43,00
Castanhal	PA	INMET	-1,30°	-47,94°	47,00
Cametá	PA	INMET	-2,24°	-49,50°	10,00

Cada estação obteve, pelo menos, um critério de escolha: Macapá, Belém e Castanhal estão em regiões litorâneas, que torna a local com possível potencial eólico, assim como no NEB. Soure, também está em uma região litorânea e como pode observar, está isolada na Ilha do Marajó e está desagregada ao sistema energético nacional, que deixa o local sem energia convencional, sendo utilizados somente geradores a diesel. Enquanto que Santarém, apresenta regiões de altitudes elevadas que favorecem a intensificação dos ventos, sendo possível a instalação de turbinas eólicas nessa região.

Os dados de vento foram utilizados para gerar a distribuição de frequência de Weibull, histograma de frequência de velocidade do vento, variabilidade para comparação com os dados simulados do BRAMS.

4.2.2. Simulação Numérica

Os dados de entrada no modelo BRAMS para geração dos “DPs” foram Geopotencial, Temperatura do ar, Vento zonal “u”, Vento meridional “v” e Umidade Relativa do ERA Interim (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/>). A resolução dos dados de entrada foram de 0,125° (cerca de 14km). Além disso, utilizaram-se dados semanais do CPTEC/INPE de temperatura da superfície de mar (http://www.cptec.inpe.br/brams/in_data_gl_weekly_sst.shtml), umidade de solo (http://www.cptec.inpe.br/brams/in_data_soil_moisture.shtml), topografia com resolução de 1 km (<ftp://itatim.cptec.inpe.br/pub/brams/topo1km/topo1km.tar.gz>), de composição de vegetação do USGS (Global) com o mapa do PROVEG/INPE (região Amazônica) com resolução de 1 km (ftp://itatim.cptec.inpe.br/pub/brams/GL_OGE_INPE/GL_OGE_INPE.tar.gz), solo (textura) do Mapa global do FAO com resolução de aproximadamente 10 km

(ftp://itatim.cptec.inpe.br/pub/brams/GL_FAO_INPE/GL_FAO_INPE.tar.gzSST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do MODIS com Resolução de 1 km (http://www.cptec.inpe.br/brams/in_data_ndvi_modis.shtml).

4.3. Estimativa do Potencial Eólico

O vento é o ar em movimento. O que gera tal movimento é a circulação das camadas de ar provocada pelo aquecimento desigual do planeta. Sendo assim, o ar em movimento transforma energia mecânica, na qual é a energia cinética desse movimento em energia eólica. Sabe-se que o vento é uma variável complexa de se determinar, que existe uma variação constante tanto na sua direção quanto em sua velocidade.

Calcular esta energia eólica é uma tarefa complicada devido a variabilidade quase que instantânea do vento, mas através de algumas aproximações e condições ideais pode-se obter, por exemplo, a energia e potência eólica. Usando como modelo o esquema da Figura 4, tem-se:

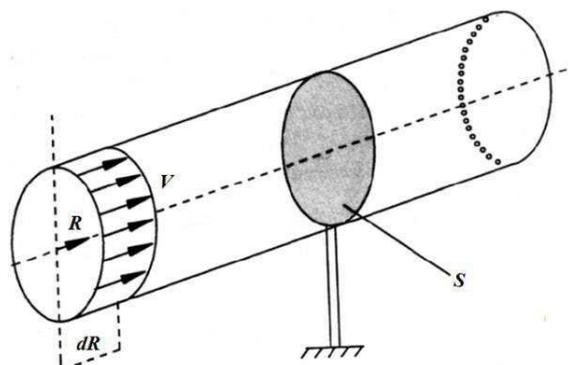


Figura 4: Esquema simplificado para calcular a energia eólica.
Fonte: Marques (2004).

Toda a quantidade de ar que se desloca a uma dada velocidade V cruza perpendicularmente o cilindro da Figura 4. Considera-se que toda massa de ar que ultrapassa o cilindro, é simbolizada por m . A energia cinética de um corpo (no caso, de uma massa de ar) é:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Na prática, essa equação define que a energia cinética aumenta com a velocidade do vento. Para obter a potência do vento é preciso calcular a taxa de variação da função de energia cinética.

$$P = \frac{\partial K}{\partial t} \quad (2)$$

Para tornar a equação da energia cinética mais usual, substitui-se m por $\rho A v R$, resultando em:

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

No entanto, apenas parte dessa potência disponível pode ser aproveitada por uma turbina eólica. A potência máxima que de fato pode ser extraída do vento é aquela obtida quando o mesmo deixa as pás do rotor 1/3 da sua velocidade original, ou velocidade nominal. Segundo Carvalho (2003), o aproveitamento fica em torno de 59%. Esse valor é chamado de Potência de Bertz, dada por:

$$P_{bertz} = (0,59) \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (4)$$

Esta é uma equação que dá uma boa análise do fluxo de potência eólica, e pode-se também interpretá-la de outro modo, como a quantidade de energia por unidade área:

$$\frac{P}{A} = (0,59) \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (5)$$

Em que $\frac{P}{A}$ é a densidade de Potência (Wm^{-2}) P que o vento disponibiliza em uma dada área A , isso tudo, obviamente, dependendo da massa específica do ar e da velocidade do vento. P é a potência disponível do vento (W), m é o fluxo de massa de ar (kg s^{-1}).

4.4. Modelo BRAMS

O BRAMS foi resultado de um projeto de pesquisa do *Atmospheric, Meteorological, and Environmental Technologies* (ATMET), do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME/USP), do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG/ USP) e do Centro de Previsão de Tempo e

Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) para a formação de uma versão do RAMS para ser usado em produção por centros operacionais brasileiros e em modo de pesquisa pelas universidades brasileiras (FAZENDA *et al.*, 2007). Este projeto rendeu três versões do BRAMS, as demais foram desenvolvidas pelo CPTEC/INPE.

Neste estudo optou-se em utilizar a versão mais recente do BRAMS (versão 5.2).

A avaliação da versão 5.2 do modelo BRAMS do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução de 5 quilômetros para a América do Sul, mostra que seu desempenho é bastante superior à versão anterior, de 20 quilômetros de resolução, e se equipara ao do modelo *Global Forecast System* (GFS), do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), principal centro de previsão do tempo dos Estados Unidos. Segundo Freitas (2014), responsável pelo grupo de desenvolvimento do modelo, a avaliação realizada pela Divisão de Operações do CPTEC confirma ser este o melhor modelo operacional do instituto para a América do Sul. O bom desempenho do modelo só foi possível graças à implantação do novo supercomputador, oTupã, no final de 2010, que permitiu avanços de resolução e, conseqüentemente, ajustes e melhorias em parametrizações físicas relacionadas, por exemplo, à convecção, interação com a superfície e turbulência. Também foi possível aperfeiçoar o esquema de transporte de vapor de água, nuvens, gases e aerossóis, já que o modelo BRAMS agrega funcionalidades que permitem também prever a qualidade do ar.

O BRAMS é um modelo de mesoescala e inclui no seu código várias opções de parametrizações físicas, dentre elas: radiação de onda longa e de onda curta (CHEN & COTTON, 1983); de turbulência na camada limite planetária (MELLOR & YAMADA, 1982); microfísica de nuvens, que segue o esquema descrito por WALKO *et al.* (1995); de convecção rasa, desenvolvida por Souza (1999); e, convecção profunda do tipo KUO (1974), modificada por Molinari (1985) e do tipo Grell (GRELL e DÉVÉNYI, 2002).

O código do modelo contém uma variedade de estruturas e formas que permitem resoluções menores que um metro a centenas de quilômetros, domínios de poucos quilômetros ao globo inteiro e, ainda, um conjunto de opções físicas para sua implementação (COTTON *et al.*, 2003). Para a escolha dos esquemas de parametrização foram usados artigos para região em estudo, os quais fizeram testes de sensibilidade para as parametrizações (MOREIRA, 2013; CUNHA *et al.*, 2014;). Na Tabela 3, são apresentadas as parametrizações utilizadas:

Tabela 3: Principais esquemas de parametrizações utilizadas no experimento.

Parametrização	Esquema
Microfísica de nuvens	Walko <i>et al.</i> (1995)
Convecção de Cumulus	Convecção rasa: Souza (1999) Conv. profunda: Grell & Dévényi (2002)
Radiação de Onda Curta	Carma (Toon <i>et al.</i> , 1989)
Radiação de Onda Longa	Carma (Toon <i>et al.</i> , 1989)
Camada Limite Planetária	Mellor & Yamada (1982)

Na simulação utilizou-se uma grade de 5 km, com 222 pontos em X e Y, 38 níveis em Z. O período simulado foi 8761 horas as 00Z de 01 de janeiro de 2009 a 00Z de 01 de janeiro de 2010. Para mais detalhes, outros parâmetros utilizados no Modelo estão disponíveis no Anexo I, que mostra o RAMSIN (ajuste da fase de processamento e pós-processamento da simulação).

4.5. Análise Estatística

O uso de métodos ou técnicas estatísticas são bastantes utilizadas no estudo do regime de vento e avaliação de seu potencial eólico. Além disso, é possível utilizar a Estatística para comparar dados simulados com observados.

4.5.1. Índices Estatísticos

Uma forma utilizada para avaliar o desempenho de Modelos é através de verificação de índices estatísticos que mostram o quanto o modelo representa os dados simulados em relação aos observados. No caso deste estudo é necessário, justamente, pela grande quantidade de dados e escala de tempo, no qual fica pouco visível a comparação direta. Foram utilizados 4 índices estatísticos: O Erro Sistemático Médio (BIAS), o Erro Quadrático Médio, Coeficiente de Correlação (Pearson) e o Coeficiente de Determinação.

a) BIAS

Este Índice é dado por:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i) \quad (6)$$

Observa-se que este índice quanto mais próximo de zero, maior a semelhança entre os resultados estimados/simulados E_i e medidos/observados O_i de um número N de amostras. Caso o valor seja negativo, indica que o modelo em geral subestimou os dados observados, caso contrário, o modelo superestimou.

b) Erro Quadrático Médio (RMSE)

Este Índice é dado por:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Este Índice indica, também, que quanto mais próximo de zero, melhor é o desempenho do modelo na comparação dos resultados.

c) Índice de Correlação (r)

Este Índice é dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (8)$$

Em que: r é o coeficiente de correlação de Pearson (r), adimensional; E_1, E_2, \dots, E_n e O_1, O_2, \dots, O_n são os valores estimados e medidos de ambas as variáveis, respectivamente. Uma classificação detalhada pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Critérios de interpretação do índice de desempenho (r).

Índice de Correlação (r)	Classificação
0,00 – 0,19	Correlação bem Fraca
0,20 - 0,39	Correlação Fraca
0,40 - 0,69	Correlação Moderada
0,70 - 0,89	Correlação Forte
0,90 - 1,00	Correlação Muito Forte

Fonte: Devore, 2006.

Os valores de correlação não significam que as variáveis envolvidas estão realmente correlacionadas (LIMA, 2012).

d) Coeficiente de Determinação (R^2)

Este Índice é dado por:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

Este índice é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a Regressão linear, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados.

4.5.2. Refinamento Estatístico por RNAs

a) Desenvolvimento da RNA

Utilizou-se as RNAs do tipo MLP (*multiple layer perceptrons*). Seguindo Guarnieri (2006), a implementação computacional das RNAs foi realizada utilizando um conjunto de ferramentas do software MATLAB®, chamado *Neural Networks Toolbox* (Demuth *et al.*, 2016), que permite a construção e treinamento de RNAs com recursos recentes da área de neurocomputação.

b) Estrutura da RNA e Seleção dos Preditores

Criou-se uma estrutura de RNAs com 3 camadas: Camada de Entrada, Camada Oculta (intermediária) e Camada de saída (alvo). Na camada de Entrada foram utilizadas 7 variáveis, sendo 5 de saída do BRAMS como Temperatura do ar, Vento Zonal (u), Vento Meridional (v), Umidade relativa e Pressão Local (cada estação). Além disso, 2 outras variáveis foram consideradas esta camada: Dia e Hora (Figura 5).

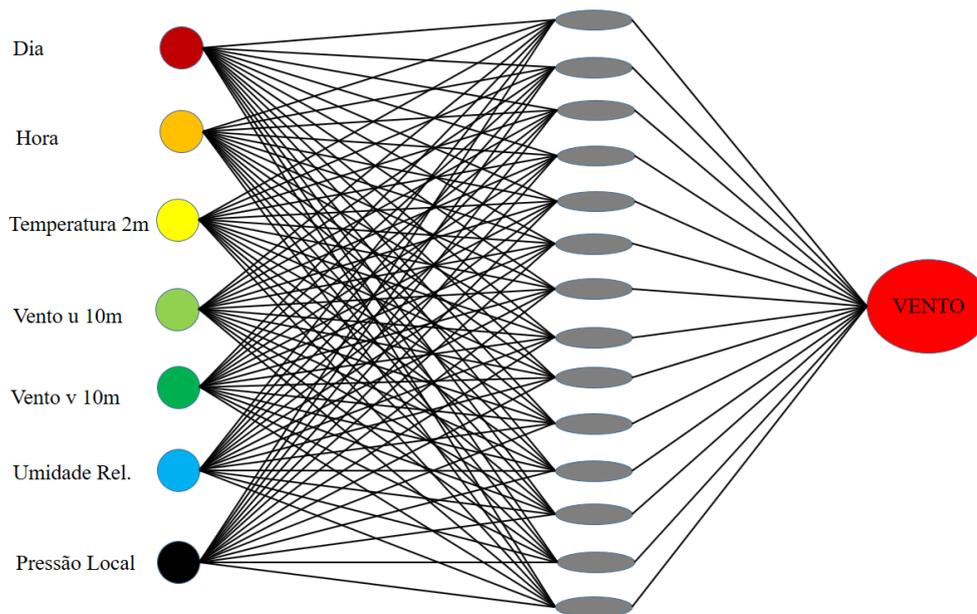


Figura 5: Representação esquemática da RNA utilizada no estudo.

Segundo Lima (2015) *apud* Guarnieri (2006), apesar de tratar-se de uma ferramenta estatística que considera relações empíricas entre as variáveis meteorológicas, as RNAs têm-se apresentado como um método alternativo com boa destreza frente a problemas não lineares ou de natureza estocástica, como os complexos processos físicos que influenciam na disponibilidade de energia solar e eólica. Na camada Oculta foram usados 14 neurônios, equivalente ao dobro de variáveis de Entrada. A literatura menciona que a utilização da função sigmoidais nas camadas ocultas é o que proporciona a capacidade de não linearidade (HAYKIN, 2001). Na camada de Saída é o alvo que se procura representar: A Intensidade do Vento simulado ajustado pela RNA.

c) Treinamento da RNA

Para o treinamento foi usado o método posposto por Reed (1993), em que os dados foram divididos em conjuntos de treinamento, validação e teste. Para evitar o sobre ajuste, a proporção definida foi de 60% (cerca de 5.257 horas) dos dados para treinamento, 25% (2.190 horas) dos dados para a validação e 15% (1314 horas) dos dados para o teste.

Assim como Lima (2015), foram efetuados 100 treinamentos pelo algoritmo de retropropagação de Levenberg-Marquardt para cada subconjunto de cada estação, e assim calculados os erros quadráticos médios (RMSE) e coeficientes de correlação R entre as saídas das RNAs e seu respectivo alvo no conjunto de teste. Os treinamentos foram realizados de forma interativa, os quais os conjuntos de treinamento, validação e teste eram divididos aleatoriamente respeitando a proporção anteriormente mencionada

(60%, 25% e 15% para treinamento, validação e teste, respectivamente). É importante mencionar que para o ajuste de qualquer modelo estatístico é comum realizar o ajuste e o teste do modelo com conjuntos de dados independentes.

4.5.3. Distribuição de Probabilidade de Weibull

A função que é frequentemente usada como ponto de partida para caracterizar as estatísticas de velocidade do vento é chamada função de densidade de probabilidade de Weibull, dada por:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (10)$$

Em que v é a velocidade do vento (ms^{-1}), k é o fator de forma (m s^{-1}) e c é o fator de escala (adimensional).

Os parâmetros k e c são dados em função da velocidade média e do desvio padrão. Pode-se calcular o fator de forma k através da seguinte equação:

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{v_m}\right)^{-0,1086} \quad (11)$$

Em que σ_v é o desvio padrão e v_m é a velocidade média.

E, para calcular o fator de escalar c , usa-se a seguinte equação:

$$c = v_m \left(0,568 + \frac{0,433}{k}\right)^{1/k} \quad (12)$$

Estas equações são as mais utilizadas para o cálculo dessas constantes, sendo que há outras equações que são aproximações de condições ideais.

4.6. Fluxograma da pesquisa

Na Figura 6 é esquematizado, resumidamente, as etapas de execução da pesquisa. Primeiramente, usaram-se dados e reanálise do modelo global do ECMWF e dados do modelo Global do CPTEC, no qual foram utilizados os resultados como condições iniciais no BRAMS. Em seguida, após realizado a simulação e verificados as saídas no Pós-processamento, houve uma comparação direta com os dados observados. Com propósito de validar e ajustar a simulação do BRAMS, aplicou-se RNA para realizar um refinamento estatístico e, posteriormente, comparar com os dados medidos.

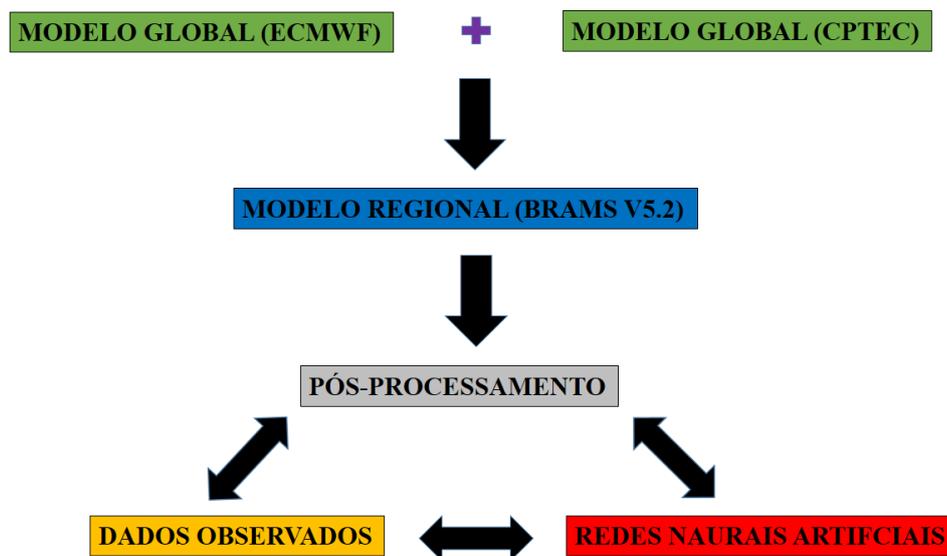


Figura 6: Esquematização simplificada do processo elaboração dos resultados.

A partir desse processo, foram realizados estudos comparativos dos dados medidos (observados), simulados pelo BRAMS e Ajustados pela RNA. Aplicou-se índices estatísticos para verificar a representatividade do Modelo. Além disso, gerou-se distribuições de probabilidade com as três bases de dados (medidos, BRAMS e RNA) e gerou-se mapas para fins de avaliação de potencial eólica na área em estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Avaliação da Variabilidade da Velocidade do Vento

5.1.1. Análise Horária

Nesse tópico são observados os resultados do tratamento dos dados medidos que serão utilizados nas análises pontuais de cada estação meteorológica a 10 metros de altura. Vale lembrar, que as séries temporais dos dados medidos correspondem ao ano de 2009. A base desses dados apresentou séries incompletas em todas as estações, tanto por falhas na aquisição de dados quanto por carência de manutenção.

Calculou-se a média horária das variáveis aqui estudadas, e destaca-se, ausência de valores nos horários com menos de 60% dos dados registrados (inferior a 219 dos 365 dias do ano para cada hora do dia), ver Figura 7. Observam-se dados incompletos nas estações de Belém (PA) das 7 às 8 horas (UTC), Castanhal (PA) das 3 às 9 horas, Tomé Açu (PA), com maior quantidade de falhas ou ausência de dados, nos horários de 6 às 10 horas e das 22 às 23 horas. As demais estações estão com dados superiores ao critério adotado (60%), que permite uma análise consistente. Portanto, as estações analisadas em escala horária foram Oiapoque (AP), Tartarugalzinho (AP), Macapá (AP), Soure (PA) e Cametá (PA).

Ao analisar as variáveis da estação de Oiapoque (AP), notou-se que a média dos valores mínimos foi de $0,49 \text{ m s}^{-1}$ nos horários de 1 às 10 horas; todavia, foi no horário das 18 horas que se verificou os maiores registros ($2,01 \text{ m s}^{-1}$). Observou-se que há variação significativa de 0 às 11 horas. E constatou-se ainda, média diária de $2,07 \text{ m s}^{-1}$. Para Tartarugalzinho, a média dos valores mínimos horários foram da ordem de $0,88 \text{ m s}^{-1}$, nos horários de 2 às 3 horas e; a média máxima de $3,77 \text{ m s}^{-1}$ das 17 às 19 horas. Em Macapá a média horária mínima foi de $1,71 \text{ m s}^{-1}$ (6 horas); enquanto que a média máxima atingiu picos de $4,69 \text{ m s}^{-1}$ (16 horas). Observou-se ainda que há uma variabilidade horária quando comparada com as demais estações do mesmo Estado (Oiapoque e Tartarugalzinho). Se descobriu, que na maior parte do dia os valores são superiores a $3,00 \text{ m s}^{-1}$, concentrados nos horários de 9 às 22 horas, e a média diária encontrada ficou em torno de $3,23 \text{ m s}^{-1}$.

A estação de Soure (PA) a média dos valores mínimos horários observados foi cerca $2,00 \text{ m s}^{-1}$ (7 às 9 horas) e a média máxima de $3,30 \text{ m s}^{-1}$ (17 e 18 horas). Observa-se que há uma variação de, aproximadamente, $1,50 \text{ m/s}$ entre o valor mínimo e máximo. Percebeu-se que os valores de velocidade são superiores a $3,00 \text{ m s}^{-1}$ nos horários de 13 às 19 horas e a média diária registrada foi de $2,61 \text{ m s}^{-1}$. Em Cametá, a média dos valores

mínimos horários observados foi de $1,22 \text{ m s}^{-1}$ (às 2 horas) e a média máxima encontrada foi de $2,30 \text{ m s}^{-1}$ (13 às 16 horas). Constatou-se que os registros máximos se limitaram a $2,00 \text{ m s}^{-1}$, nos horários de 0 às 11 horas e das 20 às 23 horas. Apenas nos horários das 12 às 19 horas os registros ficaram superiores a esse máximo, o que representou $1/3$ de todo o dia analisado. Para o dia, a média encontrada ficou em torno de $1,70 \text{ m s}^{-1}$.

Como pôde se observar, em todas as estações analisadas a intensidade do vento foi maior no período diurno. Isso se deve ao efeito da brisa marítima, a qual é a responsável pela variabilidade do vento nessa escala de tempo durante o dia. Enquanto que os Ventos Alísios intensificam o vento em grande escala na região. Além disso, a topografia favorece a intensificação nos locais elevados, assim como a vegetação que reduz a rugosidade como pode ser contemplado na estação de Tartarugalzinho (Figura 8).

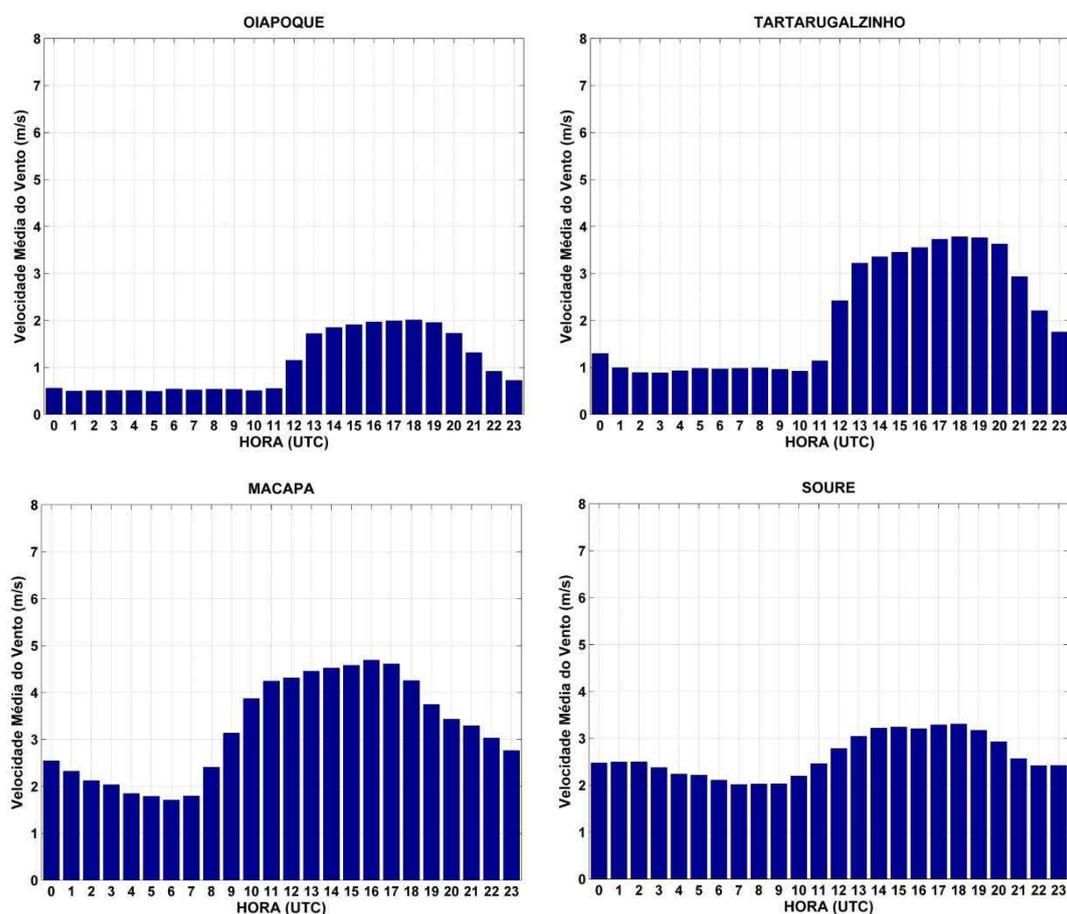


Figura 7: Média horária da velocidade do vento na altura de 10 metros.
Continuação

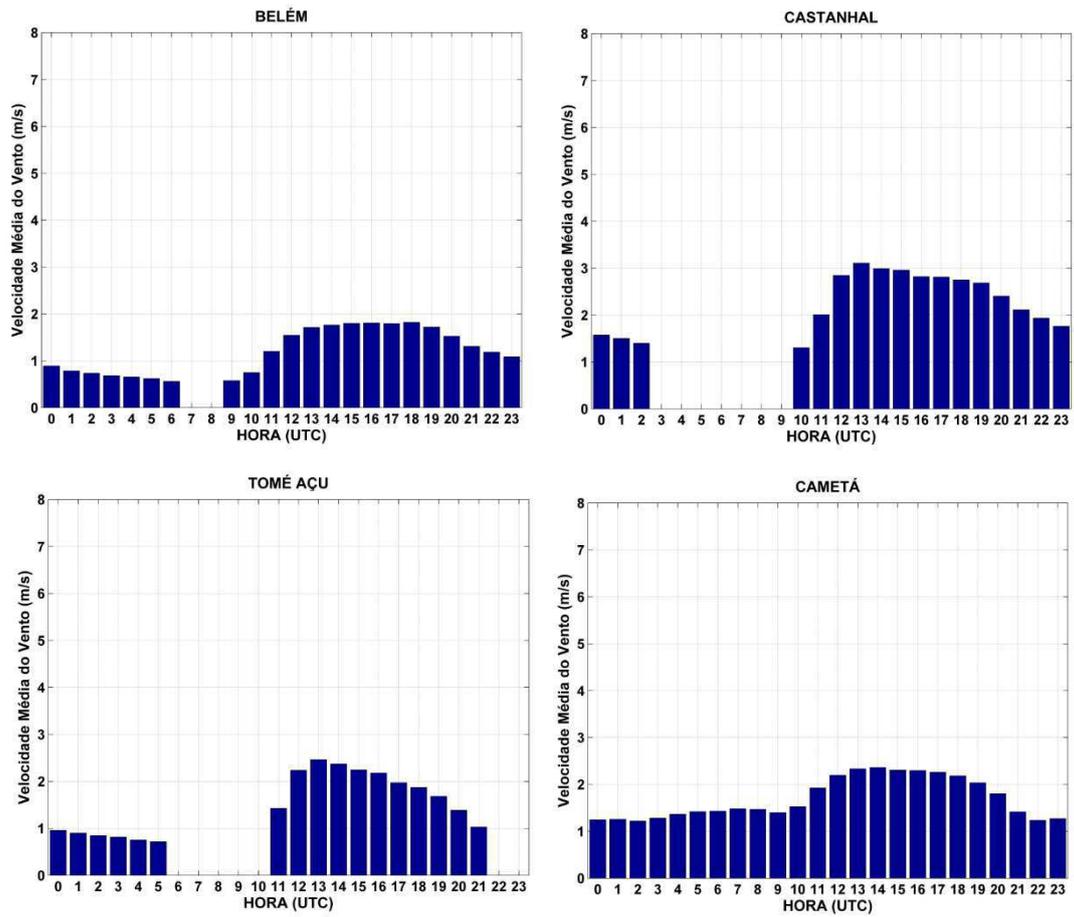


Figura 7: Média horária da velocidade do vento na altura de 10 metros.



Figura 8: Estação meteorológica automática de Tartarugalzinho (AP).

Do ponto de vista energético, a estação de Macapá (AP) foi a única que apresentou média horária superior a $3,00 \text{ m s}^{-1}$, que através de um estudo detalhado pode ser uma região propícia para instalação de uma turbina eólica de médio porte. Vale ressaltar que a estação de Tartarugalzinho (AP) e Soure (PA) também apresentaram esses valores durante 1/3 das horas do dia, que, da mesma forma, podem ser outras regiões com bom potencial eólico para utilizar um sistema híbrido de energia, seja Eólica-Diesel ou Eólica e outra fonte de energia, no qual se analisou os resultados em ambas as estações para o ano de 2009.

5.1.2. Análise Mensal

Ao observar a média mensal de todas as estações meteorológicas, verifica-se ausência de valores nos meses que exibem registros com frequência menores que 60% (inferior a 432 das 720 horas de cada mês em média). Percebeu-se dados incompletos nas estações de Belém (PA) no mês de maio; Castanhal (PA) em janeiro, fevereiro e dezembro, Tomé Açu (PA) em de abril e julho, Cametá (PA) em novembro e dezembro. Ao passo que em Oiapoque (AP), Tartarugalzinho (AP), Macapá (AP), Soure (PA) apresentaram frequências dos dados superiores a 60%, ver Figura 9.

Na estação de Oiapoque (AP), os meses de junho e julho apresentaram baixos registros ($0,88 \text{ m s}^{-1}$), já o máximo registrado foi detectado em maio ($1,23 \text{ m s}^{-1}$). Observou-se, que ao longo do ano, ocorreu uma pequena variação, com amplitude máxima de $0,18 \text{ m s}^{-1}$ e média anual da ordem de $1,06 \text{ m s}^{-1}$. Para Tartarugalzinho, foi verificado mínimo de $1,52 \text{ m s}^{-1}$ no mês de junho e picos máximos em novembro, com $2,66 \text{ m s}^{-1}$. Examinou-se também, que a velocidade do vento apresentou baixa variação durante o ano de estudo, com média anual de $2,07 \text{ m s}^{-1}$. Em Macapá, os meses que apresentaram valores mínimos foram de março a maio e em julho ($2,55 \text{ m s}^{-1}$). No mês de julho os valores foram inferiores, devido à ausência de dados que reduziu o valor médio do mês. O valor máximo encontrado, para o local em questão, foi no mês de novembro ($4,35 \text{ m s}^{-1}$). Reparou-se que houve uma oscilação de quase $2,00 \text{ m s}^{-1}$, entre os picos máximo e mínimo, e também foi percebido, uma sazonalidade no período, com a média anual em torno de $3,23 \text{ m s}^{-1}$.

Ao investigar o Estado do Pará, se verificou que a estação de Soure expos valor mínimo de $1,42 \text{ m s}^{-1}$, no mês de maio, e pico máximo de $3,70 \text{ m s}^{-1}$, no mês de novembro. Foi evidenciada uma sazonalidade na variabilidade mensal durante o ano, exibindo média anual de $2,60 \text{ m s}^{-1}$. Vale ressaltar, que além da estação de Soure, a de Castanhal foi a

única, dentre as demais do Pará, que apresentou intensidade de vento superior a $3,00 \text{ m s}^{-1}$, registrado no mês de novembro.

Do ponto de vista meteorológico, observa-se, geralmente, que as maiores intensidades de vento ocorrem no segundo semestre do ano, que é o período menos chuvoso na região. Vale lembrar que no ano de 2009 ocorreu o fenômeno de El Niño, com classificação fraca, mas que pode ter reduzido os dias de chuva tanto no período chuvoso, quanto no menos chuvoso.

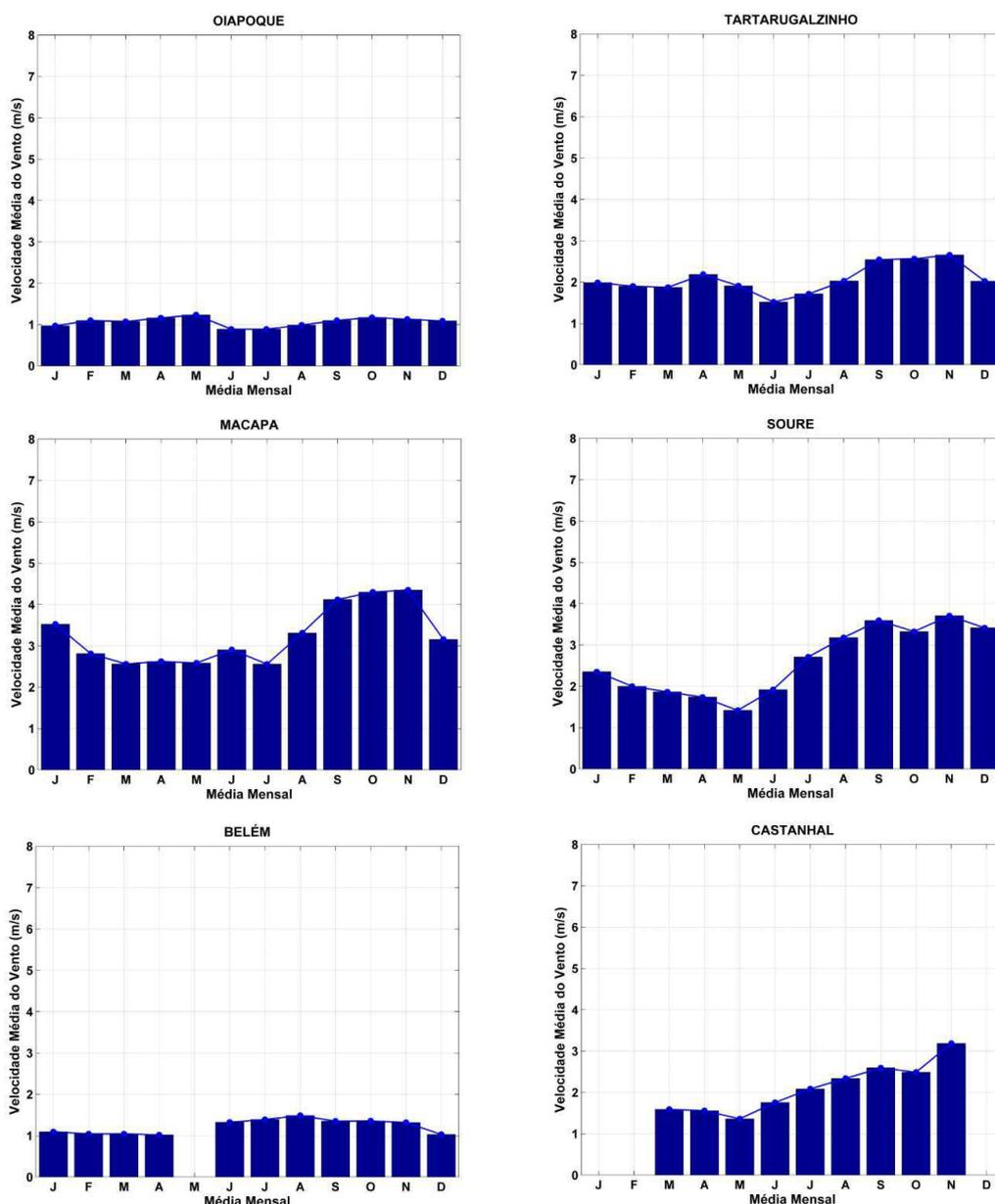


Figura 9: Média mensal da velocidade do vento.

Continuação

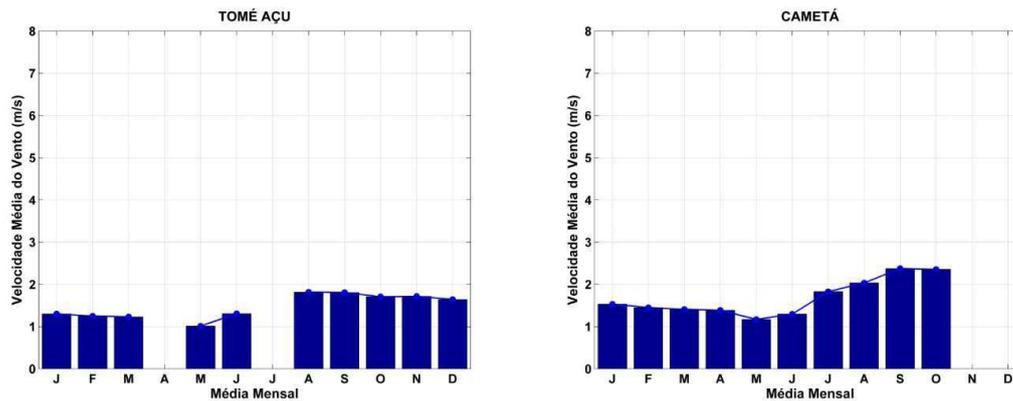


Figura 9: Média mensal da velocidade do vento.

Do ponto de vista energético, a estação de Macapá (AP) foi a única que apresentou média mensal superior a 3 m/s. Vale ressaltar que a estação de Soure (PA) durante agosto a dezembro, também, se verifica valores superiores a 3 m/s, que pode ser outra região com potencial eólico.

5.2. Validação do modelo BRAMS e da Rede Neural

A última etapa na utilização de Modelos Numéricos e de Redes Neurais Artificiais (RNAs), mas não menos importante. É na utilização de Modelos Numéricos e de Redes Neurais que há validação dos resultados através da comparação dos dados observados, seja de forma visual com uso de ferramentas estatísticas para uma grande série de dados.

Como mencionado na metodologia aqui proposta, a RNA escolhe aleatoriamente os dados para observar as flutuações e valida seus resultados após o Treinamento e Teste. Observa-se que há uma série temporal imprecisa, devido a essa aleatoriedade (Figura 10). Verificou-se na estação de Oiapoque, que o BRAMS apresentou tendência em superestimar os dados observados de acordo com índices estatísticos, a saber, o Coeficiente de Correlação ($r=0,54$), BIAS (0,11) e o Erro Médio Quadrático (RMSE=0,70). Para avaliação de validação da RNA, percebeu-se valores ainda mais estatisticamente significativos, comparado ao BRAMS, pois o R foi igual a 0,80, o BIAS análogo a -0,002 com uma leve tendência em subestimar e redução no Erro Médio, para 0,48, que restringe a amplitude dos erros na representação do modelo.

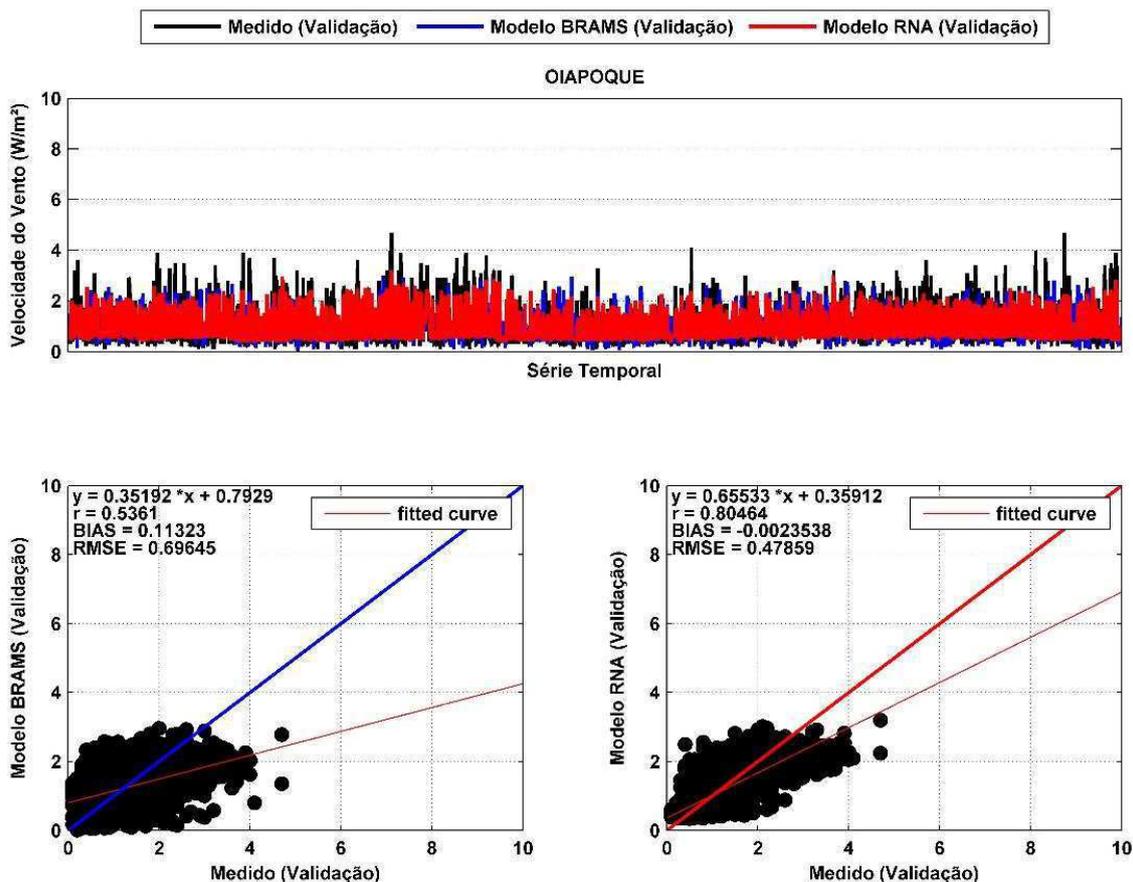


Figura 10: Série temporal indefinida de validação da RNA e respectivos gráficos de dispersão do BRAMS e da RNA para Oiapoque.

Ressalta-se que, neste processo de Validação, o tratamento estatístico na RNA é nulo, diferentemente, da fase de Treinamento como, por exemplo, a remoção de BIAS. Em todas as estações, os resultados foram satisfatórios para avaliação da variabilidade do vento. No anexo II é apresentada todas as estações que foram submetidos ao mesmo processo de validação.

5.3. Avaliação da Simulação Numérica do Vento

Nesta seção é analisada a variabilidade horária, diária e mensal da intensidade do vento, sendo excluídas as análises das estações de Belém (PA) e Tomé Açu (PA), pois em ambas os valores observacionais foram desfavoráveis ao critério adotado no tratamento quantitativo dos dados para compará-los com o BRAMS e a RNA.

5.3.1. Análise Horária e Mensal da Intensidade do Vento

a) Horária

No Estado do Amapá, o BRAMS conseguiu representar o comportamento com fidelidade em todas as estações (Oiapoque, Tartarugalzinho e Macapá), ver Figura 11. Em Oiapoque, o BRAMS superestimou as primeiras 10 horas do dia e nos horários das 12 às 20 horas e das 22 às 23 horas. O mesmo se viu no município de Tartarugalzinho, o qual apresentou comportamento semelhante ao de Oiapoque. Já na estação de Macapá, o Modelo de mesoescala subestimou durante todo o dia. Quando analisados, os resultados da RNA mostraram resultados extremamente satisfatórios, em que a comparação visual é quase perfeita nas três estações.

Ao examinar o Estado do Pará, em todas as estações, o BRAMS conseguiu representar a variabilidade, exceto no município de Cametá. Em Soure, o BRAMS subestimou levemente, praticamente o dia inteiro (das 0 às 17 horas) e superestimou nos horários das 19 às 22 horas. Em Castanhal, a representação do Modelo foi semelhante a estação de Soure, sendo que houve superestimativa durante a madrugada e início da noite. Na estação de Cametá, o Modelo representou de forma relevante somente no início e final do dia, indicando subestimativa ao longo do dia.

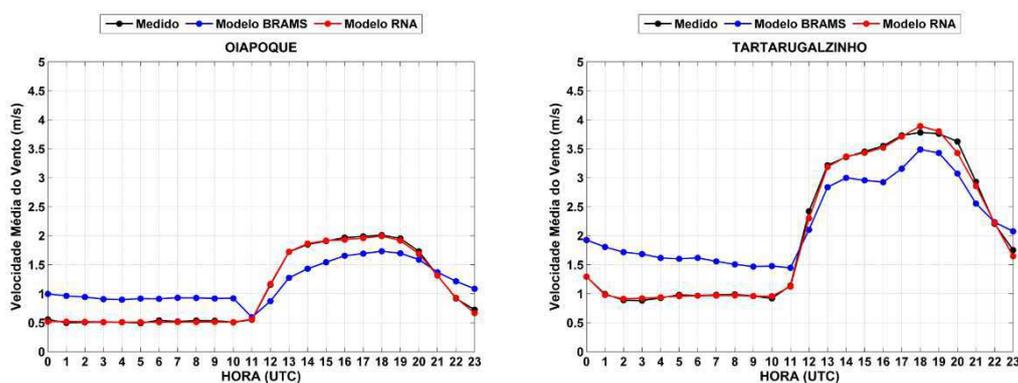


Figura 11: Média horária da velocidade do vento.

Continuação

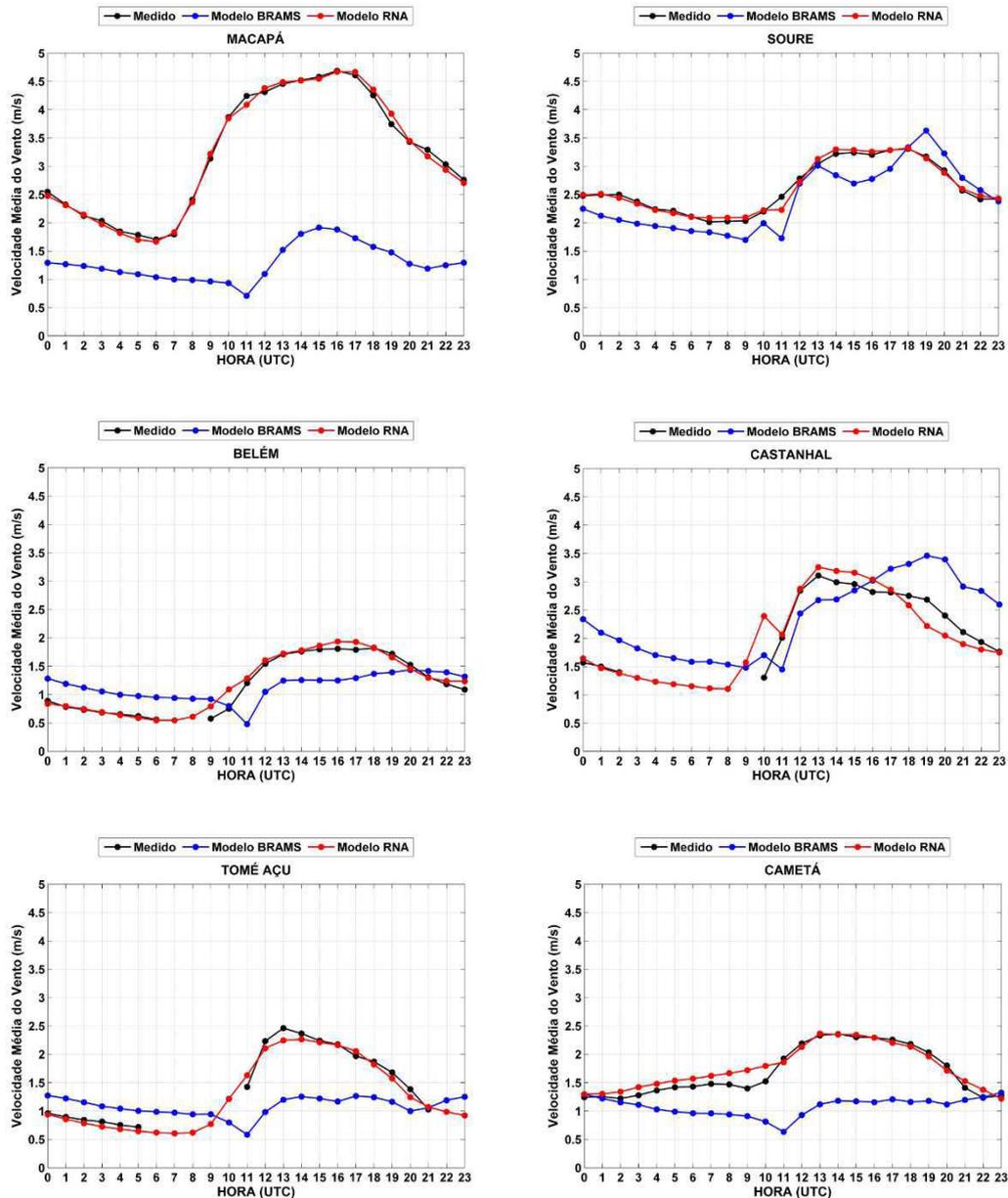


Figura 11: Média horária da velocidade do vento.

No entanto, após o refinamento estatístico com RNA, todas as estações do Estado do Pará foram bem representadas na escala horária, visto que, houve uma amostra significativa para o treinamento dessa técnica, que filtrou o BIAS entre as saídas do BRAMS e os dados observados.

b) Diária

Em geral, percebeu-se que o BRAMS representou com fidelidade a sazonalidade da variabilidade de intensidade do vento nas estações (Figura 12), exceto Macapá que tendeu a superestimar durante todo ano, visto também em Soure e Cametá, apenas, no

segundo semestre. A aplicação da RNA, além de preencher as falhas, se ajustou de forma significativa aos dados observados que reforça e valida a simulação do BRAMS.

Verificou-se, ainda na Figura 12, as menores intensidades de vento concentrado no primeiro semestre, principalmente na estação chuvosa, que abrange os meses de março-abril-maio (MAM), porém as maiores intensidades de vento foram observadas no segundo semestre, na estação seca (menos chuvoso) da região, principalmente nos meses setembro-outubro-novembro (SON). Vale frisar que, nas estações de Oiapoque e Tartarugalzinho, verificou-se uma série bimodal com dois picos nas estações chuvosa e seca de 2009.

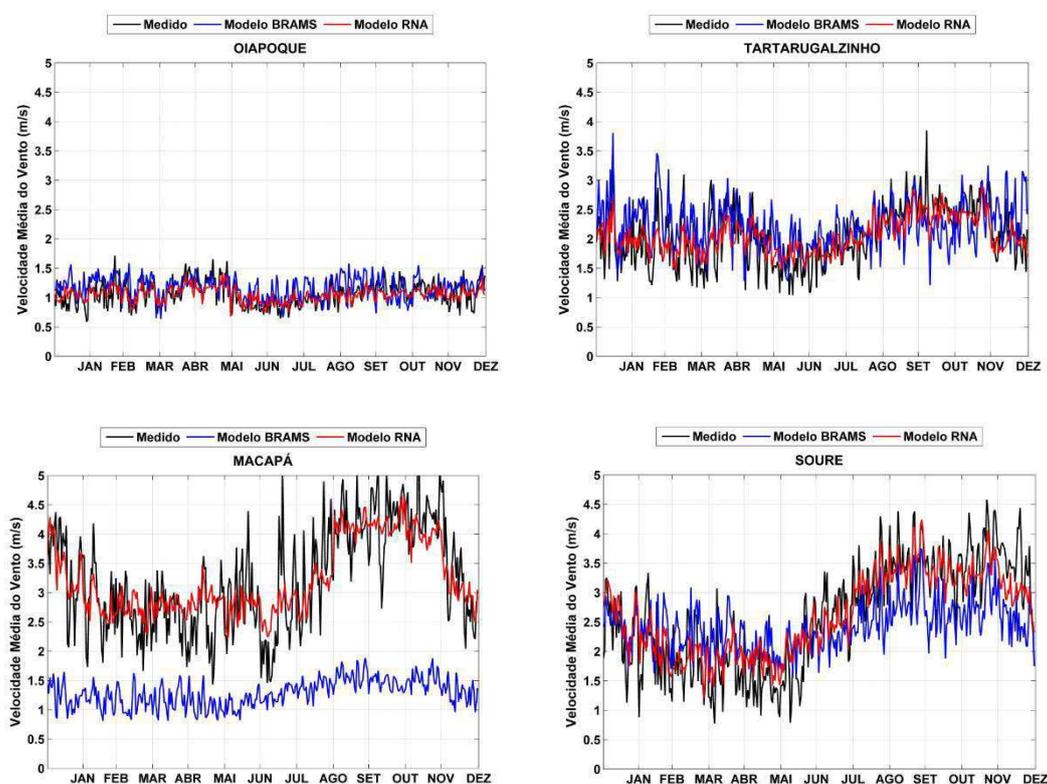


Figura 12: Média diária da velocidade do vento.

Continuação

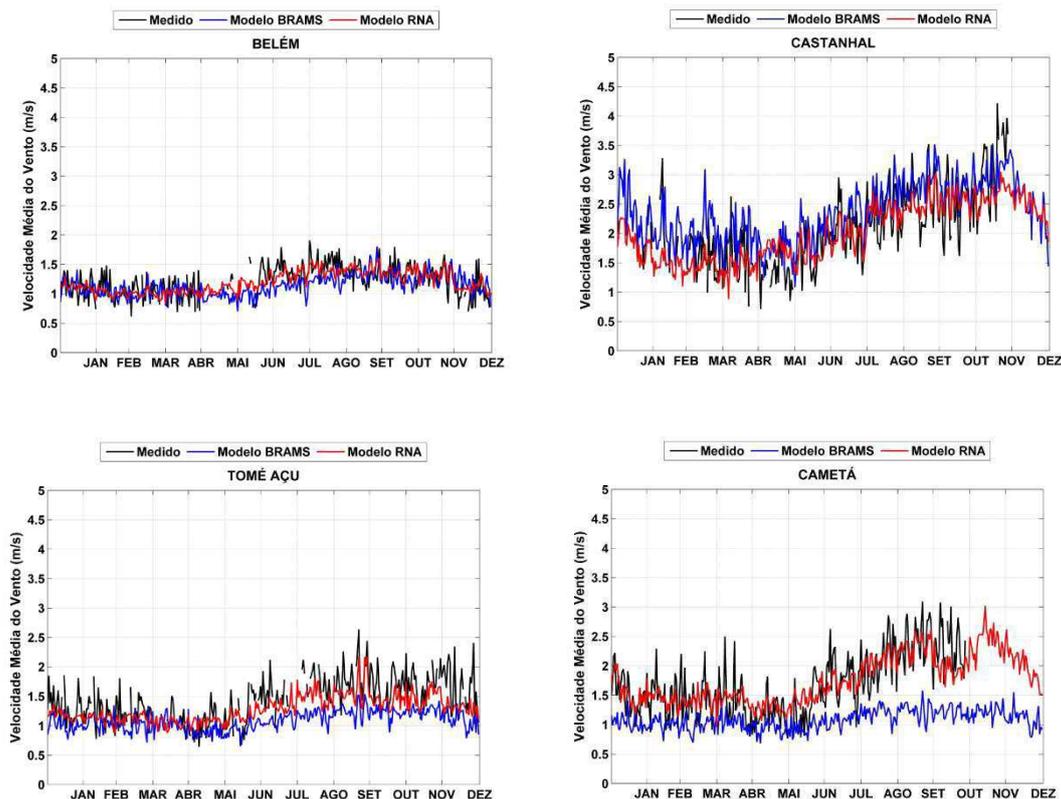


Figura 12: Média diária da velocidade do vento.

As Tabelas 5 e 6, apresentam os índices estatísticos, os quais compararam os resultados de saídas do BRAMS com os dados medidos e das RNAs, também, com os dados medidos. Vale lembrar que foram descartados os dados ausentes dos valores medidos, para não comprometer estatisticamente os índices.

Para facilitar a análise, destacou-se de **negrito e em vermelho**, nas Tabelas 5 e 6, os valores menos significativos, mas, que não garante resultados relevantes estatisticamente, exceto o coeficiente de correlação que os valores menores que 0,19 apresentam correlação bem fraca (DEVORE, 2006) e, o coeficiente Determinação com valores inferiores a 0,10; no qual explica menos de 10% da variância dos dados. Também em **negrito**, mas sendo da cor preta, são mostrados os resultados com melhor desempenho.

Verificou-se na Tabela 5, os índices estatísticos da comparação entre dados medidos e do BRAMS. Observou-se, em geral, que a estação de Macapá foi que apresentou resultados menos significativos, quando comparada as outras estações, mas que garante que o Modelo teve desempenho irrelevante neste ponto de medida. As estações que apresentaram melhores resultados foram, também no Amapá: Oiapoque e Tartarugalzinho.

Ainda averiguando a Tabela 5, a estação de Belém foi onde houve melhor valor de BIAS (próximo à zero) na maioria dos meses e foi em Macapá onde foram mostrados os maiores valores. Em Oiapoque viu-se o menor RMSE durante todo ano; com maior valor em Macapá. O coeficiente de Pearson, também melhor representado, foi notado em Oiapoque nos meses de fevereiro a junho e em dezembro, com correlações Moderadas (entre 0,40 – 0,69). Em Tartarugalzinho foi onde se observou maior valor de determinação.

Vale salientar que as estações de Castanhal e Cametá, ambas no Pará, apresentaram ausência de dados nos meses de novembro e dezembro, que impediu o cálculo desses índices nesse período, no entanto, percebeu-se que o BRAMS segue a sazonalidade do período menos chuvoso. Dessa forma, o uso de Modelos é uma ferramenta essencial de preenchimento de falhas, à medida que é validado pelos índices estatísticos.

Tabela 5: Índices estatísticos diários entre dados medidos e BRAMS.

JANEIRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,05	0,63	-0,29	0,14	-0,50	0,22	0,34	-2,39
RMSE	0,78	1,54	1,01	1,17	1,09	0,72	1,26	2,79
r	0,24	0,25	0,19	0,33	0,19	0,44	0,59	0,34
R ²	0,06	0,06	0,04	0,11	0,04	0,19	0,35	0,12
FEVEREIRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,01	0,45	-0,19	0,30	-0,44	0,20	0,54	-1,63
RMSE	0,82	1,49	1,01	1,43	1,02	0,74	1,48	2,13
r	0,08	0,17	0,10	0,24	0,13	0,58	0,45	0,27
R ²	0,01	0,03	0,01	0,06	0,02	0,34	0,20	0,07
MARÇO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,02	0,60	-0,23	0,44	-0,41	0,12	0,30	-1,41
RMSE	0,80	1,37	1,03	1,33	1,08	0,71	1,38	1,99
r	0,12	0,21	0,06	0,27	0,10	0,62	0,49	0,04
R ²	0,01	0,04	0,00	0,07	0,01	0,38	0,24	0,00
ABRIL								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,04	0,60	-0,08	0,62	-0,35	0,04	0,14	-1,43
RMSE	0,84	1,34	0,88	1,34	1,01	0,69	1,30	2,01
r	0,14	0,26	0,03	0,37	0,10	0,67	0,63	0,24
R ²	0,02	0,07	0,00	0,13	0,01	0,45	0,40	0,06
MAIO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	-0,18	0,49	-0,10	0,60	-0,23	-0,02	0,18	-1,51
RMSE	0,79	1,25	0,80	1,38	0,88	0,74	1,33	2,12
r	0,16	0,21	0,13	0,21	0,01	0,67	0,49	0,13
R ²	0,02	0,05	0,02	0,04	0,00	0,45	0,24	0,02
JUNHO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	-0,28	0,35	-0,35	0,22	-0,34	0,17	0,31	-1,79
RMSE	0,88	1,33	0,99	1,18	0,97	0,65	1,17	2,32
r	0,22	0,25	0,21	0,24	0,06	0,46	0,41	0,20
R ²	0,05	0,06	0,04	0,06	0,00	0,21	0,17	0,04
JULHO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	-0,25	0,24	-0,47	-0,49	-0,74	0,14	0,29	-1,30
RMSE	0,87	1,17	1,11	1,02	1,28	0,65	1,07	1,94
r	0,19	0,42	0,24	0,30	-0,17	0,36	0,56	0,19
R ²	0,04	0,17	0,06	0,09	0,03	0,13	0,32	0,04
AGOSTO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	-0,24	0,30	-0,65	-0,63	-0,84	0,16	0,13	-1,92
RMSE	0,75	1,09	1,22	1,15	1,37	0,63	1,17	2,50
r	0,37	0,52	0,28	0,36	-0,11	0,44	0,55	0,22

R ²	0,14	0,27	0,08	0,13	0,01	0,20	0,30	0,05
SETEMBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,03	0,35	-0,53	-0,69	-1,13	0,17	-0,22	-2,54
RMSE	0,69	1,01	1,21	1,15	1,54	0,58	1,35	3,04
r	0,45	0,66	0,44	0,58	0,10	0,62	0,62	0,34
R ²	0,20	0,44	0,19	0,34	0,01	0,38	0,39	0,12
OUTUBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	-0,10	0,42	-0,47	-0,76	-1,14	-0,10	-0,42	-2,84
RMSE	0,73	1,04	1,10	1,26	1,54	0,73	1,45	3,34
r	0,33	0,60	0,28	0,34	0,12	0,41	0,60	0,30
R ²	0,11	0,36	0,08	0,12	0,01	0,17	0,36	0,09
NOVEMBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,03	0,31	-0,43	-0,88	-	0,02	-0,25	-2,83
RMSE	0,70	0,97	1,18	1,29	-	0,68	1,48	4,13
r	0,42	0,65	0,44	0,50	-	0,51	0,66	0,16
R ²	0,17	0,42	0,19	0,25	-	0,26	0,43	0,03
DEZEMBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,15	-	-0,48	-0,89	-	0,12	0,43	-1,87
RMSE	0,83	-	1,19	1,40	-	0,77	1,51	2,47
r	0,08	-	0,28	0,34	-	0,54	0,45	0,30
R ²	0,01	-	0,08	0,12	-	0,29	0,20	0,09

Verifica-se na Tabela 6, os índices estatísticos da comparação entre dados medidos e das RNAs. Apurou-se, de um modo geral, que a estação de Macapá, semelhante aos produtos do modelo BRAMS, foi que apresentou resultados menos significativos comparada às outras estações, mas não é garantia que esse Modelo de mesoescala apresente desempenho relevante, tanto que houve uma redução dos valores menos relevantes comparados ao BRAMS. As estações que apresentaram melhores resultados foram, também no Estado do Amapá: Oiapoque e Tartarugalzinho.

Tabela 6: Índices estatísticos diários entre dados medidos e RNAs.

JANEIRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,10	0,17	0,04	0,31	0,02	0,06	0,07	-0,07
RMSE	0,58	0,94	0,72	0,91	0,81	0,54	0,92	1,14
r	0,63	0,55	0,66	0,58	0,53	0,70	0,77	0,74
R ²	0,40	0,30	0,44	0,33	0,28	0,49	0,60	0,55

SETEMBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,10	-0,07	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,19	0,03
RMSE	0,51	0,82	0,71	0,65	0,74	0,33	0,74	0,97
r	0,76	0,75	0,81	0,61	0,69	0,87	0,91	0,84
R ²	0,58	0,56	0,65	0,37	0,48	0,76	0,83	0,70
OUTUBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,04	0,21	-0,09	0,01	-0,37	-0,10	-0,09	-0,09
RMSE	0,50	0,85	0,69	0,66	0,90	0,43	0,72	1,07
r	0,75	0,70	0,75	0,61	0,60	0,84	0,91	0,81
R ²	0,57	0,50	0,57	0,37	0,36	0,71	0,83	0,66
NOVEMBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,03	-0,11	-0,04	-0,30	-	-0,03	-0,21	-0,33
RMSE	0,50	0,92	0,74	0,74	-	0,44	0,82	2,62
r	0,76	0,60	0,79	0,63	-	0,83	0,91	0,52
R ²	0,57	0,36	0,62	0,40	-	0,69	0,84	0,27
DEZEMBRO								
Estação/ Índices	Belém (PA)	Castanhal (PA)	Tomé Açu (PA)	Soure (PA)	Cametá (PA)	Oiapoque (AP)	Tartarugalzinho (AP)	Macapá (AP)
BIAS	0,18	-	-0,13	-0,43	-	-0,01	-0,08	-0,10
RMSE	0,59	-	0,89	0,89	-	0,52	1,00	1,15
r	0,61	-	0,62	0,51	-	0,81	0,73	0,74
R ²	0,37	-	0,39	0,26	-	0,66	0,54	0,54

Ainda na Tabela 6, é bastante evidente a importância do refinamento estatístico com uso de RNAs, visto que, houve uma melhora significativa de todos os índices analisados – BIAS, RMSE, r e R². Outra importância da utilização das RNAs, que uma vez treinadas, testadas e validadas, é possível estender seu uso para período que há ausência de dados observados com dados apenas de simulação numérica, que é essencial para prospecção de potencial eólico, construção de aeroportos, navegação, etc.

c) Mensal

Na Figura 13 observa-se a variabilidade da intensidade do vento medido, estimados pelo BRAMS e as RNAs. Percebeu-se que o BRAMS conseguiu representar com fidelidade praticamente todas as estações, mas em Macapá houve indícios de subestimativa durante todo o ano, assim como em Cametá. Já em Castanhal, o modelo atmosférico superestimou levemente durante o mesmo período, exceto no mês dezembro. Aplicando a técnica de RNAs, conseguiram-se ajustar os resultados simulados aos dados

observados com desempenho mais satisfatórios. Isso acontece principalmente pelo excelente resultado que o BRAMS conseguiu reproduzir.

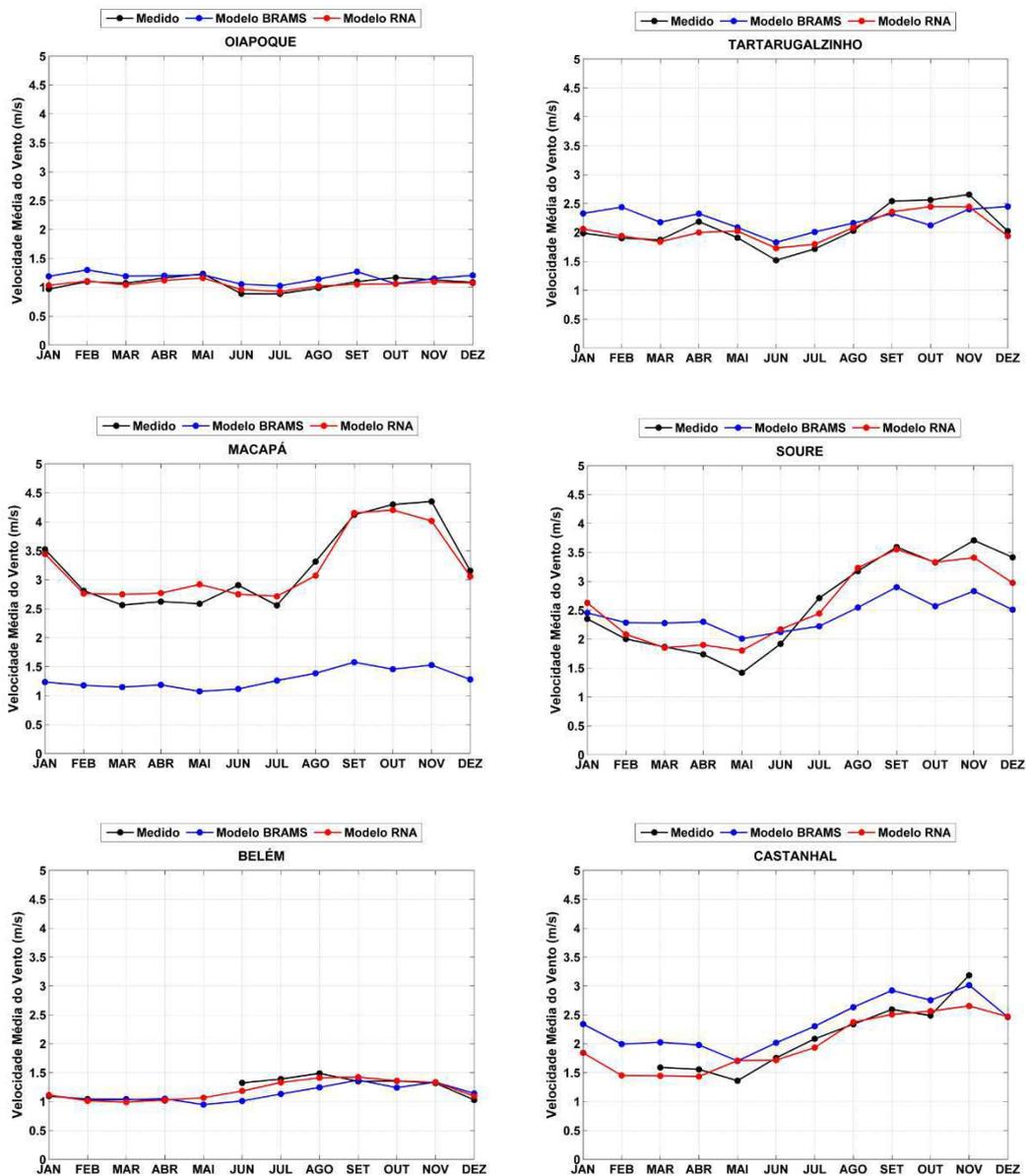


Figura 13: Variabilidade mensal da intensidade do vento.
Continuação

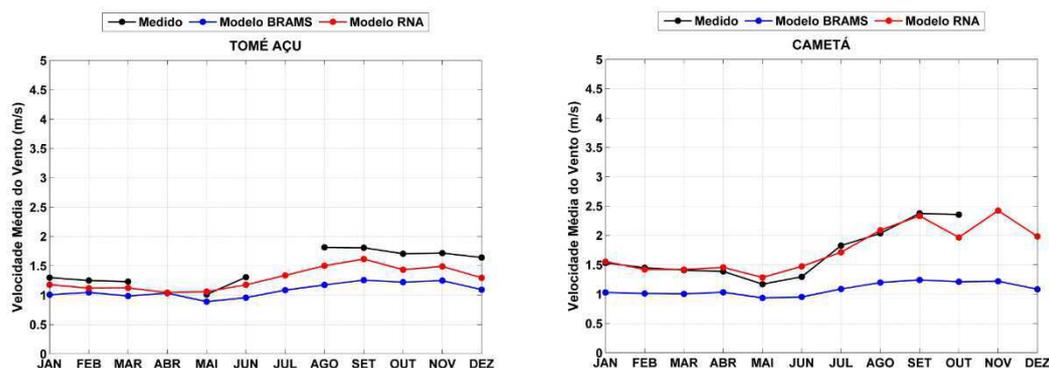


Figura 13: Variabilidade mensal da intensidade do vento.

As menores velocidades de vento, também foram vistos no primeiro semestre, principalmente na estação chuvosa (março-abril-maio) e maiores intensidades na estação seca (menos chuvoso: setembro, outubro e novembro). Salienta-se que algumas estações apresentam falhas nos dados registrados de médias mensais, pois a quantidade de dados superior a 60% são inexistentes e, mesmo assim, o BRAMS mostrou a simulação do período. Além disso, as RNAs conseguem, também, simular o período com fidelidade, devido ao processo de treinamento e teste.

5.3.2. Análise Anual da direção do vento

Na Figura 14 são observadas as frequências da direção do vento medido (a), (c), (e), (g), (i), (l), (n), (p) e simulado pelo BRAMS (b), (d), (f), (h), (j), (m), (o) e (q) para Oiapoque, Tartarugalzinho, Macapá, Soure, Belém, Castanhal, Tomé Açu e Cametá, respectivamente. Verifica-se em todas as estações que a predominância da direção do vento de nordeste tanto nos valores medidos quanto simulado são de Nordeste, exceto em Belém, que na Figura 14i que a direção predominante nos dados medidos foi de Leste. Em Oiapoque (Figura 14a e Figura 14b), no intervalo de velocidades do vento de 0,5 a 2,1 m/s o modelo superestimou a intensidade do vento, mas para vento entre com magnitude de 2,1-3,6 m/s, o BRAMS reproduziu com precisão a magnitude e a direção. Apurou-se ainda que nas outras estações meteorológicas, que o modelo simulou de forma significativa a direção e velocidade.

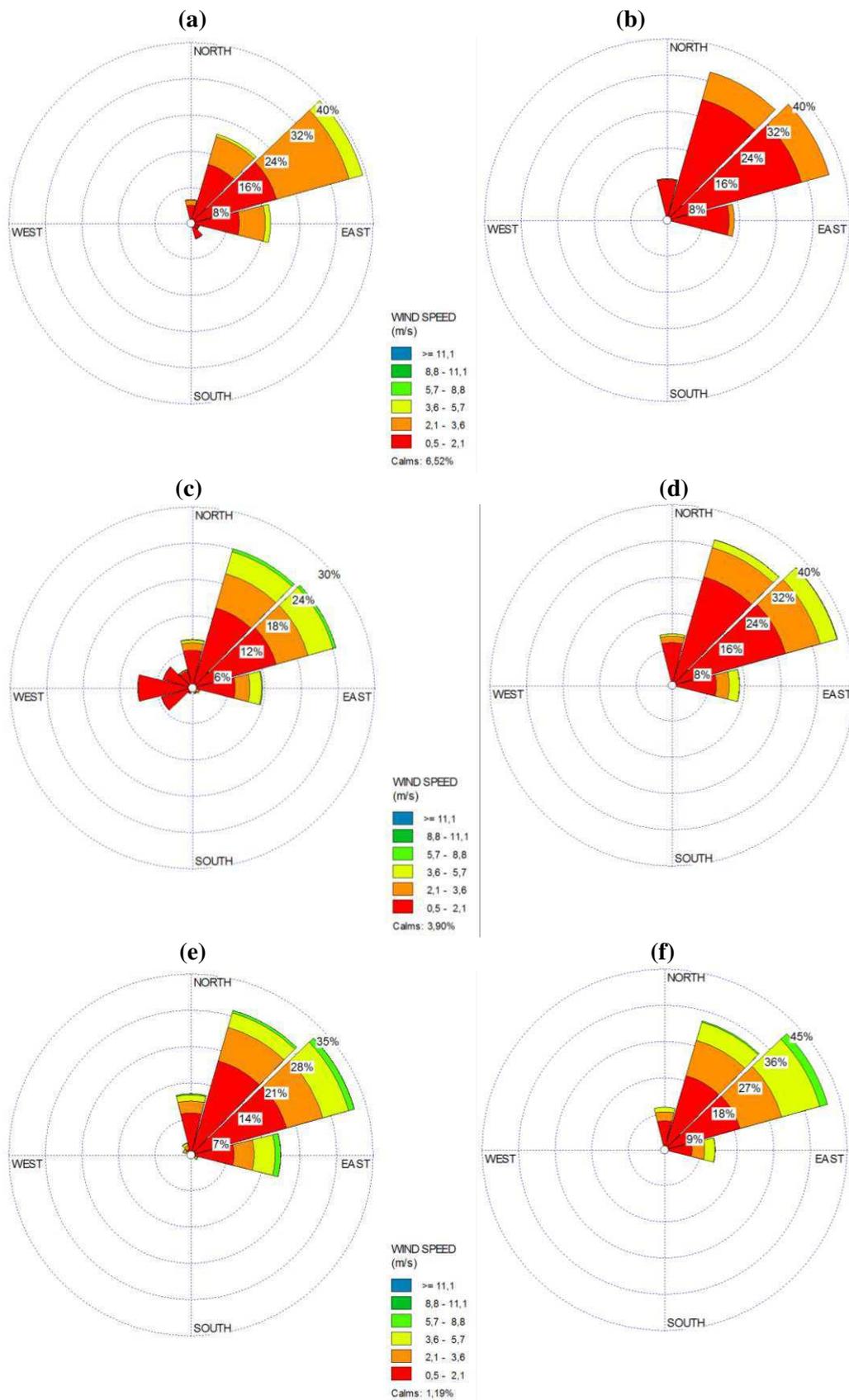


Figura 14: Frequência da direção do vento medido (a), (c), (e), (g), (i), (l), (n), (p) e simulado pelo BRAMS (b), (d), (f), (h), (j), (m), (o) e (q) para Oiapoque, Tartarugalzinho, Macapá, Soure, Belém, Castanhal, Tomé Açu e Cametá.

Continuação

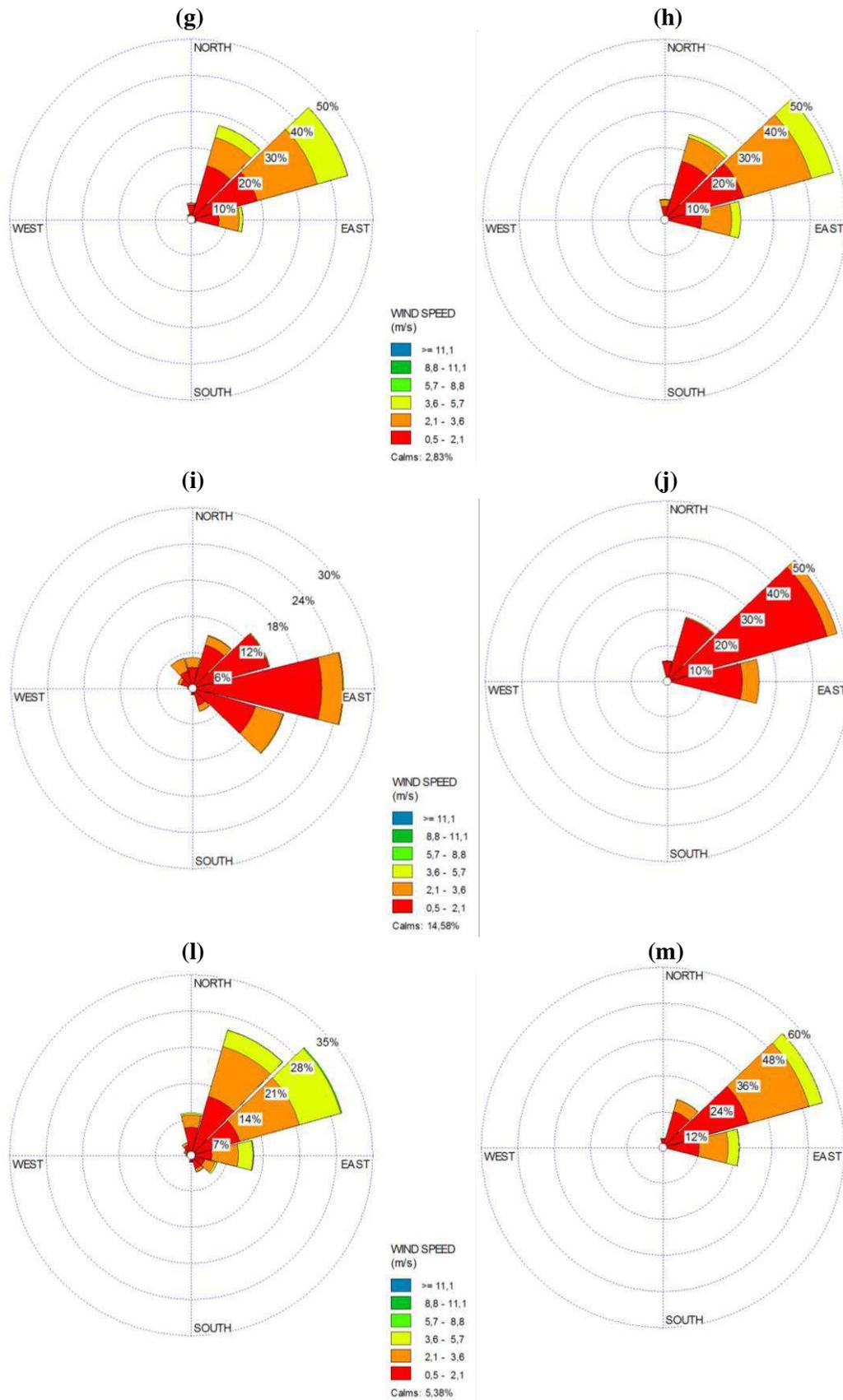


Figura 14: Frequência da direção do vento medido (a), (c), (e), (g), (i), (l), (n), (p) e simulado pelo BRAMS (b), (d), (f), (h), (j), (m), (o) e (q) para Oiapoque, Tartarugalzinho, Macapá, Soure, Belém, Castanhal, Tomé Açu e Cametá.

Continuação

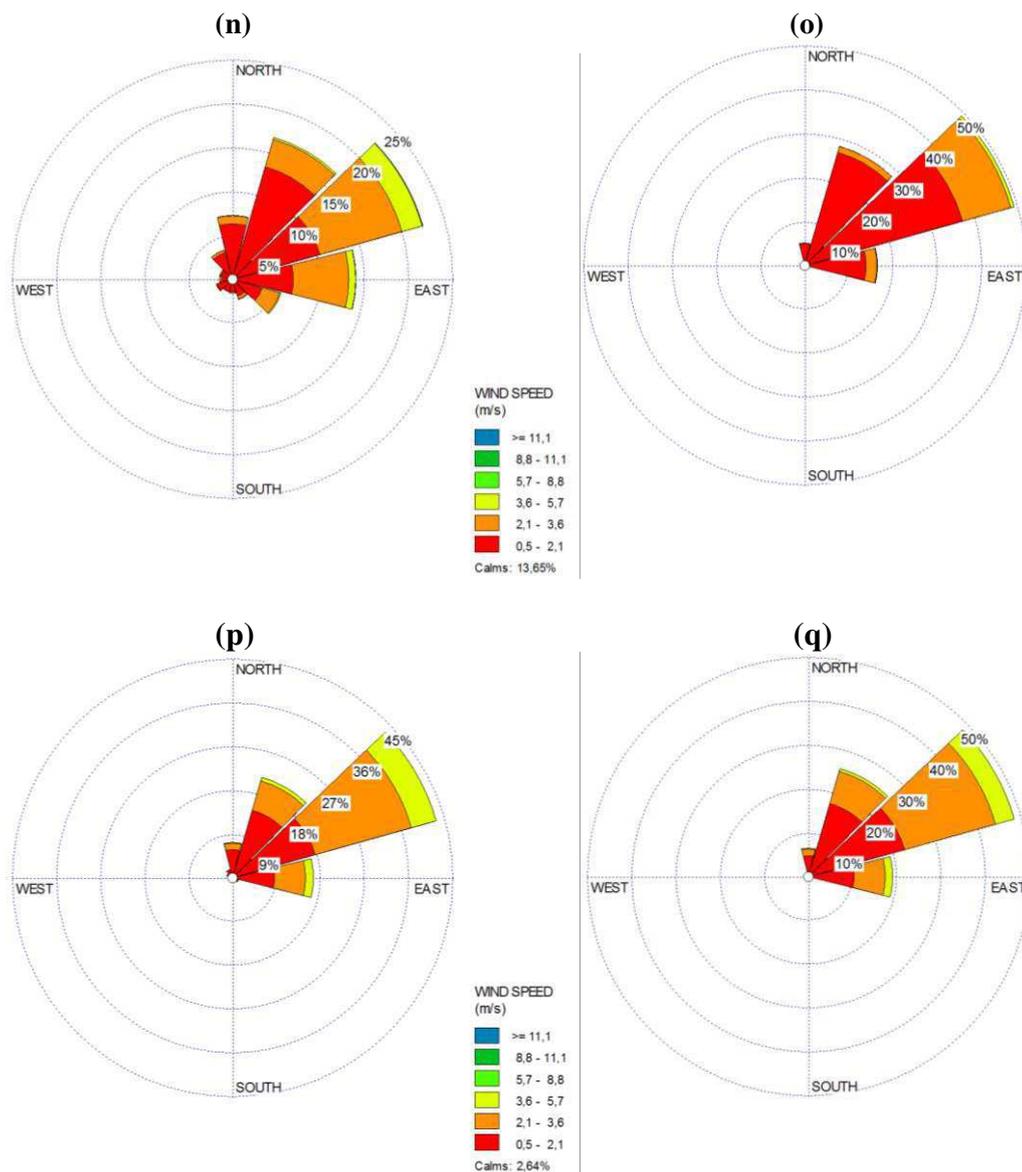


Figura 14: Frequência da direção do vento medido (a), (c), (e), (g), (i), (l), (n), (p) e simulado pelo BRAMS (b), (d), (f), (h), (j), (m), (o) e (q) para Oiapoque, Tartarugalzinho, Macapá, Soure, Belém, Castanhal, Tomé Açu e Cametá.

Reproduzir a direção do vento não é uma tarefa trivial para um modelo de mesoescala, principalmente, devido a qualidade e resolução de dados de entrada como topografia e vegetação que não variáveis essenciais para definir a direção do vento. Portanto, os resultados foram bastante eficientes, visto que, a área do domínio simulado apresenta uma heterogeneidade na superfície como em Belém (região urbana) e em Soure (área de floresta).

5.4. Cenários: Período Chuvoso e Seco

Nas seções a seguir foram avaliadas as simulações para o cenário chuvoso (março, abril e maio) e seco (menos chuvoso) setembro, outubro e novembro. O critério de

escolha das estações foi a quantidade de dados de cada período, as quais apresentaram maior percentual de dados medidos.

5.4.1. Estação Chuvosa

Observa-se na Figura 15 que o BRAMS e a RNA representaram bem a variabilidade da velocidade do vento tanto nos valores máximos como mínimos em Oiapoque. O BRAMS superestimou levemente (quase que desprezível), revelando menores BIAS (0,04), com coeficiente de Pearson de (0,65; correlação moderada) e bom resultado de RMSE (0,71), considerado significativo próximo de zero. Com o refinamento da RNA, os resultados foram ainda melhores, exibindo BIAS (-0,04), r igual (0,85; correlação forte) e RMSE de (0,49).

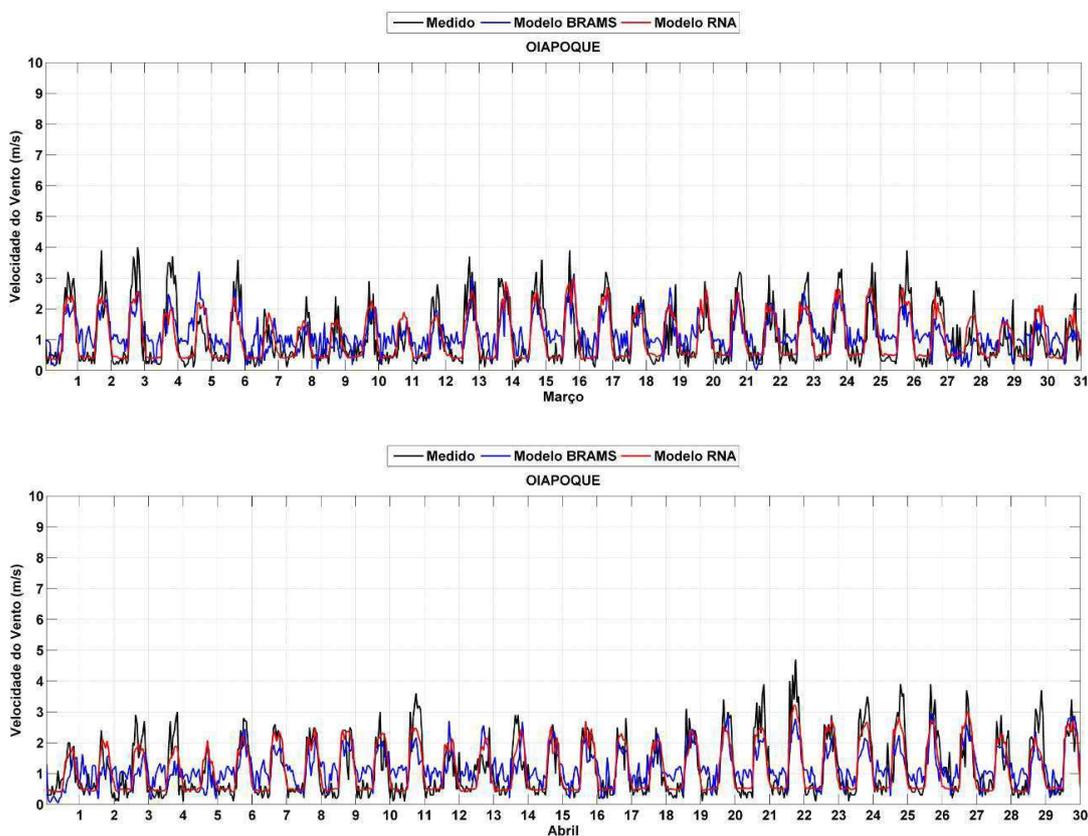


Figura 15: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (vermelho) e RNA (Azul) em Oiapoque.

Continuação

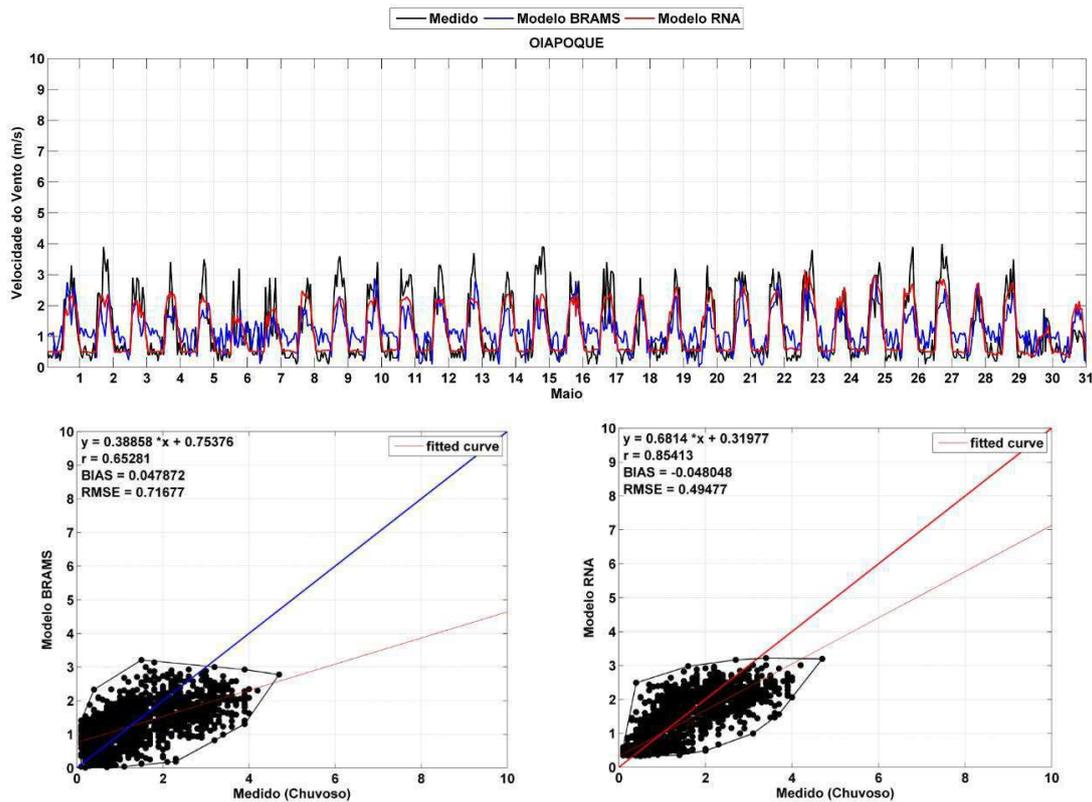


Figura 15: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Oiapoque.

Verifica-se na Figura 16 que o BRAMS e a RNA representaram a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Tartarugalzinho, exceto nos dias 2, 10 e 11 de março e 17 de maio que o simulou picos acima dos valores medidos, que com o refinamento da RNA foi filtrado o resíduo (diferença entre o simulado e observado). O BRAMS superestimou levemente (quase que desprezível) o trimestre com BIAS de (0,20), com coeficiente de Pearson de (0,54; correlação moderada) e valor do RMSE de (1,34), considerado significativo próximo de zero. Com o refinamento da RNA, os resultados foram ainda melhores com BIAS (-0,03), r igual (0,80; correlação forte) e RMSE de (0,91).

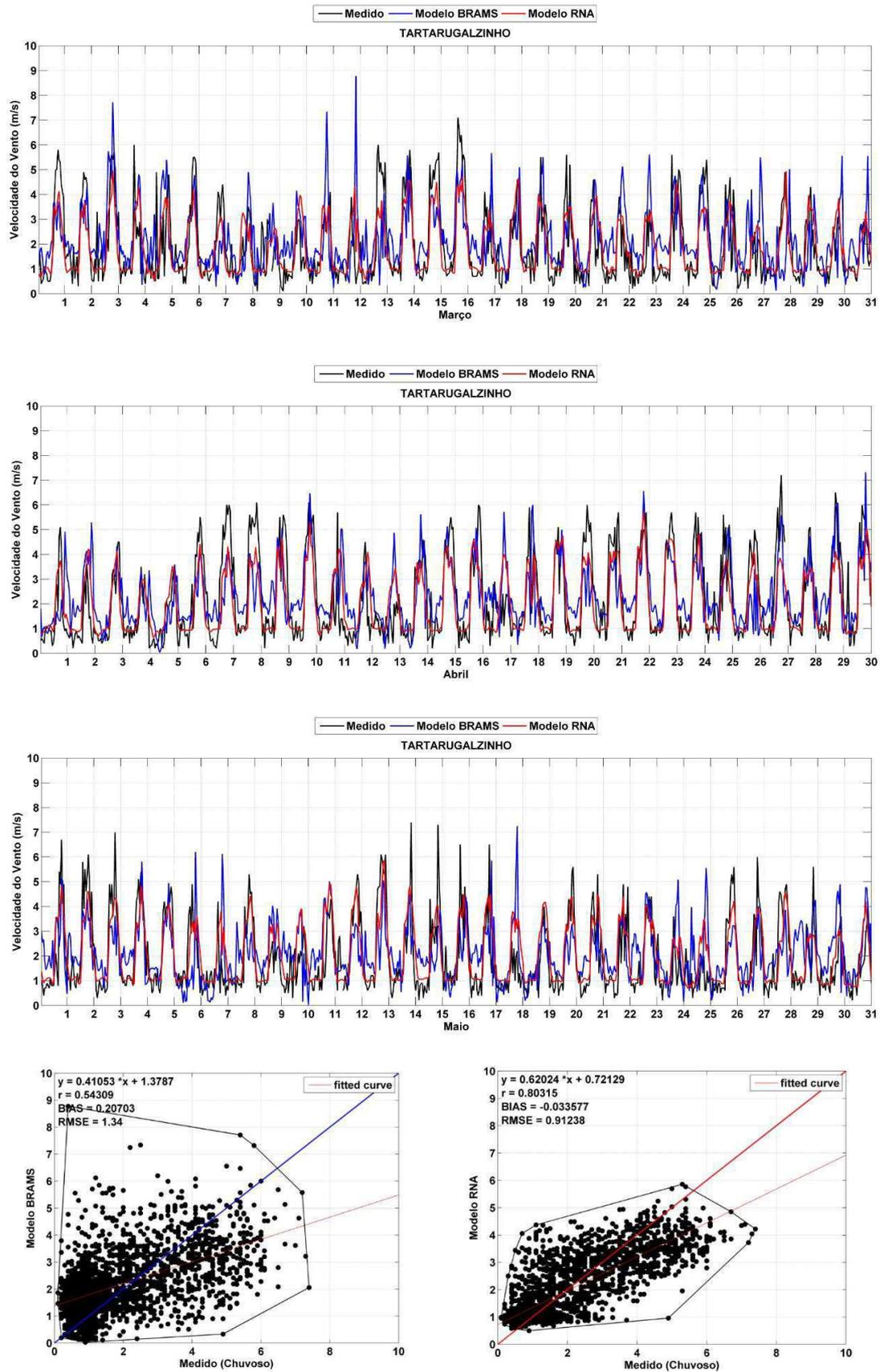


Figura 16: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Tartarugalzinho.

Verifica-se na Figura 17 que o BRAMS subestimou, praticamente, todo período chuvoso e a RNA representou a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Macapá, com exceção nos dias 23 de março, 7 e 18 de abril e 14, 17 e 28 de maio em que a intensidade do vento foi superior a 9,0 m/s e a RNA não conseguiu reproduzir. O BRAMS subestimou o trimestre com BIAS de (-1,45), com coeficiente de Pearson de (0,14; correlação bem fraca) e valor do RMSE de (2,04), considerado significativo próximo de zero. Com o refinamento da RNA, os resultados foram melhores com BIAS (0,24) que gerou uma superestimação, r igual (0,56; correlação moderada) e RMSE de (1,20).

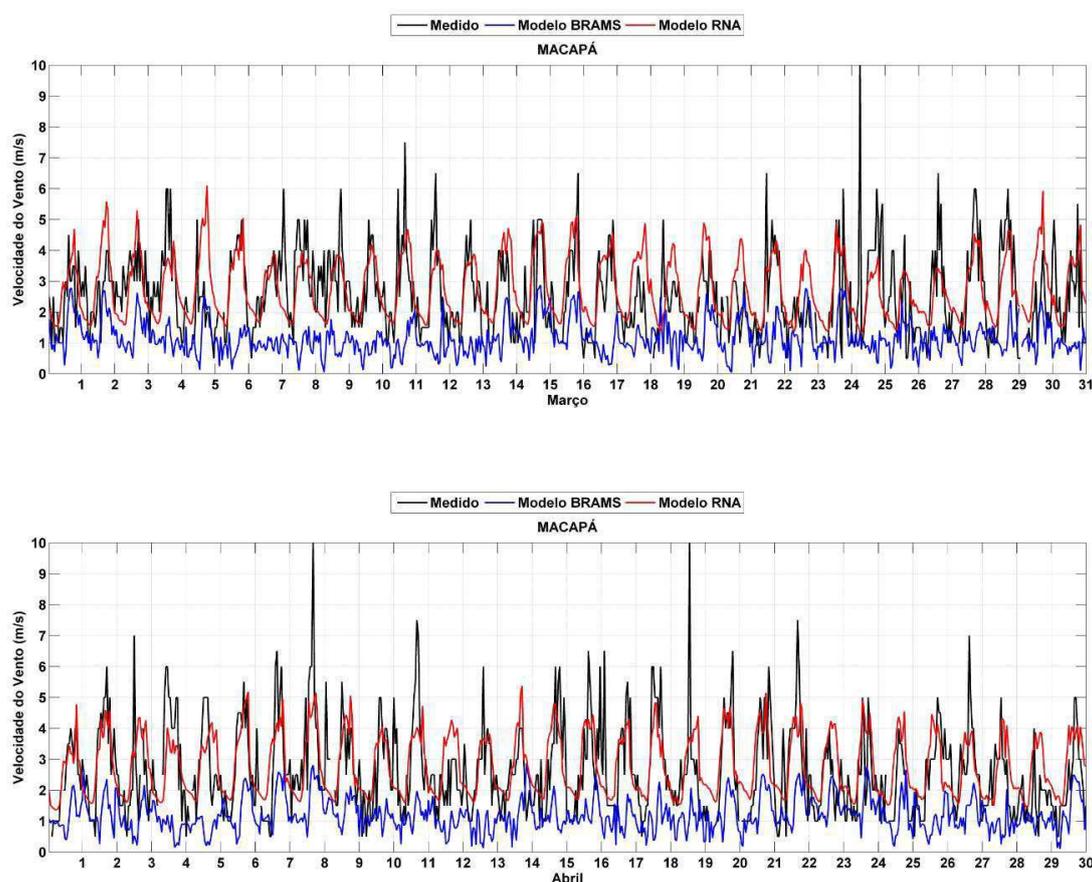


Figura 17: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Macapá (AP).

Continuação

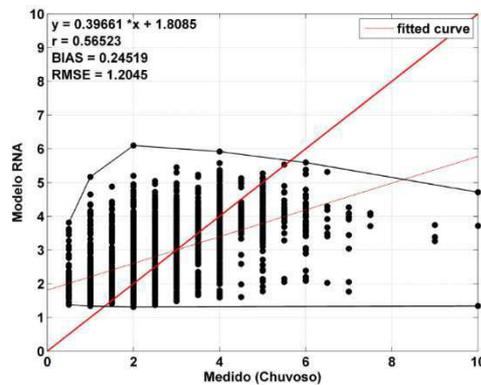
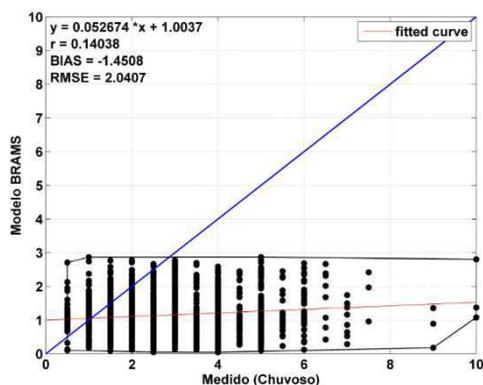
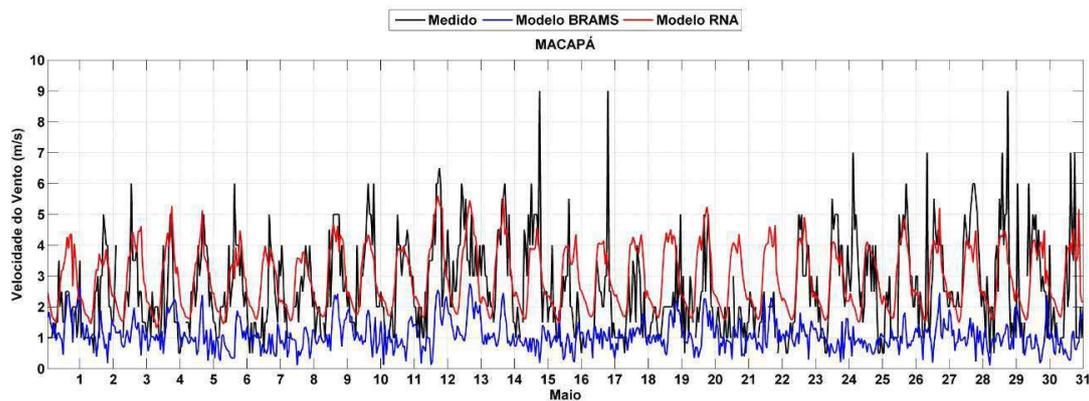


Figura 17: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Macapá (AP).

Já na Figura 18 que o BRAMS superestimou, praticamente, todo período chuvoso e a RNA representou a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Soure. O BRAMS superestimou o trimestre com BIAS de (0,54), com coeficiente de Pearson de (0,29; correlação fraca) e valor do RMSE de (1,35). Com o refinamento da RNA, os resultados foram melhores com BIAS (0,20) que reduziu a superestimação do BRAMS, r igual (0,54; correlação moderada) e RMSE de (0,87).

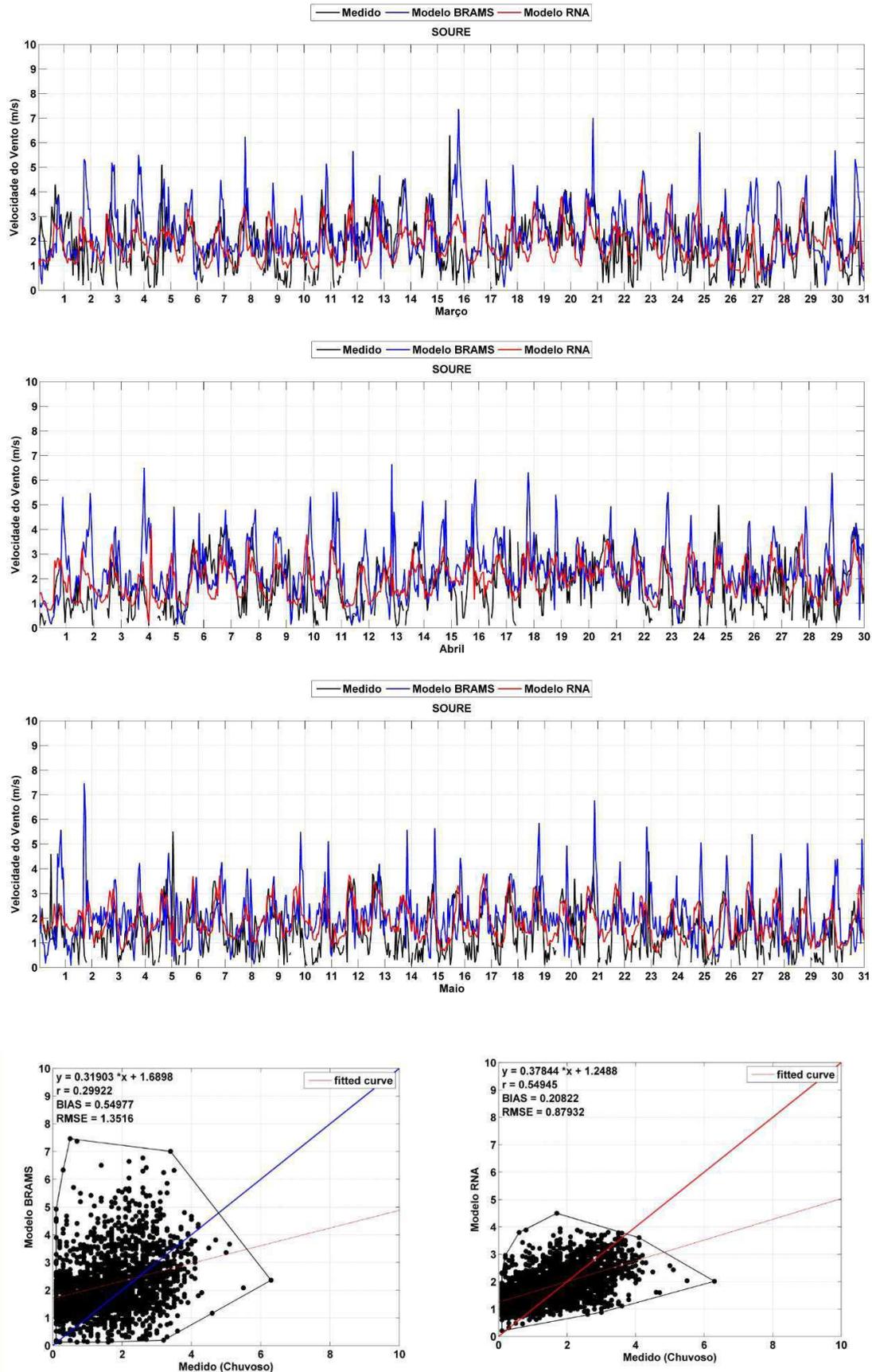


Figura 18: Variabilidade da velocidade do vento no período chuvoso e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Soure (PA).

Apesar que resultados foram bastantes relevantes do ponto de visto estatístico e físico, valer ressaltar que simulações de períodos chuvosos de modelos de mesoescala tende a apresentar resultados menos satisfatórios comparados a períodos secos, pois há ainda uma simplificação dos processos físicos na parametrização de nuvens que dificulta os processos de balanço de massa e energia com a superfície, que gera maiores incertezas tanto na simulação e previsão de tempo de modelos atmosféricos.

5.4.2. Estação Seca

Observa-se na Figura 19 que o BRAMS e a RNA representaram a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Oiapoque. Um detalhe que vale frisar foi que no período seco, a intensidade vento foram inferiores ao período chuvoso neste ano. O BRAMS superestimou levemente (quase que desprezível) o trimestre com BIAS de (0,04) sendo, praticamente mesmo valor do período chuvoso (0,03). O coeficiente de Pearson de (0,49; correlação moderada) e valor do RMSE de (0,66). Com o refinamento estatístico da RNA, os resultados foram ainda melhores com BIAS (-0,03), r igual (0,84; correlação forte) e RMSE de (0,40).

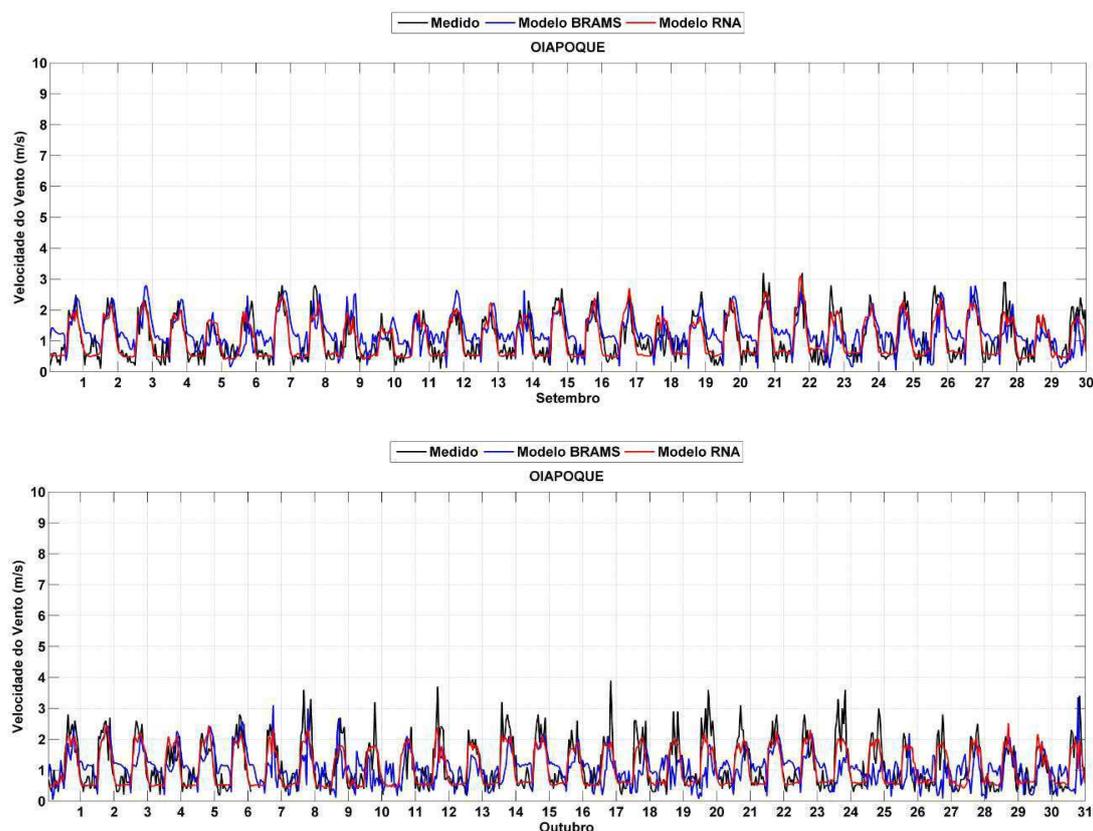


Figura 19: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Oiapoque (AP).

Continuação

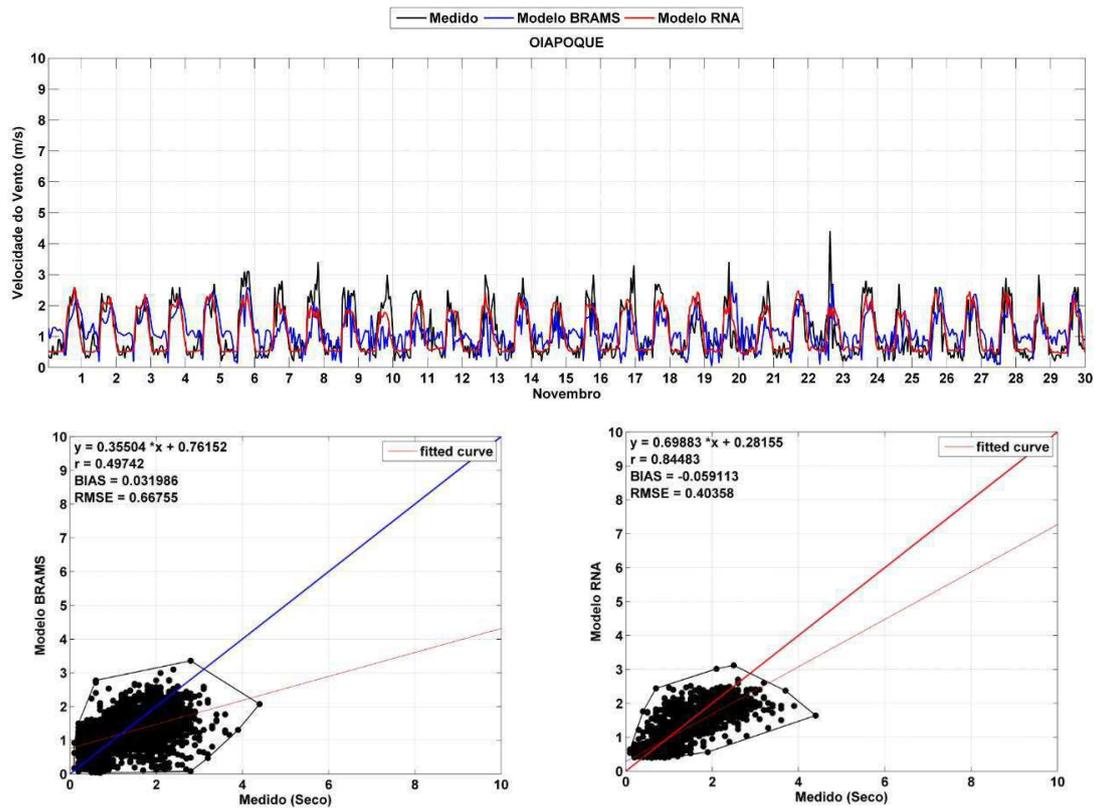


Figura 19: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Oiapoque (AP).

Pode-se observa na Figura 20 que o BRAMS e a RNA representaram a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Tartarugalzinho, exceto nos dias 2 de setembro e 10 de outubro que o BRAMS superestimou e nos 20 de outubro e 16 de novembro que tanto o BRAMS como a RNA subestimaram os valores medidos superiores a 8,0 m/s. O BRAMS subestimou levemente (quase que desprezível) o trimestre com BIAS de (-0,29) sendo, praticamente mesmo valor do período chuvoso (0,20), sendo que foi superestimado. O coeficiente de Pearson de (0,62; correlação moderada) e valor do RMSE de (1,40). Com o refinamento estatístico da RNA, os resultados foram ainda melhores com BIAS (-0,16), r igual (0,91; correlação muito forte) e RMSE de (0,76).

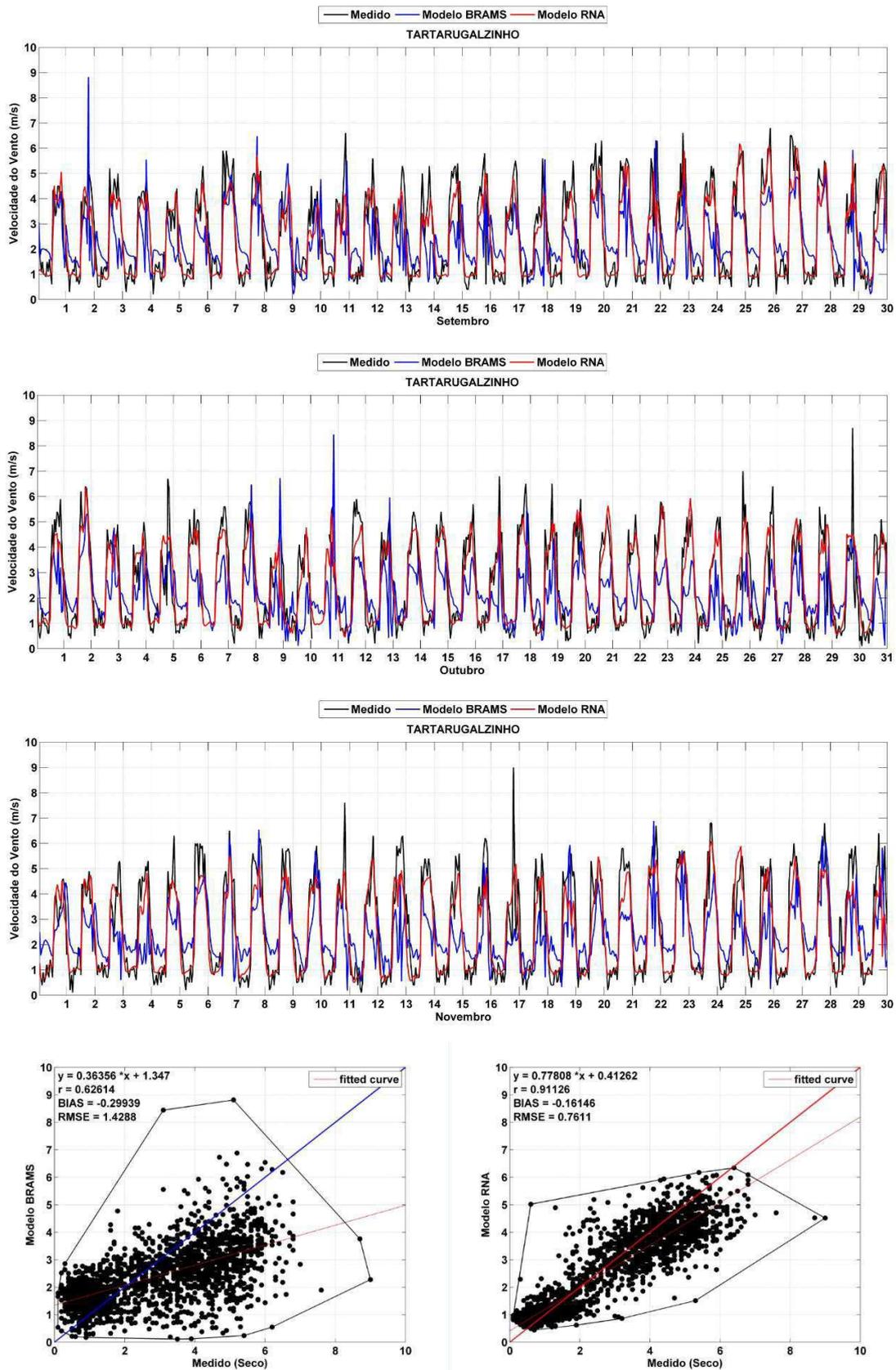


Figura 20: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Tartarugalzinho (AP).

Verifica-se na Figura 21 que o BRAMS subestimou, praticamente, todo período chuvoso e a RNA representou a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Macapá, com exceção nos dias 4, 10, 14 de setembro, 6,7 20 de outubro e 4,10, 17 e 28 de novembro em que a intensidade do vento foi superior a 8,0 m/s e a RNA não conseguiu reproduzir. O BRAMS subestimou o trimestre com BIAS de (-2,70), com coeficiente de Pearson de (0,23; correlação fraca) e valor do RMSE de (3,53). Com o refinamento da RNA, os resultados foram melhores com BIAS (-0,10) que reduziu a subestimação, r igual (0,66; correlação moderada) e reduziu cerca de 52% o RMSE de (1,70) em relação ao BRAMS.

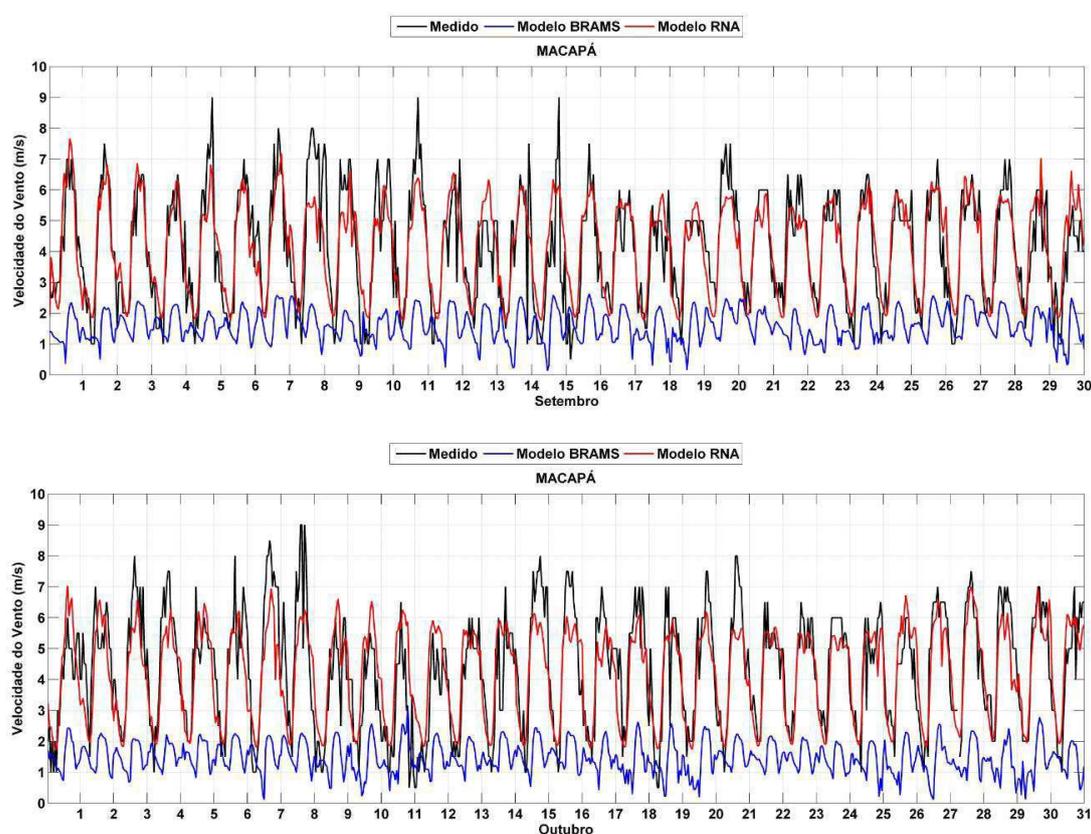


Figura 21: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Macapá (AP).

Continuação

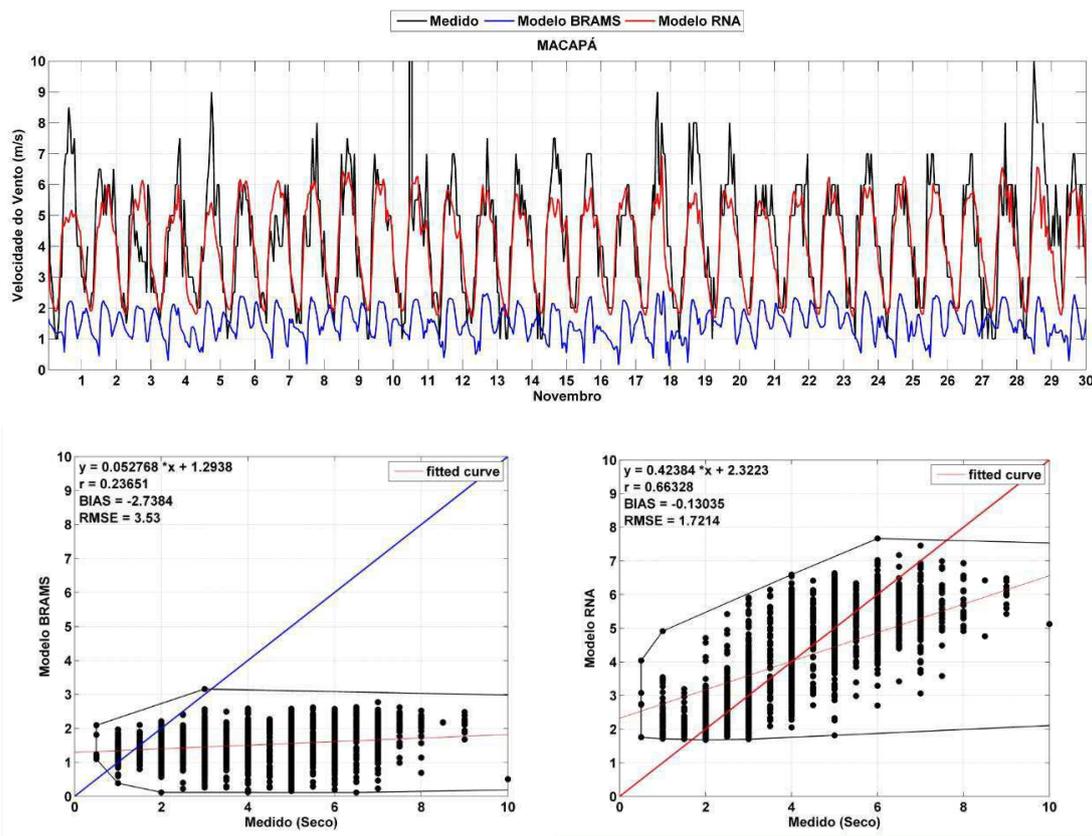


Figura 21: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Macapá (AP).

Já na Figura 22, o BRAMS subestimou, levemente e praticamente, todo período seco (diferente do período chuvoso) e a RNA representou a variabilidade da velocidade do vento bastante eficiência tanto nos valores máximos como mínimos em Soure. O BRAMS subestimou o trimestre com BIAS de (-0,77), com coeficiente de Pearson de (0,48; correlação moderada), melhor também, que no período chuvoso e RMSE de (1,23). Com o refinamento da RNA, os resultados foram melhores com BIAS (-0,10) que reduziu a subestimação do BRAMS, r igual (0,61; correlação moderada) e RMSE de (0,68). Destacaram-se as reduções do BIAS e RMSE cerca de 87 e 45%, respectivamente, com uso da RNA.

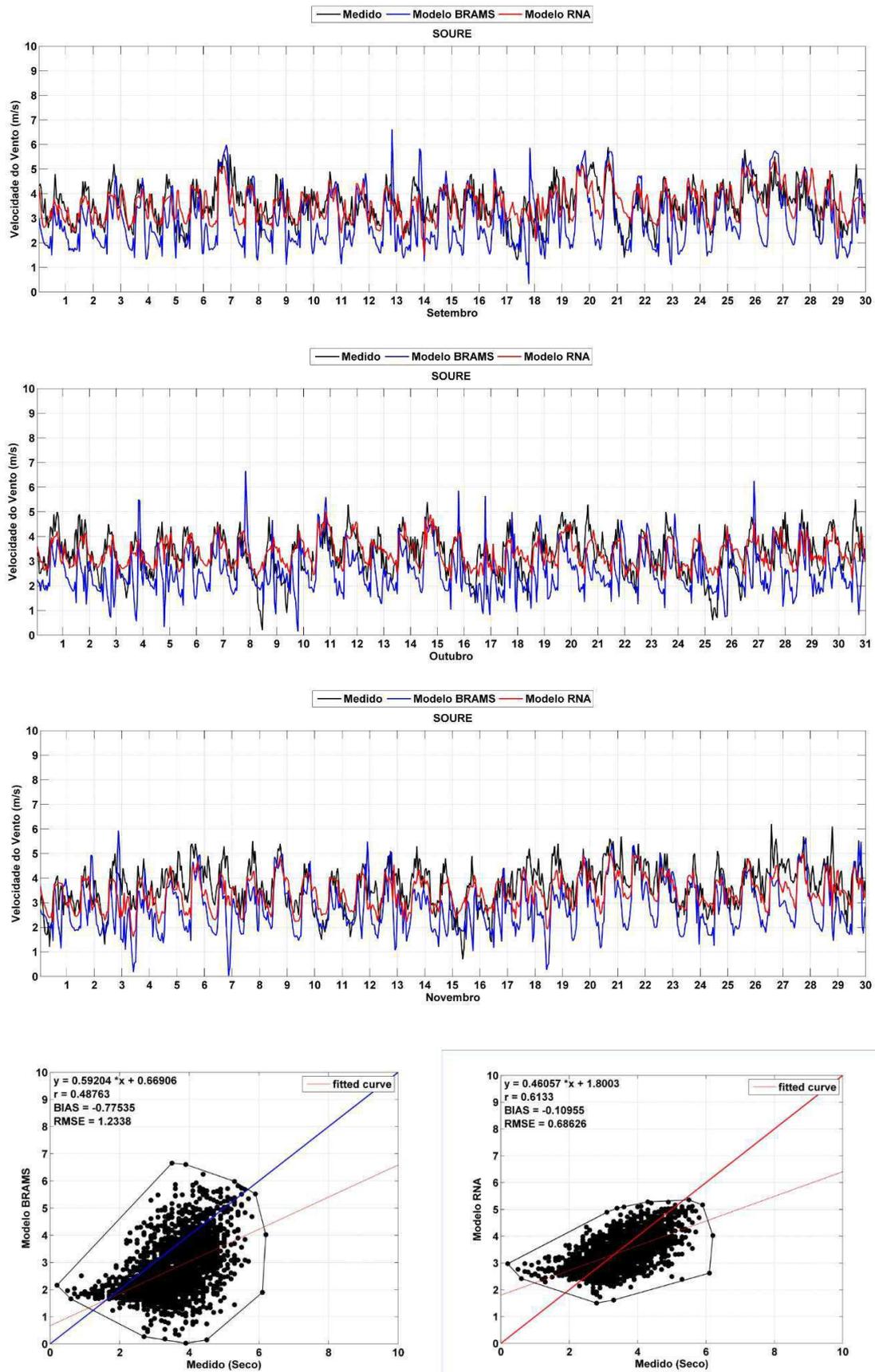


Figura 22: Variabilidade da velocidade do vento no período seco e gráficos de dispersão do BRAMS (Azul) e RNA (Vermelho) em Soure (PA).

A utilização do modelo BRAMS em simular a variabilidade da intensidade do vento para região norte do Brasil foi bastante eficiente e seu desempenho através dos índices estatístico foram formidáveis comparados a outros trabalhos que usaram mesmas formas de avaliação do vento como (CRUZ SEGUNDO, 2009; ARAÚJO JUNIOR *et al.*, 2014; LIMA *et al.*, 2014, PINTO *et al.* 2014, SANTOS, 2014)

5.5. Função de Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é bastante utilizada para avaliar a frequência da velocidade de vento, principalmente, para prospecção de energia eólica. Apesar dos modelos atmosféricos apresentarem evolução ao longo dos anos, não é trivial simular a variabilidade do vento pelo fato de se tratar de uma variável estocástica ou pelo física simplificada de muitos modelos. No entanto, saber a frequência da intensidade do vento já um indicativo para estudos e monitoramento do vento. Nas Figuras 23, 24, 25 e 26 foram comparadas os histogramas dos dados medidos, simulados pelo BRAMS e ajustados pelas RNAs. Foram escolhidas estas estações por apresentam maior quantidade dados medidos, mas no Anexo IV estão apresentadas as demais estações utilizadas neste estudo. Além disso, foram agrupados os dados velocidade de vento na faixa de 0,25 m/s.

Observa-se na Figura 23 o histograma de vento para Oiapoque, onde cerca de 70% dos ventos medidos foram entre 0,25 a 0,75m/s. O BRAMS conseguiu reproduzir 15% dessa faixa e o uso da RNA esse valor foi de 30%, que mostra uma eficiência no ajusta estatístico da RNA. Em destaque, verifica-se ventos no intervalo de (0 a 0,25 m/s), que a RNA representou um pico de 71%, muito superior aos medidos 11% e simulados 3%. Destaca-se ainda valores residuais medidos que não foram representados nem pelo BRAMS e RNA.

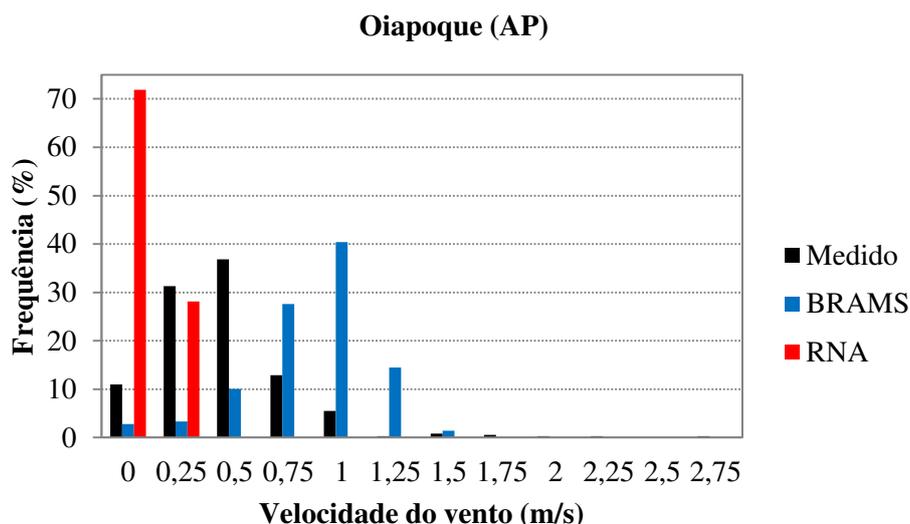


Figura 23: Histograma da intensidade do vento para Oiapoque.

Observa-se na Figura 24 o histograma de vento para Tartarugalzinho, onde o percentual entre as faixas de 0 a 1, 1 a 2 e 2 a 3 m/s para os dados medidos, do BRAMS e RNA foram 35, 50 e 16%; 8, 45 e 45%; 21, 75 e 3%, respectivamente. Percebe-se que houve uma aproximação nas duas primeiras faixas entre dados medidos e da RNA.

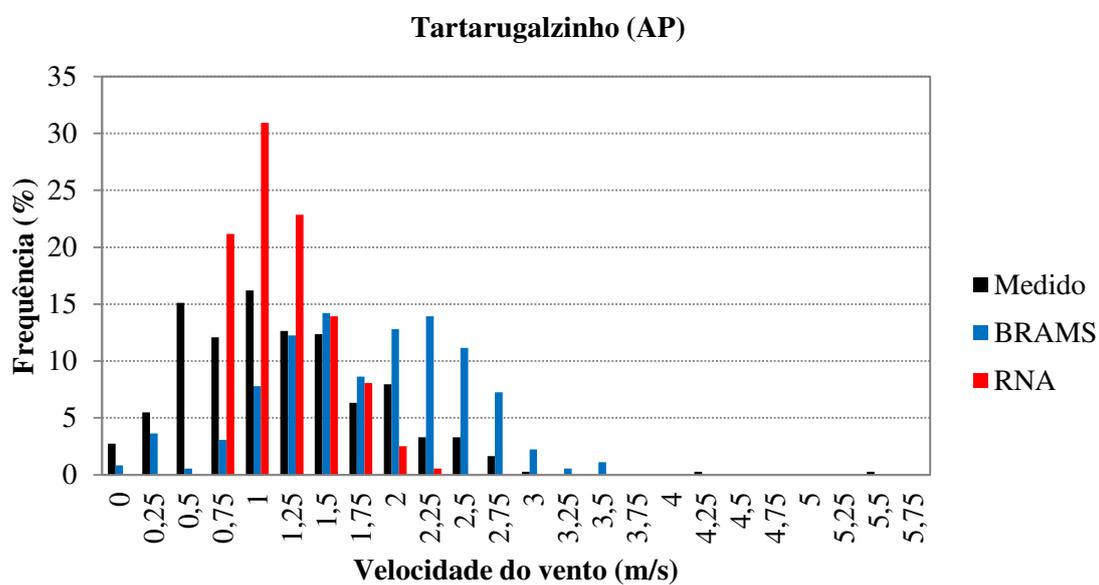


Figura 24: Histograma da intensidade do vento para Tartarugalzinho.

Verifica-se na Figura 25 o histograma de vento para Macapá, onde o percentual entre as faixas de 0 a 1, 1 a 2 e 2 a 3 m/s para os dados medidos, do BRAMS e RNA foram 2, 25 e 50%; 22, 73 e 4%; 2, 15 e 65%, respectivamente. Percebe-se que houve

uma aproximação nos três intervalos entre dados medidos e da RNA, comparado ao BRAMS.

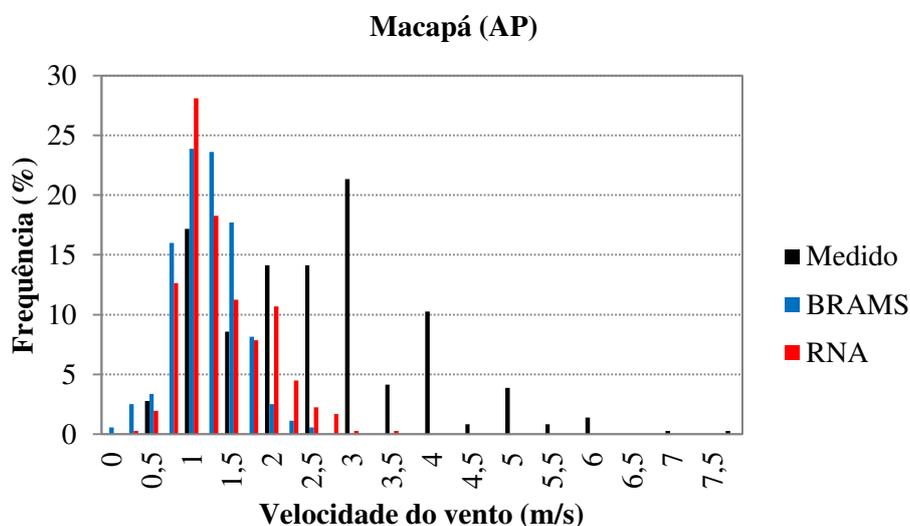


Figura 25: Histograma da intensidade do vento para Macapá.

Pode-se verifica na Figura 26 o histograma de vento para Soure, onde o percentual entre as faixas de 0 a 1, 1 a 2 e 2 a 3 m/s para os dados medidos, do BRAMS e RNA foram 15, 20 e 25%; 4, 30 e 50%; 2, 32 e 30%, respectivamente. Observa-se que houve uma aproximação nos três intervalos entre dados medidos e da RNA, comparado ao BRAMS.

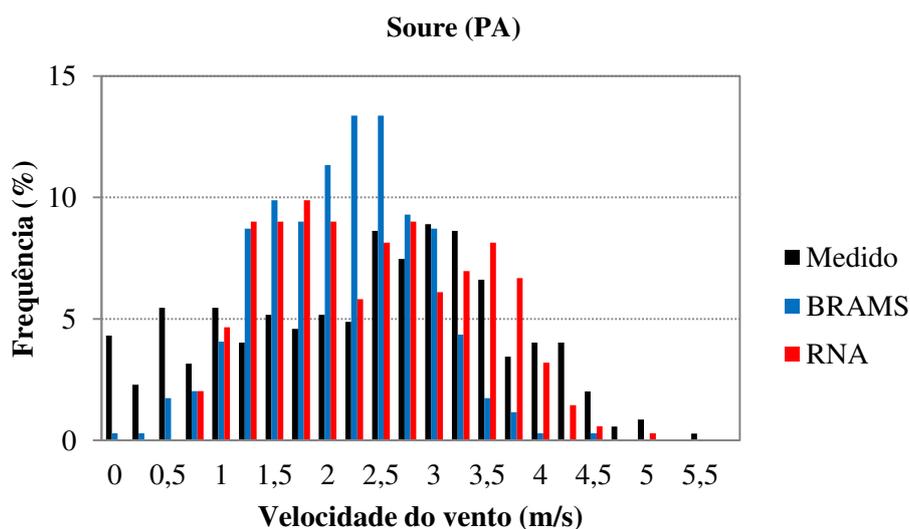


Figura 26: Histograma da intensidade do vento para Soure.

Realizar esse tipo de análise permite reduzir a defasagem da simulação numérica em relação aos dados medidos, visto que, nos modelos de mesoescala os processos

atmosféricos não acontecem no mesmo espaço de tempo da realidade como por exemplo o processo dos fluxos calor na superfície, que permite um retardo ou aceleração das demais interações físicas, conseqüentemente, alterando o escoamento do ar (vento).

Do ponto de vista energético, não é tão fundamental simular a variabilidade do vento, mas sim a frequência com certos intervalos que são necessários para avaliação de potencial eólico. Desde modo, é possível calcular a curva de probabilidade de Weibull para conhecer as características do vento na região de interesse.

Na Tabela 7 foram obtidos os parâmetros de forma k e escala dos dados medidos, simulados no BRAMS e ajustados pelas RNAs. Destacou-se em negrito os resultados mais relevantes entre os dados medidos com o BRAMS (Azul) e medidos com as RNAs (preto). Vale lembrar que só foram utilizados dados simulados e ajustados pelas RNAs de acordo com a quantidade de dados medidos para não comprometer estatisticamente a análise. É possível observar que o BRAMS representou melhor o parâmetro k , sendo que apenas em Castanhal os valores foram próximos. Já o parâmetros de escala, que mede, aproximadamente a velocidade média da distribuição de Weibull, a RNA foram que melhor estimaram, que era de se esperar pelo fato dados valores estarem ajustados aos medidos. Além disso, verifica-se um excelente aproximação dos dados medidos com o BRAMS e ainda melhores com as RNAs.

Tabela 7: parâmetros da FDP de Weibull.

Estação meteorológica	Parâmetros de Weibull					
	k			c (m/s)		
	Medido	BRAMS	RNA	Medido	BRAMS	RNA
Oiapoque (AP)	5,22	4,15	5,76	1,09	1,09	0,54
Tartarugalzinho (AP)	1,91	3,06	4,07	1,46	2,15	1,42
Macapá (AP)	2,10	3,48	4,02	2,87	1,43	2,66
Soure (PA)	1,91	3,40	4,43	2,75	2,52	0,94
Belém (PA)	1,81	4,74	4,43	0,99	1,44	0,94
Castanhal (PA)	1,69	1,29	2,58	1,74	2,38	1,84
Tomé Açu (PA)	1,11	3,39	5,54	0,99	1,41	1,00
Cametá (PA)	1,60	2,64	2,62	1,40	1,46	1,35

Ainda na Tabela 7, a estação que apresentou menor pico de velocidade de acordo com o valor de k foi Tomé Açu seguido de Cametá e com maior valor foi Oiapoque, pois a quantidade de dados entre 0 e 0,25m/s foi cerca de 70%. Além disso, os parâmetros, suas magnitudes estão de acordo com (AMARANTE, 2001). A velocidade média de acordo com o valor de c (m/s) foi Macapá seguido de Soure. O conhecimento desses

parâmetros são essenciais para uma investigação detalhada para fins de avaliação de potencial eólico.

5.6. Aplicação: Análise Espacial da variabilidade do vento

A utilização de modelos atmosféricos para simular a variabilidade do vento é uma ferramenta importante principalmente quando não tem registros de dados observacionais em locais remotos. Em se tratando de Amazônia, a baixa densidade de estações meteorológicas na extensa região inviabilizar estudos detalhados para monitorar locais com potencial eólico. Com uso do BRAMS, após o processo de validação, foi possível investigar regiões com intensidade de vento significativas de fins energéticos.

Nas Figuras 27 são apresentadas as velocidades médias do vento anual, do período chuvoso e seco, respectivamente. Além disso, no Anexo V são mostrados a variabilidade espacial mensal. Observa-se no Amapá duas regiões que podem ser investigadas para fins de energia eólica como na região Sudeste, na qual a velocidade média anual apresentou valores na ordem de até 5,50 m/s, onde esta região se destaca pela sua topografia elevada, que é uma forçante para intensificação da velocidade. Na costa Leste, com destaque para Macapá (0,06S e 51,06W) mostrou vento na escala de 4,5 m/s, onde a capital do Estado é favorecida com a canalização dos ventos Alísios e efeito de brisas durante todo ano. Na Ilha do Marajó, destacam-se duas regiões: a parte Nordeste apresenta vento médios anuais de 3,0 m/s e no Sudoeste, os ventos chegam a 4,0 m/s e os resultados então na mesma magnitude no estudo de CRUZ SEGUNDO (2009). Na localidade de (1S, entre 48 e 47W), também, é uma região que deve ser monitorada pois os ventos apresentaram valores entre 3 e 3,5 m/s.

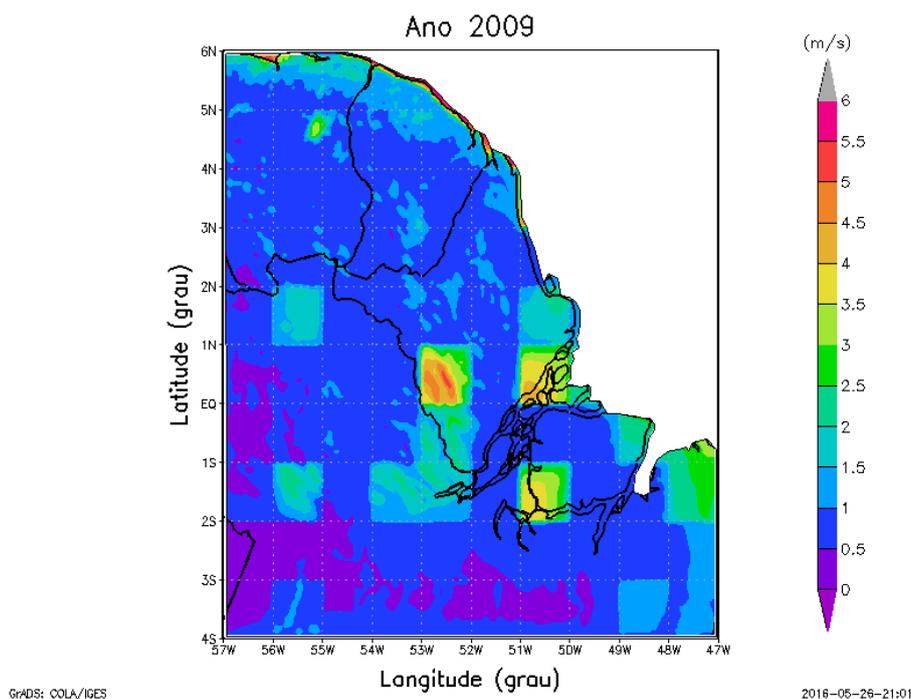


Figura 27: Velocidade média anual da velocidade do vento a 10m de altura.

Quando analisado o período chuvoso (Figura 28a), o Estado do Amapá apresenta as mesmas duas regiões que podem ser investigadas para fins de energia eólica como na região sudeste que a velocidade média apresentou valores na ordem de até 5,50 m/s. Na costa leste, com destaque Macapá (0,06S e 51,06W) mostrou uma redução na magnitude do vento na escala de 3,0 m/s. Na Ilha do Marajó, destacam-se duas regiões, porém e possivelmente com baixo aproveitamento energético. Na região de (1S, entre 48 e 47W), os valores continuaram com as mesmas intensidades com valores entre 3 a 3,5 m/s.

Para o período seco (Figura 28b), o Estado do Amapá uma área mais extensa para investigação de potencial eólico com destaque ainda para as duas regiões no sudeste que a velocidade média apresentou valores na ordem de até 6,0 m/s. Na costa leste, com destaque Macapá (0,06S e 51,06W) mostrou vento na escala de 5,5 m/s. Na Ilha do Marajó, destacam-se duas regiões: A parte nordeste apresentam vento médios anuais de 3,5 m/s e no sudoeste, os ventos chegam a 5,0 m/s. Na região de (1S, entre 48 e 47W), também, é uma região que deve ser monitorada pois os ventos apresentaram valores entre 3,5 a 4,0 m/s.

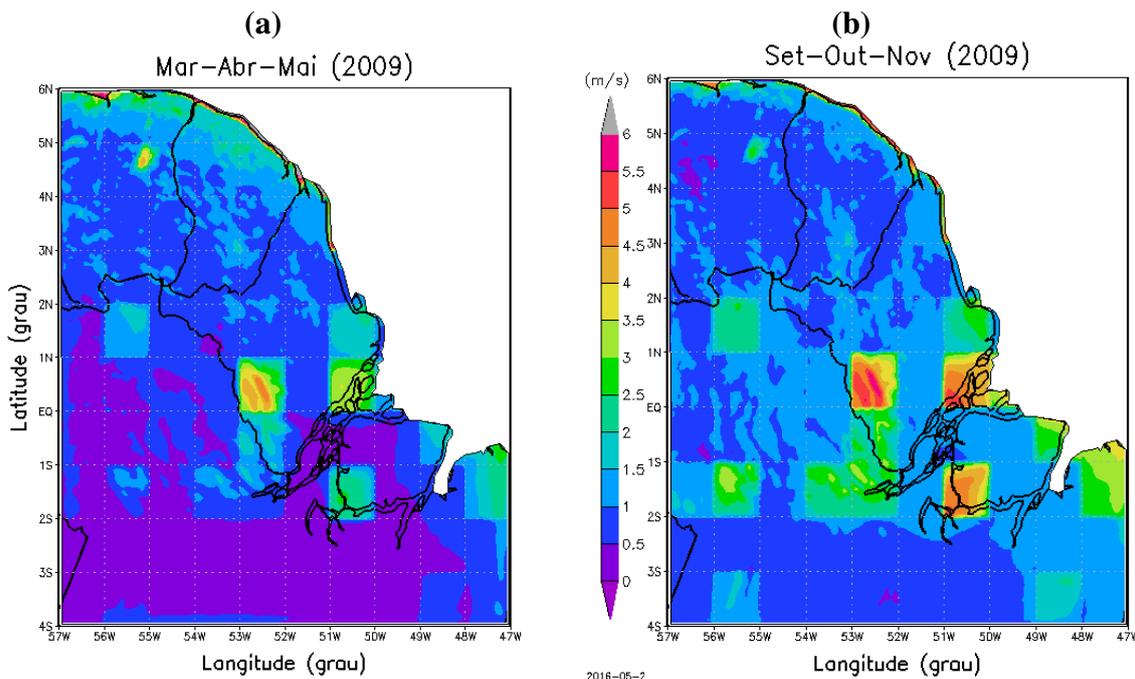


Figura 28: Velocidade média no período chuvoso (a) e período seco (b) da velocidade do vento a 10m de altura.

Outra variável importante para estudos de potencial eólico é a densidade de potência média (equação 3). Na Figura 29 são apresentadas as densidades médias de potência do vento anual, do período chuvoso e seco, respectivamente. Além disso, no Anexo VI são mostrados a variabilidade da densidade de potência mensal. Observa-se no Amapá duas regiões que podem ser investigadas para fins de energia eólica como na região Sudeste, na qual a densidade média de potência apresentou valores de até 90 W/m^2 . Na costa Leste, com destaque para Macapá ($0,06\text{S}$ e $51,06\text{W}$) mostrou vento na escala de 50 W/m^2 , $4,5 \text{ m/s}$. Na Ilha do Marajó, no Sudoeste, a densidade foi de 40 W/m^2 . Na demais regiões a densidade média foi inferior a 10 W/m^2 .

No período chuvoso, praticamente, apenas no estado do Amapá mostrou de densidade superiores a 30 W/m^2 nas regiões Sudoeste e Sudeste. Já no período seco, que apresenta valores de velocidade do vento maiores comparado ao período chuvoso, é possível observar vários pontos com densidade de potência favoráveis para estudos detalhados do potencial eólico. Destacam-se o Sudoeste e Sudeste do Amapá com densidade de até 130 e 120 W/m^2 , respectivamente. Na Ilha do Marajó, os valores foi de até 90 W/m^2 .

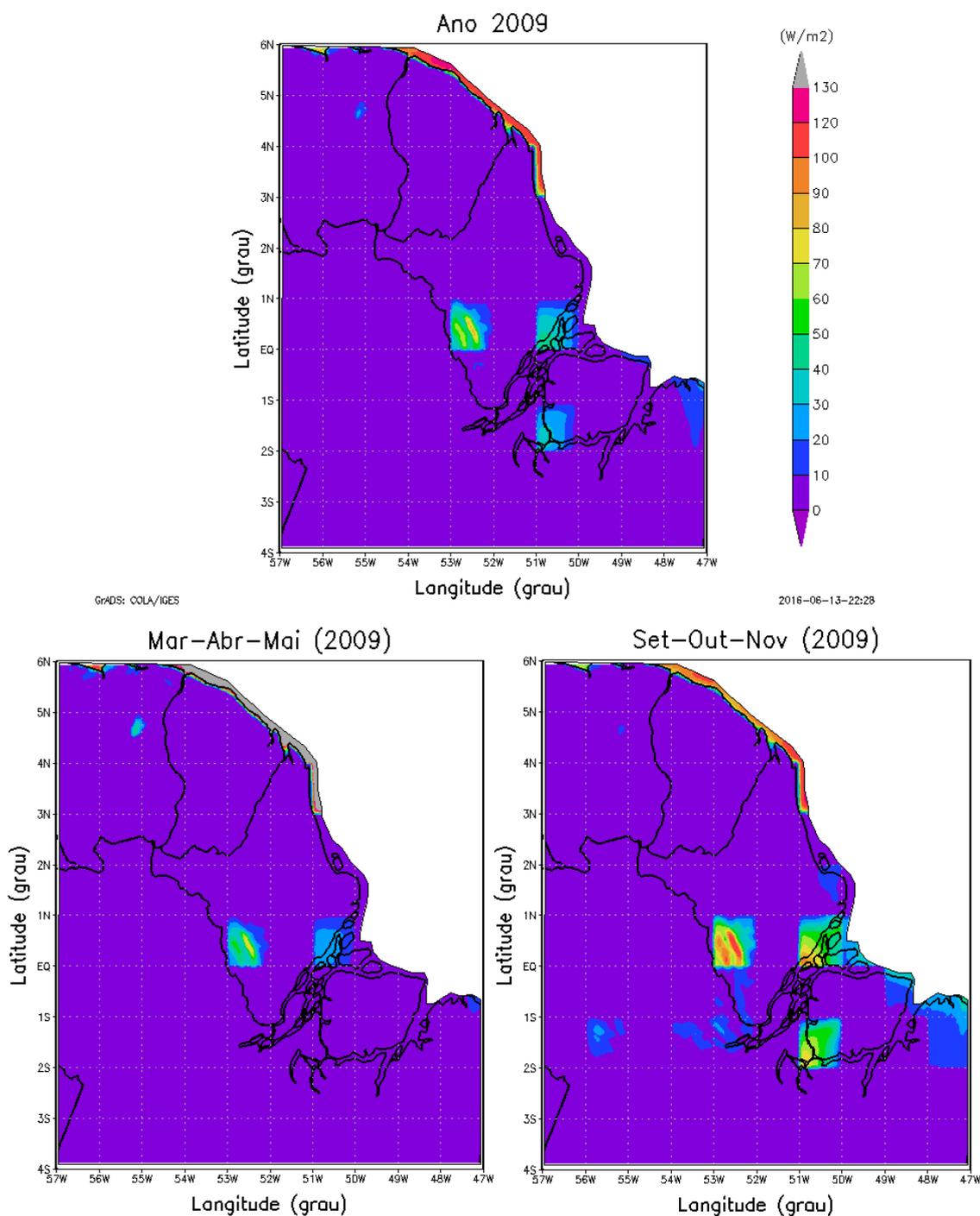


Figura 29: Densidade média de potência anual (a), período chuvoso (b) e período seco da velocidade do vento a 10m de altura.

Vale frisar que para instalação de turbinas eólicas (aerogeradores), o uso de modelos numéricos é apenas uma ferramenta de um estudo preliminar para se obter um indicativo potencial eólico local. É fundamental conhecer as características da região como topografia, finalidade da energia gerada e a facilidade de acesso.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

O estudo alcançou os objetivos propostos na Tese como utilizar o modelo de mesoescala BRAMS na simulação da variabilidade do vento, para fins de caracterização e avaliação de potencial eólico no Estado do Amapá e parte da região litorânea do Pará (Brasil).

A variabilidade da velocidade do vento foi avaliada em 8 estações meteorológicas, onde foram analisadas apenas estações com quantidade de dados superiores a 60% medidos nas escalas de tempo horária e mensal. No Amapá, a velocidade média do vento horária foi maior em Macapá com valor igual a 3,23 m/s. No Pará, em Soure foi onde houve a maior média da velocidade com 2,61 m/s. Na verificação mensal, Macapá (AP) e Soure (PA) seguiram apresentando os valores mais expressivos para velocidade com 3,23 e 3,00 m/s, respectivamente.

Foi aplicado um refinamento estatístico com uso de RNAs para ajuste e validação do BRAMS. Os valores dos índices foram significativos, que aumenta a credibilidade dos resultados da simulação nas diversas escalas de tempo. Na avaliação horária da intensidade do vento tanto o BRAMS como as RNAs reproduziram com fidelidade a variabilidade do vento, praticamente, em todas as estações. Na análise diária, também, foi possível obter resultados satisfatórios da simulação e das RNAs, exceto para Macapá que o modelo de mesoescala subestimou durante todo ano. Na escala mensal, as RNAs reproduziram com alto desempenho a variabilidade do vento em todas as estações.

Na análise da direção do vento, o modelo de mesoescala mostrou resultados relevantes em todas as estações, inclusive com suas magnitudes, exceto em Belém que a direção predominante medida foi de Leste e o modelo reproduziu de Nordeste.

No estudo de casos para os períodos chuvoso e seco, foram verificados observados que tanto o BRAMS como as RNAs, também, representaram a variabilidade da intensidade do vento em todas as estações, exceto Macapá que o modelo atmosférico subestimou. Os índices estatísticos (BIAS, RMSE e r) aplicados nas comparações entre os dados foram relevantes estatisticamente para o BRAMS e ainda melhores com as RNAs. Tanto o BIAS como o RMSE apresentam valores próximos de zero que são resultados satisfatórios do ponto de vista estatístico. Os coeficientes de Pearson foram na maioria classificados como correlações Moderadas (0,40 a 0,69) alcançando correlações Muito Forte (0,90 a 1,0).

Os histogramas de frequência da magnitude de vento foram gerados e comparados entre dados medidos, do BRAMS e das RNAs. Percebeu-se uma melhora significativa do

ajuste das RNAs com os valores medidos, que é uma evidência do desempenho eficiente da simulação numérica. Em seguida, observou-se os parâmetros de Weibull das FDPs, em que o BRAMS apresentou melhor o parâmetro de forma na maioria dos pontos de estudo e, as RNAs mostraram representação mais eficiente dos parâmetros de escala.

Do ponto de vista energético, foi possível investigar espacialmente a velocidade média do vento durante o ano e nos períodos chuvoso e de estiagem. Observou-se na análise anual pontos no Sudoeste e Sudeste do Amapá, Nordeste e Sudoeste da Ilha do Marajó e parte do litoral do Pará regiões com potencial eólico para estudos mais detalhados. No período chuvoso, apenas no Amapá e na Ilha do Marajó apresentaram possíveis regiões com aproveitamento eólico. No entanto, durante o período seco houve aumento de regiões com magnitudes da velocidade do vento relevantes para fins de prospecção de energia proveniente do vento.

Além disso, outra variável energética verificada foi a densidade média de potência que seguiu o mesmo padrão da intensidade do vento durante o ano e nos períodos chuvoso e seco.

Utilizar simulação numérica em regiões com carência ou falhas de dados medidos como a região norte do Brasil é uma tarefa bastante difícil de para obtenção de resultados ainda mais confiáveis. Apesar dos resultados satisfatórios obtidos no estudo desta Tese, fica algumas sugestões de trabalhos futuros:

- Utilizar outros modelos numéricos como WRF para verificar seu desempenho na região Norte.
- Simular vários anos seguidos para obter com maior precisão a variabilidade do vento na Amazônia;
- Utilizar outras fontes de dados para condições de contorno do BRAMS como NCEP e MERRA/NASA;
- Utilizar outras técnicas estatísticas de ajuste e validação das simulações como Regressão Linear Múltiplas, outros índices estatísticos como o índice de concordância de Wilmontt e de Nash-Suttcliffe. Além disso, testar outros preditores no uso das RNAs.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKPINAR, S.; AKPINAR, E. K. Estimation of wind energy potential using finite mixture distribution models. **Energy Conversion and Management**. v. 50, p. 877–884, 2009.

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001.

ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SILVA, E. M.; COSTA, A. C.; SALES, D. C.; VASCONCELOS JUNIOR, F. C.; 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, 139 - 152, 2014.

BÚRIGO, V. C. **Análise da modelagem numérica do vento para avaliação do potencial eólico em um terreno complexo empregando CFD**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), 94p, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2014.

CARLA, J. A.; RAMIREZ, P.; VELÁZQUEZ, S. A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands. *Renewable and Sustainable*. **Energy Reviews**. v. 13, p. 933–955, 2009.

CARVALHO, I. V.; MESQUITA, A. L.; SANTOS, F. G. L.; SANTOS, J. S. Densidade de potencial eólico nas diferentes regiões do estado do Ceará – Litoral, Serra, Sertão. **Revista Geonorte**. Edição especial 2, v.2, n.5, p. 1317 – 1327, 2012a.

CARVALHO, D.; ROCHA, A.; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; SANTOS, C. A Sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. **Environmental Modelling & Software**. vol. 33, p. 23-34, 2012b.

CHANG, T. P. Estimation of wind energy potential using different probability density functions. **Applied Energy**. p. 1848–1856, 2011.

CHEN, C.; COTTON, W. R. A one dimensional simulation of the stratocumulus capped mixed layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 25, p. 289-321, 1983.

CHOU, S. C.; NETO, A. C. P.; CHAGAS, D. J.; LYRA A. A.; PERREIRA, E. B. Mapeamento eólico para o Nordeste. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis. Florianópolis. **Anais... XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2006.

COHEN, J. C. P.; SÁ, L. A ; NOGUEIRA, D. S.; GANDU, A. W. Jatos de Baixos Níveis Acima da Floresta Amazônica em Caxiuanã (PA). **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v. 21, p. 271-282, 2006.

COTTON, W. R.; PIELKE, R. A.; WALKO, R. L.; LISTON, G. E.; TREMBACK, C. J.; JIANG, H.; McANELLY, R. L.; HARRINGTON, J. Y.; NICHOLLS, M. E.; CARRIO, G. G.; McFADDEN, J. P. Rams 2001: Current status and future directions. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 82, p. 5-29, 2003.

CUNHA, A. C.; VILHENA, J. E. S. V.; SANTOS, E. S.; SARAIRA, J. M. B.; KUHN, P. A. F.; BRITO, D. C.; SOUZA, E. B. ROCHA, E. P.; CUNHA, H. A.; BRITO, A. U.; BRASIL JUNIOR, A. C. P.; PACA, V. H. M.; SANTOS, P. V. C. J. Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.especial, p. 95 - 110, 2014.

CRUZ SEGUNDO, I. V. **Estudo de energia eólica para a ilha de Marajó - PA**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

DALMAZ, A. **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade em Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2007

Demuth, H.; Beale, M.; Hagan, M. **Neural network toolbox user's guide – Version 4 – for use with MATLAB®**. The MathWorks Inc. Disponível em: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/nnet/nnet.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**/ Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2015.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Ed. UFSM. 2010. 244p.

GUARNIERI, R. A. **Emprego de redes neurais artificiais e regresso linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo ETA**. 2006. 171 p. (INPE-14172-TDI/1089). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

GUERRINI, I.M. **Fontes Alternativas de Energia**, 2001. Disponível em <http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/fontes_eletrica.html>. Acesso em: 27 jun. 2014.

GLOBAL wind report: Annual market 2010. **Global Wind Energy Council (GWEC)**. 2011. Disponível em: www.gwec.net. Acesso em: 15 de março de 2015.

GONÇALVES, A. R. **Refinamento estatístico das previsões de vento do modelo Eta aplicado ao setor eólio-elétrico do nordeste brasileiro**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 180p., 2011.

ISLAM, M. R.; SAIDUR, R.; RAHIM, N. A. Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function. **Energy**. v. 36, p. 985–992, 2011.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2001. 900p.

KOLETSIS, I.; KOTRONI, V.; LAGOUVERDOS, T. SOUKISSIAN, T. Assessment of offshore wind speed and power potential over the Mediterranean and the Black Seas

under future climate changes. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**. v. 20, p. 234-245, 2016.

KUO, H. L. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, p.1232-1240, 1974.

MENDES, D.; MARENGO, J. A. Temporal downscaling: a comparison between artificial neural network and autocorrelation techniques over the Amazon Basin in present and future climate change scenarios. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 100, n. 3-4, p. 413-421, may 2010. doi:10.1007/s00704-009- 0193-y

MELLOR, G., YAMADA, T. Desenvolvimento de a turbulence closure model for use in geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 20, p. 851-857,1982.

MOLINARI, J. A general form of Kuo's cumulus parameterization. **Montly Weather Review**, v. 113, p. 1411-1416, 1985.

LIMA, F. J. L.; AMANAJÁS, J. C.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, E. M. Análises de Componente Principal e de Agrupamento para estudo de vento para geração de energia eólica na região do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. **Revista Ambiente Água**, v. 5, n. 2, p. 188-201, 2010.

LIMA, F. J. L.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, E. M. Evaluation of the Wind Power in the State of Paraíba Using the Mesoscale Atmospheric Model Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modelling System. **ISRN Renewable Energy**, v. 2012, p. 16, 2012.

LIMA, F. J. L.; PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R. . Forecast of Short-term Solar Irradiation in Brazil Using Numerical Models and Statistical Post-processing. **Forecast of Short-term Solar Irradiation in Brazil Using Numerical Models and Statistical Post-processing**, v. 1, p. 1-10, 2015.

LIMA, F. J.L.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; LORENZ, E. ; HEINEMANN, D. Forecast for surface solar irradiance at the Brazilian Northeastern region using NWP model and artificial neural networks. **Renewable Energy**, v. 87, p. 807-818, 2016.

MORALES, L.; LANG, F.; MATTAR, C. Mesoscale wind speed simulation using CALMET model and reanalysis information: An application to wind potential. **Renewable Energy**. v. 48, p. 57–71, 2012.

OLIVEIRA, S. S. **Análise do potencial eólico do estado da Paraíba utilizando modelos de mesoescala**. Tese de Doutorado (Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, 133p., 2013.

PAIVA NETO, A. C.; LYRA, A. A.; CHOU, C. S.; PEREIRA, Ê. B. Estimativa preliminar do potencial eólico sobre o estado de Santa Catarina. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. **Anais... XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2004. v. único.

- PES, M. P. **Estudo do impacto das mudanças climáticas no potencial eólico do estado do Rio Grande do Sul para os períodos de 2010 a 2040 e 2070 a 2100.** Dissertação de Mestrado (Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 174p., 2009.
- PINTO, M. O. **Fundamentos de energia eólica.** Rio de Janeiro, LTC, 2013, 377p.
- PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; FISCH, G. F.; LYRA, R. F. F. Confiabilidade nas estimativas do regime do vento fornecidas pelo BRAMS no estado de Alagoas: Influência do aninhamento e da resolução horizontal de grades. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.2, p. 242 - 258, 2014.
- REED, R. **Pruning algorithms** – a survey. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v.4, n.5, p. 740-746, 1993.
- ROCHA, P. A. C.; SOUSA, R. C.; ANDRADE, C. F.; SILVA, M. E. F. Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region of Brazil. *Applied Energy*. v. 89, p. 395–400, 2012.
- SANTOS, A. T. S. **Em estudo sobre a variabilidade do vento no nordeste do Brasil através de métodos estatísticos e via modelos dinâmicos de meso e microescala.** Tese de Doutorado (Meteorologia), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 124 p., 2014.
- SOBRAL, F. S. B. **Avaliação do potencial eólico para geração de energia na zona rural do estado de Sergipe.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão (Sergipe), 2009.
- SOUZA, E. P. **Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica.** 1999. 121 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- WALKO, R. L.; COTTON, W. R.; MEYERS, M. P.; HARRINGTON, J. Y. New rams cloud microphysics parameterization. 1. The single-moment scheme. *Atmospheric Research*, v. 38 (1-4), p. 29-62, 1995.

ANEXO I

```

=====
$MODEL_GRIDS
EXPNAME = 'BRAMS version 5.2',
RUNTYPE = 'INITIAL', ! Type of run: MAKESFC, INITIAL, HISTORY,
           ! MAKEVFILE, or MEMORY
TIMEUNIT = 'h', ! 'h','m','s' - Time units of TIMMAX, TIMSTR, VTIME
TIMMAX = 288., ! Final time of simulation
! Start of simulation or ISAN processing
IMONTH1 =02, ! Month
IDATE1 =14, ! Day
IYEAR1 =2009, ! Year
ITIME1 =0000, ! GMT of model TIME = 0.
! Grid specifications
NGRIDS = 1, ! Number of grids to run
           ! **version 5.x of BRAMS only admits 1 grid**
NNXP = 222, 318, 154, ! Number of x gridpoints
NNYP = 222, 346, 102, ! Number of y gridpoints
NNZP = 38, 38, 38, ! Number of z gridpoints
NZG = 7, ! Number of soil layers
NZZ = 1, ! Maximum number of snow layers
NXTNEST = 0,1,2,3, ! Grid number which is the next coarser grid
           ! Coarse grid specifications
IF_ADAP = 0,

IHTRAN = 1, ! 0-Cartesian, 1-Polar stereo
DELTAX = 5000., ! X grid spacing
DELTAY = 5000., ! Y grid spacing

DELTAZ = 100, ! Z grid spacing (set to 0. to use ZZ)
DZRAT = 1.1, ! Vertical grid stretch ratio
DZMAX = 1000., ! Maximum delta Z for vertical stretch
! Vertical levels if DELTAZ = 0
ZZ = 0.0,
    20.0, 46.0, 80.0, 120.0, 165.0,
    220.0, 290.0, 380.0, 480.0, 590.0,
    720.0, 870.0, 1030.0, 1200.0, 1380.0,
    1595.0, 1850.0, 2120.0, 2410.0, 2715.0,
    3030.0, 3400.0, 3840.0, 4380.0, 5020.0,
    5800.0, 6730.0, 7700.0, 8700.0, 9700.0,
    10700., 11700., 12700., 13700., 14700., 15700., 16700.,
    17700., 18700., 19700.,

DTLONG = 30., ! Coarse grid long timestep
NACOUST = 3, ! Small timestep ratio
IDELTAT = -1, ! =0 - constant timesteps
           ! >0 - initial computation <0 - variable

           ! Nest ratios between this grid
           ! and the next coarser grid.
NSTRATX = 1 ! x-direction
NSTRATY = 1 ! y-direction
NNDTRAT = 1 ! Time

NESTZ1 = 0, ! Contort coarser grids if negative
NSTRATZ1 = 2, !

```

```

NESTZ2 = 0, ! Contort coarser grids if negative
NSTRATZ2 = 3, !

POLELAT = 1.00, ! Latitude of pole point
POLELON = -52.00, ! Longitude of pole point

CENTLAT = 1.00, ! Latitude of grid center
CENTLON = -52.00, ! Longitude of grid center

! Grid point on the next coarser
! nest where the lower southwest
! corner of this nest will start.
! If NINEST or NJNEST = 0, use CENTLAT/LON
NINEST = 1, ! i-point
NJNEST = 1, ! j-point
NKNEST = 1, ! k-point

NNSTTOP = 1, ! Flag (0-no or 1-yes) if this
NNSTBOT = 1, ! Nest goes the top or bottom of the
! coarsest nest.
$END

$CCATT_INFO

CCATT = 0, ! 1 - CCATT environmental model activated
! 0 - OFF

CHEMISTRY = -1, ! -1- only atmospheric model
! 0- only tracer transport with atmos. model
! 1- activate the loss/production by kinetic chemical
! and photochemical reactions, with solver 1
! 2- activate the loss/production by kinetic chemical
! and photochemical reactions, with solver 2
! 3- Rosenbrock 2nd order - dynamic timestep
! 4- Rosenbrock "RODAS3" 3rd order - dynamic timestep

SPLIT_METHOD = 'SYMMETRIC',! Splitting operator method
! 'SYMMETRIC' = sequential symmetric (D->Q->D)
! 'SEQUENTIAL' = sequential at right (D->Q)
! 'PARALLEL' = original method (D->)
! (Q->)

CHEM_TIMESTEP = 240., ! chemistry timestep integration (seconds)
! should be an multiple of dtlong (max 4)

CHEMISTRY_AQ = 0, ! 1 - ON
! 0 - OFF aqueous chemistry

CHEM_ASSIM = 0, ! 4dda for chemistry species with mocage data
! 0 - off, 1 - on

SRCMAPFN = 'NONE', ! Source Map file prefix
! use 'NONE' to turn off emissions
! SRCMAPFN = './datain/COND_SRC_TRC/Queima_source', ! Source Map file prefix

RECYCLE_TRACERS = 0,

DEF_PROC_SRC = 'LAST_SOURCES', ! what to do if src files are not available
! (options: STOP, LAST_SOURCES)

```

```

DIUR_CYCLE = 1,1,1,1, ! only works with 1 for all emissions (keep 1).

NA_EXTRA2D = 0, ! Number of extras 2d arrays
NA_EXTRA3D = 0, ! Number of extras 3d arrays

PLUMERISE = 1, ! Plume-rise process for biomass burning emissions
! 0 - off, 1 - on

PRFRQ = 7200., ! plume-rise calculation update frequency

VOLCANOES = 0, ! Volcanic ASH emission/transport/sedimentation
! 0 - off, 1 - on

AEROSOL = 1, ! Simple monodisperse aerosol model
! 0 - off, 1 - on
$END

$TEB_SPM_INFO

TEB_SPM = 0, ! 1-TEB activated 0-off

$END

$MODEL_FILE_INFO

! Variable initialization input

INITIAL = 2, ! Initial fields - 1=horiz.homogeneous,

! ----- Analysis nudging parameters -----
NUD_TYPE = 2, ! =1 - nudge from history files(1-way nest)
! =2 - nudge from varfiles
! =0 - no analysis nudging
! 2=variable

!
VARFPFX = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/IVAR/iv-brams', !
Varfile initialization file prefix
VWAIT1 = 0., ! wait between each VFILE check (s)
VWAITTOT = 0., ! total wait before giving up on a VFILE (s)

NUD_HFILE = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/ANL/BRAMS',
! Header file name for history nudging files (only prefix is used)

NUDLAT = 5, ! Number of points in lateral bnd region
TNUDLAT = 900., ! Nudging time scale(s) at lateral boundary
TNUDCENT = 0., ! Nudging time scale(s) in center of domain
TNUDTOP = 10800., ! Nudging time scale (s) at top of domain
ZNUDTOP = 15000., ! Nudging at top of domain above height(m)

WT_NUDGE_GRID = 1., ! Relative nudging weights for active grids
! =0., turns off nudging for that grid

! These weights will multiply the base timescales
! to determine full nudging weight.
! (Timescales)/(WT_NUDGE_*)
! must be larger than DTLONG
WT_NUDGE_UV = 1., ! Anal nudging weight for u and v
WT_NUDGE_TH = .6, ! Anal nudging weight for theta
WT_NUDGE_PI = 4., ! Anal nudging weight for pi
WT_NUDGE_RT = .6, ! Anal nudging weight for r_tot

```

```

!-----
! History file input

TIMSTR = 0.,      ! Time of history start (see TIMEUNIT)
HFILIN = 'NONE', ! Input history file name

! Analysis file input for assimilation (currently LEAF variables)
IPASTIN = 0,      ! Initialize various fields from analysis file?
                ! 1=yes, 0=no
PASTFN  = 'NONE', ! Input analysis file name

! History/analysis file output

IPOS    = 2,      ! 0=no files, 2-grads files, 1-hdf5(not available yet)
IOUTPUT = 2,      ! 0=no files, 1-hdf5 files, 2-vfm files, 3-mpio files, 4-binary(not available yet)
HFILOUT = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/HIS/BRAMS',
! History file prefix
AFILOUT = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/ANL/BRAMS', !
Analysis file prefix
ICLOBBER = 1,      ! 0=stop if files exist, 1=overwrite files
IHISTDEL = 1,      ! 0=keep all hist files, 1=delete previous
FRQHIS   = 86400., ! History file frequency
FRQANL   = 3600., ! Analysis file frequency

!-----
KWRITE = 0,      ! 1-write,0-don't write scalar K's to anal.

! Printed output controls

FRQPRT = 21600,   ! Printout frequency
INITFLD = 0,      ! Initial field print flag 0=no prnt,1=prnt

! Input topography variables

TOPFILES = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/SFC/top', ! File path and
prefix for topo files.
SFCFILES = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/SFC/sfc', ! File path and
prefix for surface
SSTFPFX  = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/SFC/sst', ! Path and prefix
for sst files
NDVIFPFX = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/SFC/ndv', ! Path and
prefix for ndvi files

ITOPTFLG = 1,      ! 2 - Fill data in "rsurf"
ISSTFLG  = 1,      ! 0 - Interpolate from coarser grid
IVEGTFLG = 1,      ! 1 - Read from standard Lat/Lon data file
ISOILFLG = 1,      ! soil files not yet available: avoid isoilflg=1
NDVIFLG  = 1,      !
                !avoid isoilflg=1

NOFILFLG = 2,      ! 2 - Fill data in "rsurf"
                ! 0 - Interpolate from coarser grid

IUPDNDVI = 1,      ! 0 - No update of NDVI values during run
IUPDSST  = 1,      ! 0 - No update of SST values during run
                ! 1 - Update SST values during run

! The following only apply for IxxxxFLG=1

```

```

ITOPTFN = './shared_datain/SURFACE_DATA/topo1km/EL',
ISSTFN = './shared_datain/SURFACE_DATA/week-sst/2009/W',
IVEGTFN = './shared_datain/SURFACE_DATA/veget/OGE',
ISOILFN = './shared_datain/SURFACE_DATA/soil-fao/FAO',
NDVIFN = './shared_datain/SURFACE_DATA/NDVI-MODIS_h5/N',

! Topography scheme

ITOPSFLG = 0,0,0,1,    ! 0 = Average Orography
                    ! 1 = Silhouette Orography
                    ! 2 = Envelope Orography
                    ! 3 = Reflected Envelope Orography
TOPTENH = 0.,0.,0.,0., ! For ITOPSFLG=1, Weighting of topo
                    ! silhouette averaging
                    ! For ITOPSFLG=2 or 3, Reflected Envelope
                    ! and Envelope Orography enhancement
                    ! factor
TOPTWVL = 3.,2.,2.,    ! Topo wavelength cutoff in filter

! Surface Roughness scheme

IZ0FLG = 0,0,0,    ! 0 = Based off vege, bare soil and water surface
                    ! 1 = Based off subgrid scale topography
ZOMAX = 5.,5.,5.,    ! Max zo for IZ0FLG=1
ZOFACT = 0.005,    ! Subgrid scale orographic roughness factor

! Microphysics collection tables

MKCOLTAB = 0,    ! Make table: 0 = no, 1 = yes
COLTABFN = './tables/micro/ct2.0',! Filename to read or write

MAPAOTFILE = './tables/rad_carma/infMapAOT.vfm',

$END

$MODEL_OPTIONS

! Numerical schemes

! ** this flag is experimental, must be used with caution
! ** only flags 0 and 1 are suitable for parallel runs.
DYNCORE_FLAG = 0, !0- leapfrog Robert-Asselin filter,
                !1- leapfrog Robert-Asselin_Williams filter

ADVMNT = 0,    ! 0 = Forward 2nd order (non-monotonic)
                ! 1 = Walcek monotonic advection
                ! 2 = hybrid: forward 2nd order for thetail,microphysics, TKE and
                !           Walcek scheme for tracers

GHOSTZONELENGTH = 3,    ! Size of ghostzone, only applicable for
                ! ADVMNT > 0

ICORFLG = 1,    ! Coriolis flag/2D v-component - 0=off, 1=on
VVELDAMP = 0,
IEXEV = 2,    ! Exner tendency

```

```

                ! 1- simplest form
                ! 2- complete, mass conservative, solution
                ! (works only with sigma-z coordinate)
IMASSFLX = 0,      ! Output advective and convective mass flux for
                ! STILT Lagrangian Particle Dispersion Modelling
                ! 0 = off, 1 = on

IBND  = 1,        ! Lateral boundary condition flags
JBND  = 1,        ! 1-Klemp/Wilhelmson, 2-Klemp/Lilly, 3-Orlanski
                ! 4-cyclic
CPHAS  = 20.,     ! Phase speed if IBND or JBND = 1
LSFLG  = 0,       ! Large-scale gradient flag for variables other than
                ! normal velocity:
                ! 0 = zero gradient inflow and outflow
                ! 1 = zero gradient inflow, radiative b.c. outflow
                ! 2 = constant inflow, radiative b.c. outflow
                ! 3 = constant inflow and outflow
NFPT   = 0,       ! Rayleigh friction - number of points from the top
DISTIM = 400.,   ! - dissipation time scale

! Radiation parameters

ISWRTP = 6,      ! Shortwave radiation type
ILWRTP = 6,      ! Longwave radiation type
                ! 0-none, 4- CARMA, 6 - RRTMG
                !

! Parameters needed by CARMA radiation scheme
RADDATFN = './tables/rad_carma/rad_param.data',

RADFRQ  = 1200., ! Freq. of radiation tendency update (s)
LONRAD  = 1,     ! Longitudinal variation of shortwave
                ! (0-no, 1=yes)

! Cumulus parameterization parameters

NNQPARM = 5, ! Convective param. flag
                ! 0- off,
                ! 1- Tremback formulation
                ! 2- Grell-Deveny scheme
                ! 3- Grell-3d formulation
                ! 4- Grell-Deveny scheme as implemented in FIM/NOAA model
                ! 5- Grell-Freitas scheme
                ! 6- Grell-Freitas scheme v2016

CLOSURE_TYPE = 'GR', ! Closure type (for Grell Param.):
                ! EN: ensemble (all closures)
                ! GR: Grell
                ! LO: low level omega
                ! MC: moisture convergence
                ! SC: like Fritsch Chappel or Kain Fritsch
                ! AS: Arakawa-Schubert
                ! PB: PeterBetchold closure

G3D_SPREAD= 0, ! Lateral spreading of enviromental subsidence (0=off, 1=on)
                ! (only for NNQPARM = 3 and grid spacing < 10km)

NNSHCU  = 1,     ! Shallow Cumulus Param. (0-off, 1-Souza scheme, 2-Grell-Deveny scheme)
CONFRQ  = 1200., ! Frequency of conv param. updates (s)
SHCUFRQ = 1200., ! Frequency of Shallow param. updates (s)
WCLDBS  = .0005, ! Vertical motion needed at cloud base for

```

```

! to trigger convection
! Surface layer and soil parameterization

NPATCH = 4,      ! Number of patches per grid cell (min=2)

NVEGPAT = 3,     ! Number of patches per grid cell to be
! filled from
! vegetation files
! (min of 1, max of NPATCH-1)

ISFCL = 5,      ! Surface layer/soil/veg model
! 0-specified surface layer gradients
! 1-soil/vegetation model LEAF
! 2-soil/vegetation model LEAF & hidrological model
! 3-Reserved
! 4-Reserved
! 5-JULES

NVGCON = 7,     ! Vegetation type (see below)

! 1 -- Crop/mixed farming      2 -- Short grass
! 3 -- Evergreen needleleaf tree 4 -- Deciduous needleleaf tree
! 5 -- Deciduous broadleaf tree 6 -- Evergreen broadleaf tree
! 7 -- Tall grass              8 -- Desert
! 9 -- Tundra                  10 -- Irrigated crop
! 11 -- Semi-desert            12 -- Ice cap/glacier
! 13 -- Bog or marsh           14 -- Inland water
! 15 -- Ocean                  16 -- Evergreen shrub
! 17 -- Deciduous shrub        18 -- Mixed woodland

PCTLCON = 1.,   ! Constant land % if for all domain
NSLCON = 6,     ! Constant soil type if for all domain

! 1 -- sand      2 -- loamy sand   3 -- sandy loam
! 4 -- silt loam 5 -- loam         6 -- sandy clay loam
! 7 -- silty clay loam 8 -- clay loam   9 -- sandy clay
! 10 -- silty clay 11 -- clay       12 -- peat

ZROUGH = .05,   ! Constant roughness if for all domain
ALBEDO = .2,    ! Constant albedo if not running soil model
SEATMP = 295.,  ! Constant water surface temperature

DTHCON = 0.,   ! Constant sfc layer temp grad for no soil
DRTCON = 0.,   ! Constant sfc layer moist grad for no soil

SOIL_MOIST = 'i', ! n => Homogeneous (standard)
! i,h,a => Heterogenous Soil Moist.Init.
! with file.
! i => INITIAL
! h => HISTORY
! a => INITIAL or HISTORY

SOIL_MOIST_FAIL = 'f', ! In case of Heterogenous Soil Moist.
! file was not found, what to do?
! s => STOP the program
! h => Initialize with Homogenous Soil Moist.
! l => Looking for 5 days old files,
! and if not found again then stop.

USDATA_IN = './datain/UMIDADE/GL_SM.GPNR.', ! Soil Moisture File prefix

```

```

USMODEL_IN =
/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/UMIDADE/GL_SM.GPNR.'
! File prefix with pre-calculated data by BRAMS
  SLZ   = -12.25, -7.25, -4.250, -2.25, -1.0, -0.35, -0.10,    ! soil grid levels

  SLMSTR = 0.45,0.45,0.30,0.25,0.22, 0.22,0.22, ! initial soil moisture

  STGOFF = .0, .0, .0, .0, .0, .0, .0, .0, ! Initial soil temperature offset
          ! from lowest atmospheric level
!-----
!----- Eddy diffusion coefficient parameters -----

IDIFFK = 1,      ! K flag:
              ! 1 - Horiz deform/Vert Mellor-Yamada
              ! 2 - Anisotropic deformation
              ! (horiz & vert differ)
              ! 3 - Isotropic deformation
              ! (horiz and vert same)
              ! 4 - Deardorff TKE (horiz and vert same)
              ! 7 - Nakanishi TKE 2.5-level model

IHORGRAD = 1,    ! 1 - horiz grad frm decomposed sigma grad
                ! 2 - true horizontal gradient.
                ! Non-conserving, but allows small DZ
CSX   = .32,     ! Deformation horiz. K's coefficient
CSZ   = .35,     ! Deformation vert. K's coefficient
XKHKM = 3.,     ! Ratio of horiz K_h to K_m for deformation
ZKHKM = 3.,     ! Ratio of vert K_h to K_m for deformation
AKMIN = 1.,     ! Ratio of minimum horizontal eddy
                ! viscosity coefficient to typical value
                ! from deformation K
!-----
! Microphysics

MCPHYS_TYPE = 2, ! microphysics formulation
              ! 0 = original brams
              ! 1 = double-moment from CSU rams6.0
              ! 2 = Greg Thompson cloud water single moment
              ! 3 = Greg Thompson cloud water double moment + aerosol
              ! aware

!- the microphysics flags below are relevant only for
!- mcpphys_type = 0 or 1
!
LEVEL = 3,      ! Moisture complexity level
IRIME = 1,      ! 0 - Bulk riming, 1 - bin riming
IPLAWS = 0,     ! 0 - Original 4.3 Power Laws
              ! 1 - New Power Laws (R.Carver,Mitchell 1996)
ICLOUD = 5,     ! Microphysics flags
IDRIZ = 5,      !
IRAIN = 5,      !-----
IPRIS = 6,      ! 1 - diagnostic concen.
ISNOW = 5,      ! 2 - specified mean diameter
IAGGR = 5,      ! 3 - specified y-intercept
IGRAUP = 5,     ! 4 - specified concentration
IHAIL = 5,      ! 5 - prognostic concentration
ICCNLEV = 0,    ! CCN 0=no source or sink
              ! 1=nucleation sink
              ! 2=nucleation sink + evaporation CCN source

CPARM = 300.,   ! Microphysics parameters

```

```

RPARM = 1.e-3,      !-----
PPARM  = 1.e+5,      ! Characteristic diameter, # concentration
SPARM  = 1.e-3,      ! or y-intercept
APARM  = 1.e-3,
GPARM  = 1.e-3,
HPARM  = 3.e-3,
DPARM  = 1.e-1,      ! (5 = 3D homogeneous 6 = vertical profile)

CNPARM = .04e-4,     ! Median radius of the CCN dist (cm)
GNPARM = 3.0e-4,     ! Median radius of the GCCN dist (cm)
EPSIL  = 0.1,        ! Aerosol solubility fraction (0 to 1)

GNU    = 2.,2.,2.,2.,2.,2.,2.,2., ! Gamma shape parms for
!-----

$END

$MODEL_SOUND

!-----
! Sounding specification
!-----

! Flags for how sounding is specified

IPSFLG = 1,          ! Specifies what is in PS array
          ! 0-pressure(mb) 1-heights(m)
          ! PS(1)=sfc press(mb)

ITSFLG = 0,          ! Specifies what is in TS array
          ! 0-temp(C) 1-temp(K) 2-pot. temp(K)

IRTSFLG = 3,         ! Specifies what is in RTS array
          ! 0-dew pnt.(C) 1-dew pnt.(K)
          ! 2-mix rat(g/kg)
          ! 3-relative humidity in %,
          ! 4-dew pnt depression(K)

IUSFLG = 0,          ! Specifies what is in US and VS arrays
          ! 0-u,v component(m/s)
          ! 1-umoms-direction, vmoms-speed

HS     = 0.,

PS     = 1010.,1000.,2000.,3000.,4000.,6000.,8000.,11000.,15000.,20000.,
        25000.,

TS     = 25.,18.5,12.,4.5,-11.,-24.,-37.,-56.5,-56.5,-56.5,-56.5,

RTS    = 70.,70.,70.,70.,20.,20.,20.,20.,10.,10.,10.,

US     = 10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,

VS     = 0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,

$END
$MODEL_PRINT

!-----
! Specifies the fields to be printed during the simulation

```

```

!-----
NPLT   = 0,          ! Number of fields printed at each time
          ! for various cross-sections (limit of 50)

IPLFLD = 'UP','VP','WP','PP','THP','RT',
          ! Field names - see table below

! PLFMT(6) = '0PF7.2', ! Format spec. if default is unacceptable

IXSCTN = 3,3,3,3,3,3,3,
          ! Cross-section type (1=XZ, 2=YZ, 3=XY)

ISBVAL = 2,2,2,2,2,2,2,
          ! Grid-point slab value for third direction

! The following variables can also be set in the namelist: IAA,
! IAB, JOA, JOB, NAAVG, NOAVG, PLTIT, PLCONLO, PLCONHI, and PLCONIN.

! 'UP' - UP(M/S) 'RC' - RC(G/KG) 'PCPT' - TOTPRE
! 'VP' - VP(M/S) 'RR' - RR(G/KG) 'TKE' - TKE
! 'WP' - WP(CM/S) 'RP' - RP(G/KG) 'HSCL' - HL(M)
! 'PP' - PRS(MB) 'RA' - RA(G/KG) 'VSCL' - VL(M)
! 'THP' - THP(K)
! 'THETA'- THETA(K) 'RL' - RL(G/KG) 'TG' - TG (K)
! 'THVP' - THV(K) 'RI' - RI(G/KG) 'SLM' - SLM (PCT)
! 'TV' - TV(K) 'RCOND'- RD(G/KG) 'CONPR'- CON RATE
! 'RT' - RT(G/KG) 'CP' - NPRIS 'CONP' - CON PCP
! 'RV' - RV(G/KG) 'RTP' - RT'(G/KG) 'CONH' - CON HEAT
! 'CONM' - CON MOIS
! 'THIL' - Theta-il (K) 'TEMP' - temperature (K)
! 'TVP' - Tv' (K) 'THV' - Theta-v (K)
! 'RELHUM'-relative humidity (%) 'SPEED'- wind speed (m/s)
! 'FTHRD'- radiative flux convergence (??)
! 'MICRO'- GASPRC
! 'Z0' - Z0 (M) 'ZI' - ZI (M) 'ZMAT' - ZMAT (M)
! 'USTARL'-USTARL(M/S) 'USTARW'-USTARW(M/S) 'TSTARL'-TSTARL (K)
! 'TSTARW'-TSTARW(K) 'RSTARL'-RSTARL(G/G) 'RSTARW'-RSTARW(G/G)
! 'UW' - UW (M*M/S*S) 'VW' - VW (M*M/S*S)
! 'WFZ' - WFZ (M*M/S*S) 'TFZ' - TFZ (K*M/S)
! 'QFZ' - QFZ (G*M/G*S) 'RLONG'- RLONG
! 'RSHORT'-RSHORT

$END

$ISAN_CONTROL

!-----
! Isentropic control
!-----

ISZSTAGE = 1,          ! Main switches for isentropic-sigz
IVRSTAGE = 1,          ! "varfile" processing

ISAN_INC = 0600,      ! ISAN processing increment (hhmm)
          ! range controlled by TIMMAX,
          ! IYEAR1,...,ITIME1

GUESS1ST = 'PRESS',   ! Type of first guess input- 'PRESS', 'RAMS'

```

```

I1ST_FLG = 1,      ! What to do if first guess file should be
                  ! used but does not exist.
                  ! 1=I know it may not be there,
                  !   skip this data time
                  ! 2=I screwed up, stop the run
                  ! 3=interpolate first guess file from
                  !   nearest surrounding times, stop if unable
                  !   (not yet available)

```

```

IUPA_FLG = 3,      ! UPA-upper air, SFC-surface
ISFC_FLG = 3,      ! What to do if other data files should be
                  ! used, but does not exist.
                  ! 1 = I know it may not be there,
                  !   skip this data time
                  ! 2 = I screwed up, stop the run
                  ! 3 = Try to continue processing anyway

```

! Input data file prefixes

```

IAPR  = './datain/dp/dp', ! Input press level dataset
IARAWI = ", ! Archived rawinsonde file name
IASRFCE = ", ! Archived surface obs file name

```

! File names and dispose flags

```

VARPFX  = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/IVAR/iv-brams', ! isan file
names prefix
IOFLGISZ = 0,      ! Isen-sigz file flag: 0 = no write, 1 = write
IOFLGVAR = 1,      ! Var file flag: 0 = no write, 1 = write

```

\$END

\$ISAN_ISENTROPIC

```

!-----
! Isentropic and sigma-z processing
!-----

```

```

!-----
! Specify isentropic levels
!-----

```

```

NISN   = 43,      ! Number of isentropic levels
LEVTH  = 280,282,284,286,288,290,292,294,296,298,300,303,306,309,312,
        315,318,321,324,327,330,335,340,345,350,355,360,380,400,420,
        440,460,480,500,520,540,570,600,630,670,700,750,800,

```

```

!-----
! Analyzed grid information:
!-----

```

```

NIGRIDS = 1,      ! Number of RAMS grids to analyze

```

```

TOPSIGZ = 20000., ! Sigma-z coordinates to about this height

```

```

HYBBOT  = 4000., ! Bottom (m) of blended sigma-z/isentropic
                ! layer in varfiles

```

```

HYBTOP  = 6000., ! Top (m) of blended sigma-z/isentropic layr

```

```

SFCINF  = 1000., ! Vert influence of sfc observation analysis

```

```

SIGZWT = 1.,      ! Weight for sigma-z data in varfile:
                  ! 0.= no sigz data,
                  ! 1.=full weight from surface to HYBBOT

NFEEDVAR = 1,     ! 1=feed back nested grid varfile, 0=dont

!-----
! Observation number limits:
!-----

MAXSTA = 150,     ! maximum number of rawinsondes
                  ! (archived + special)
MAXSFC = 1000,   ! maximum number of surface observations

NOTSTA = 0,       ! Number of stations to be excluded
NOTID  = 'r76458', ! Station ID to be excluded
                  ! Prefix with 'r' for rawinsonde,
                  !       's' for surface
IOBSWIN = 1800,

STASEP = .1,      ! Minimum sfc station separation in degrees.
                  ! Any surface obs within this distance
                  ! of another obs will be thrown out
                  ! unless it has less missing data,
                  ! in which case the other obs will be
                  ! thrown out.ramspost_50

IGRIDFL = 3,      ! Grid flag=0 if no grid point, only obs
                  ! 1 if all grid point data and obs
                  ! 2 if partial grid point and obs
                  ! 3 if only grid data
                  ! 4 all data... fast

GRIDWT = .01,.01, ! Relative weight for the gridded press data
                  ! compared to the observational data in
                  ! the objective analysis

GOBSEP = 5.,      ! Grid-observation separation (degrees)
GOBRAD = 5.,      ! Grid-obs proximity radius (degrees)

WVLNTH = 1200.,900., ! Used in S. Barnes objective analysis.
                  ! Wavelength in km to be retained to the
                  ! RESPON % from the data to the upper air
                  ! grids.
SWVLNTH = 750.,300., ! Wavelength for surface objective analysis

RESPON = .90,.9,  ! Percentage of amplitude to be retained.

$END

$POST
NVP = 12,
VP = 'tempk' ,
    'press' ,
    'u' ,
    'v' ,
    'w' ,

```

```

'ue_avg' ,
've_avg' ,
  'rh' ,
'u10mj' ,
'v10mj' ,
'precip' ,
'topo' ,
't2mj' ,
'td2mj' ,
  'sea_press' ,
  'rshort' ,
  'rlong' ,
'rlongup' ,
'albedt' ,
'smoist' ,

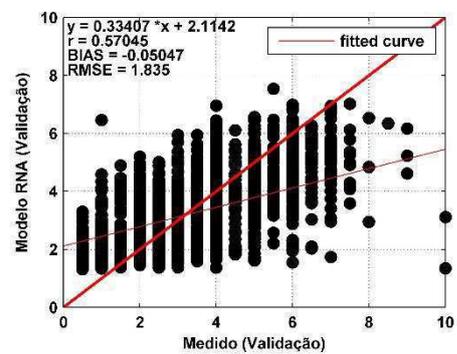
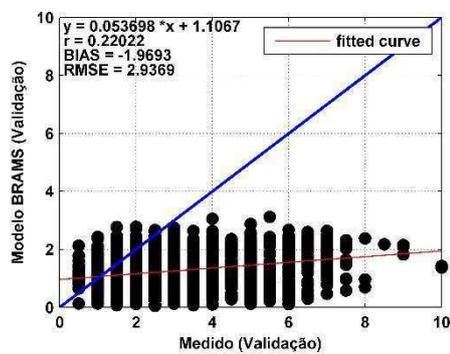
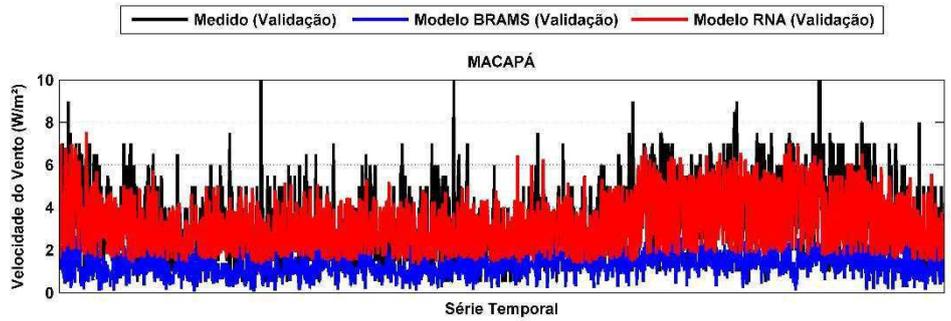
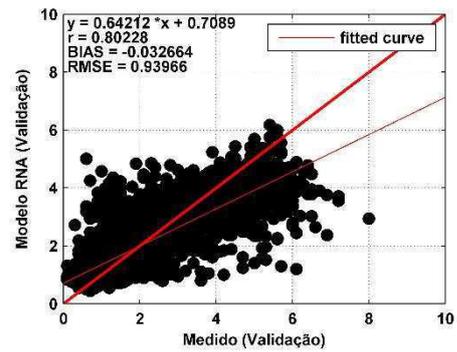
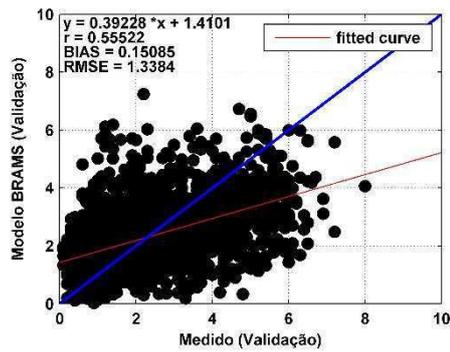
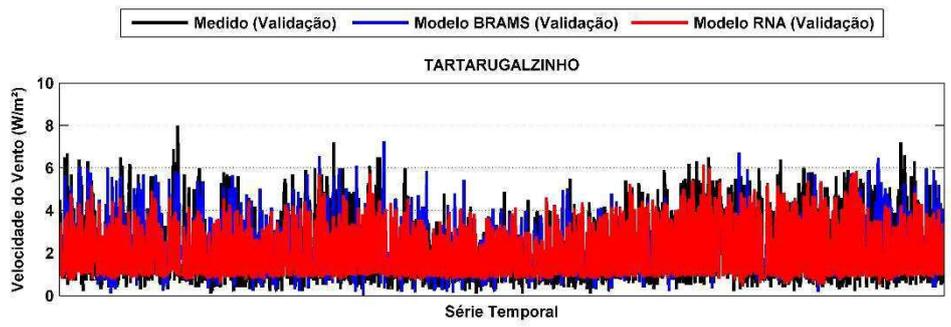
```

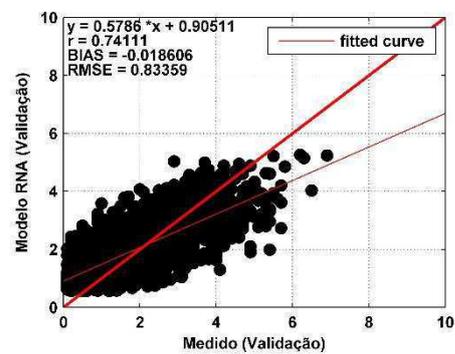
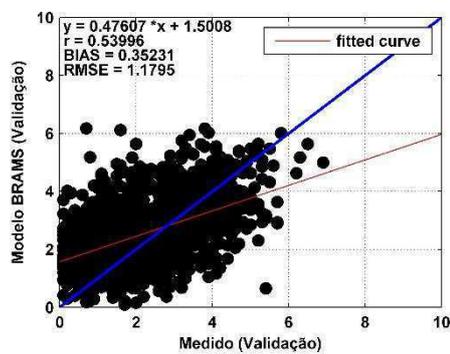
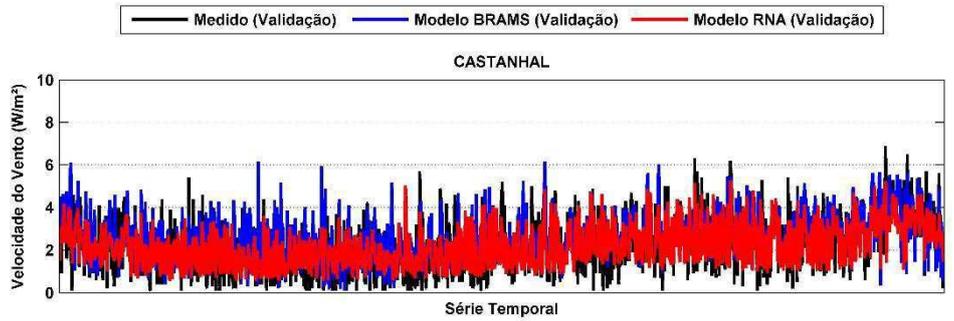
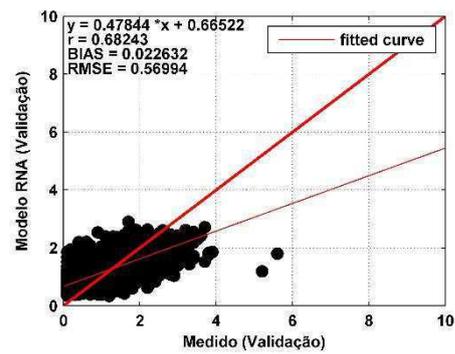
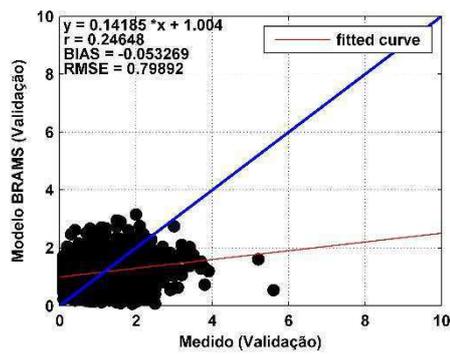
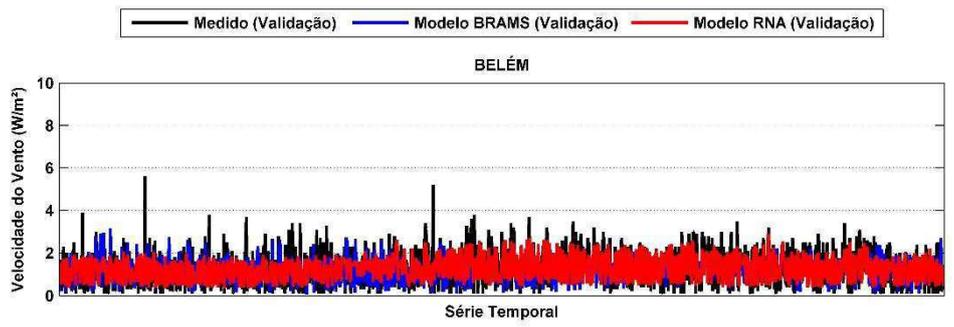
```

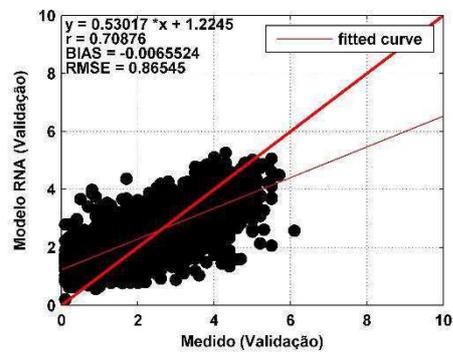
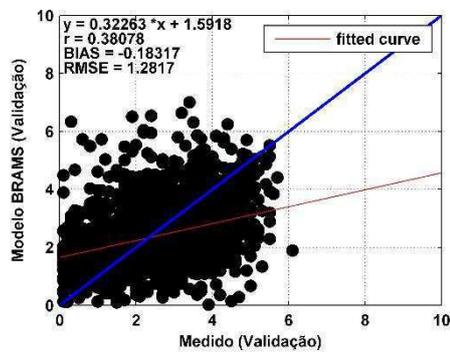
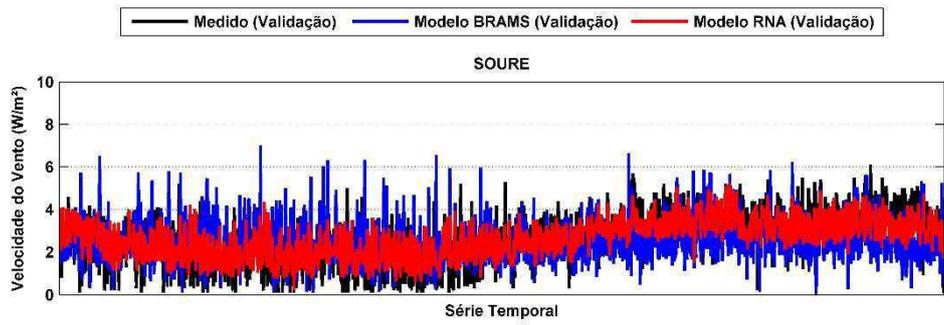
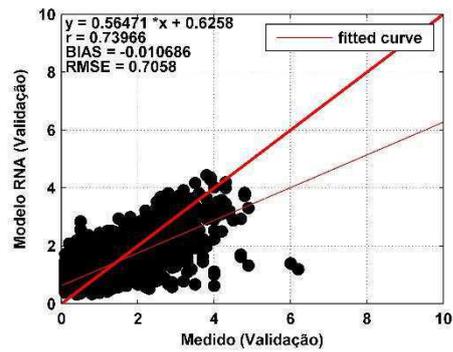
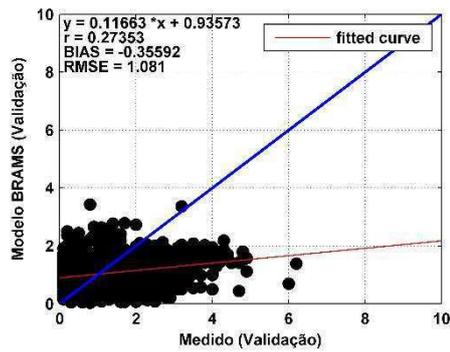
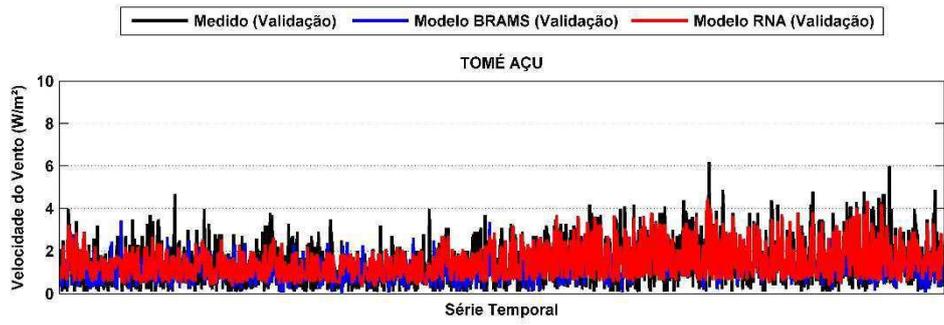
GPREFIX = '/scratchout/prod/erbio/home/labren/Models/BRAMS/dataout/POSTPROCESS/BRAMS'
ANL2GRA = 'ONE',
PROJ='YES',
MEAN_TYPE = 'VMP',
LATI = -47.,-90., -90.,
LATF = +11.002,+90., +90.,
LONI = -82.133,-180., -180.,
LONF = -26.933,180., 180.,
ZLEVMAX = 19,1,1,
IPRESSLEV = 2,
INPLEVS = 38,
IPLEVS =
2,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,125,150,200,250,300,350,400,450,500,550,
600,650,700,750,800,850,900,1000,
ASCII_DATA = 'NO',
SITE_LAT = -10.76,
SITE_LON = -62.36,
$END
$DIGITALFILTER
  applyDigitalFilter = .false.,
  digitalFilterTimeWindow = 83200.,

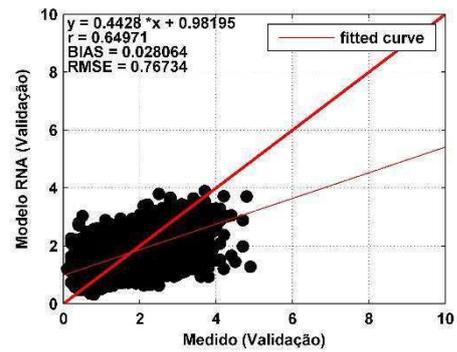
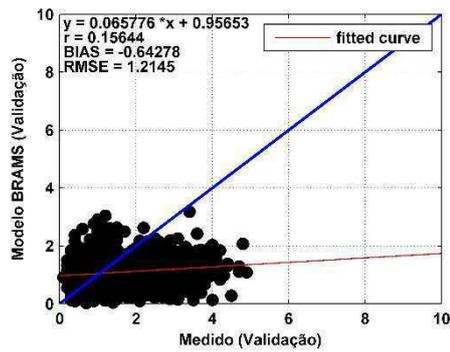
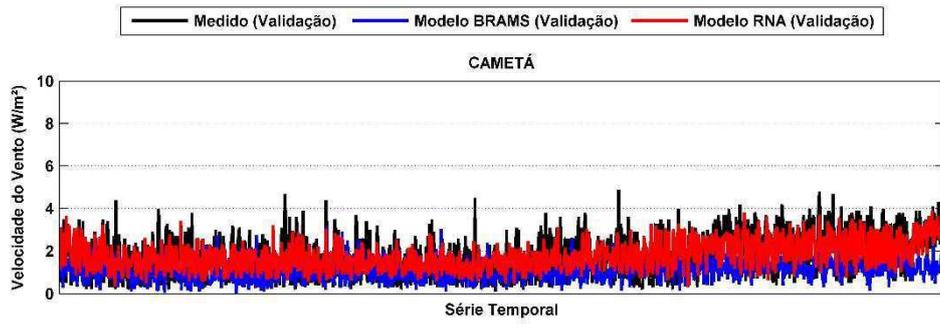
$END
$METEOGRAM
  applyMetogram = .false.,
  metogramFreq = 1800.,
  metogramMap = './tables/metogram/citiesBr.txt',
  metogramDir = './dataout/2014012712/HST/HST2014013012'
$END

```

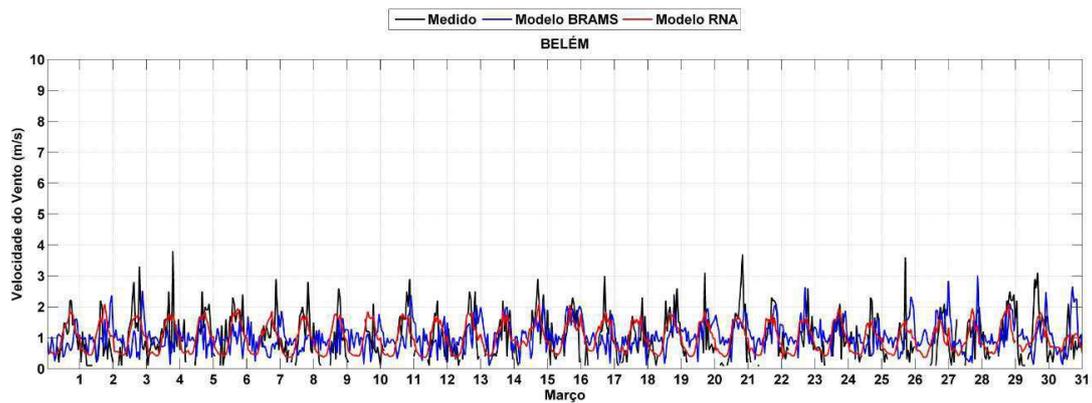



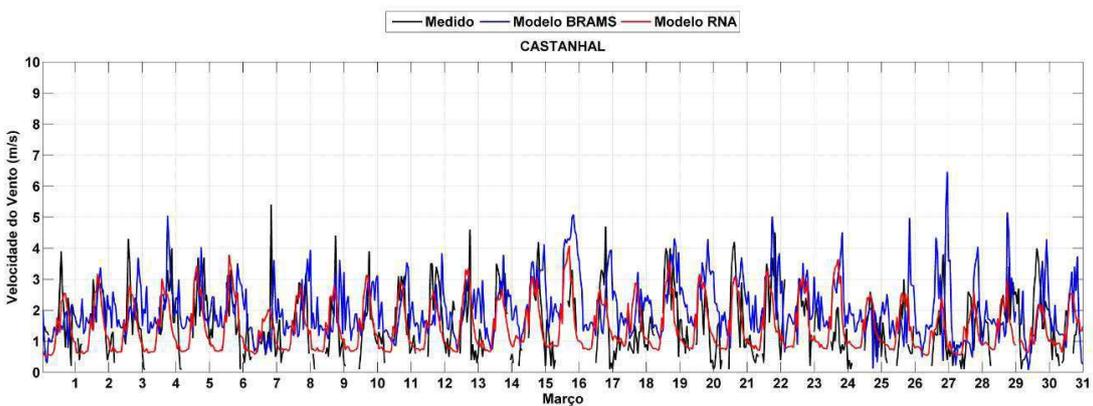
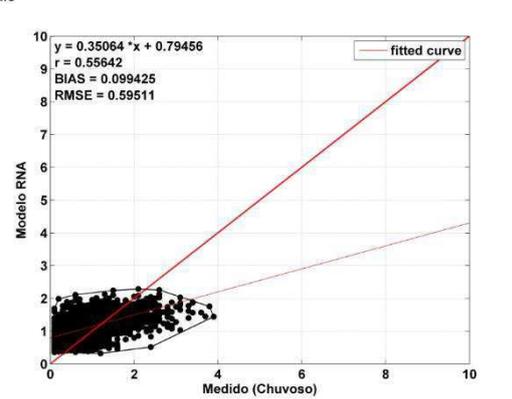
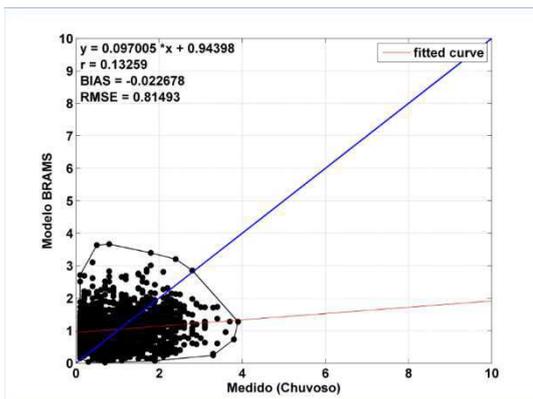
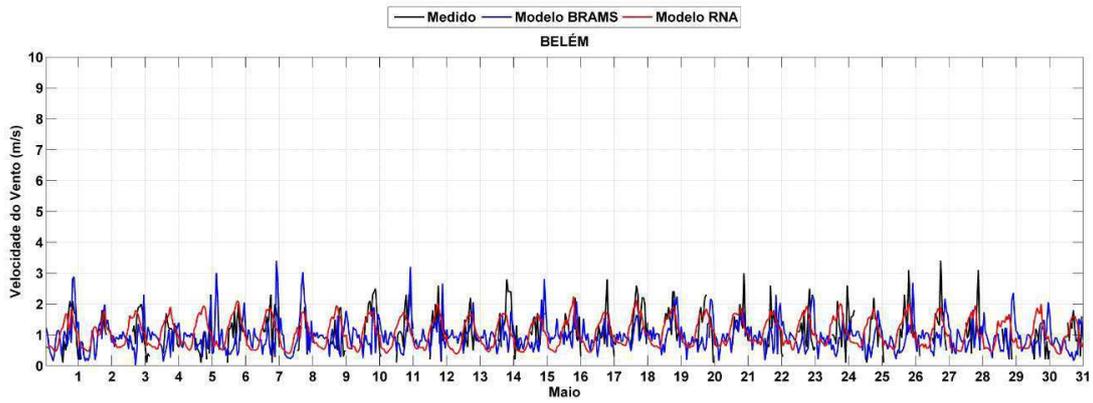
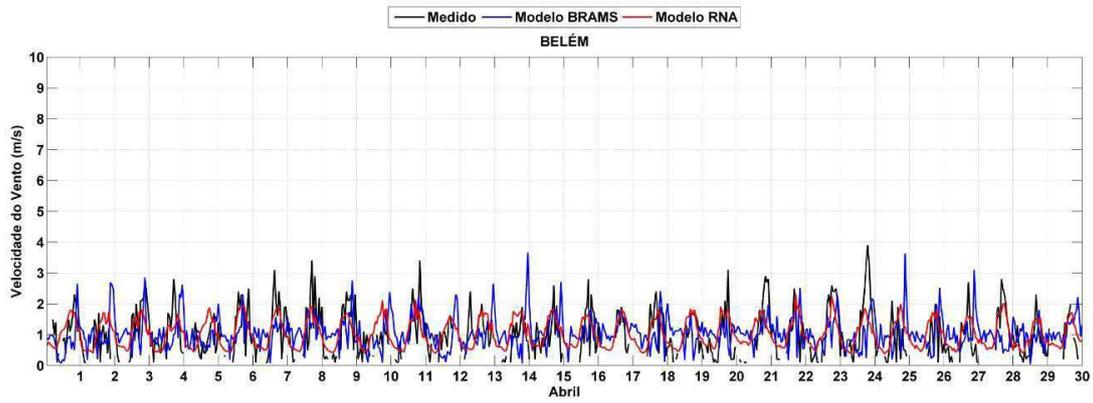


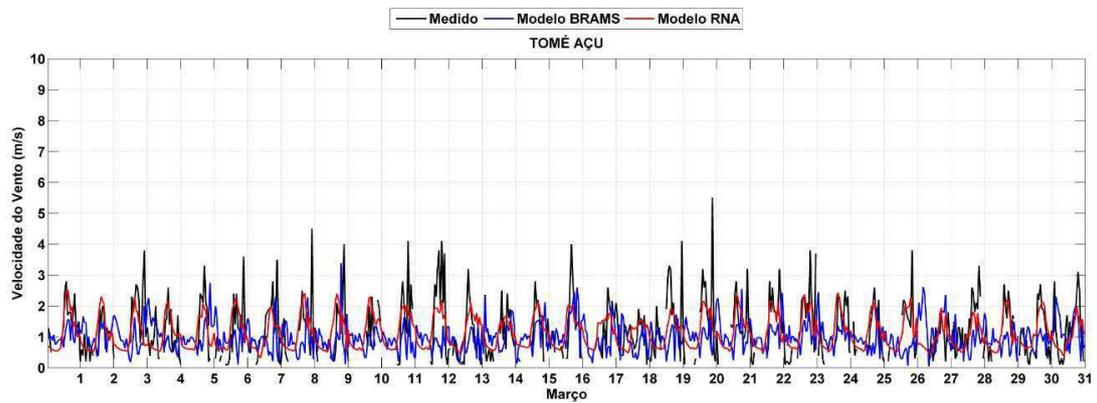
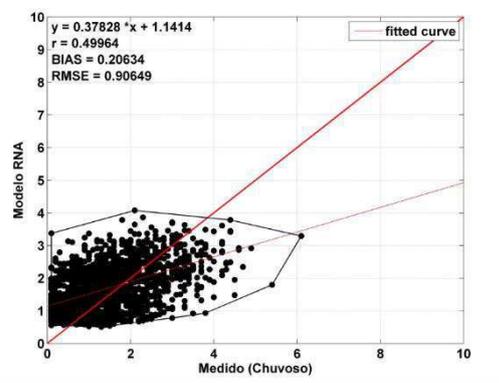
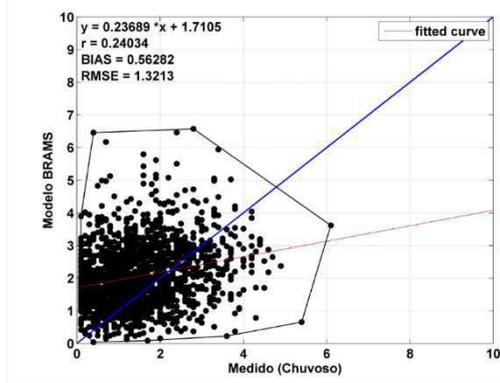
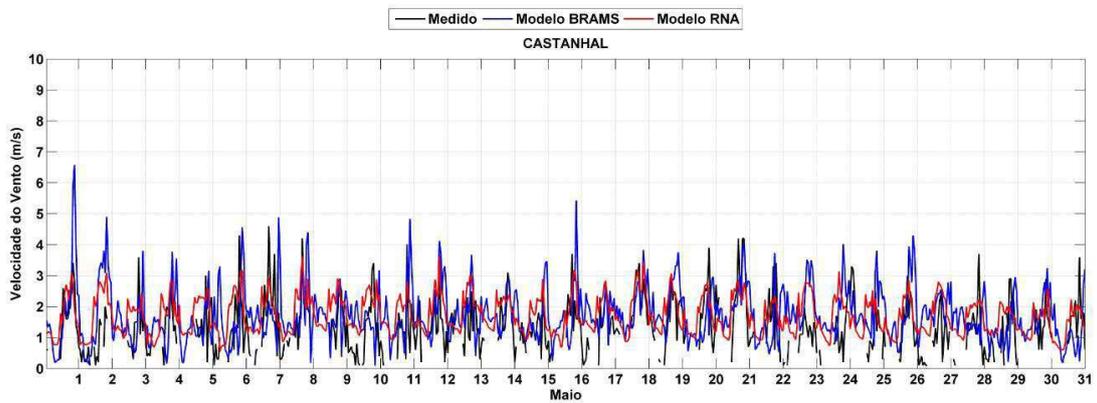
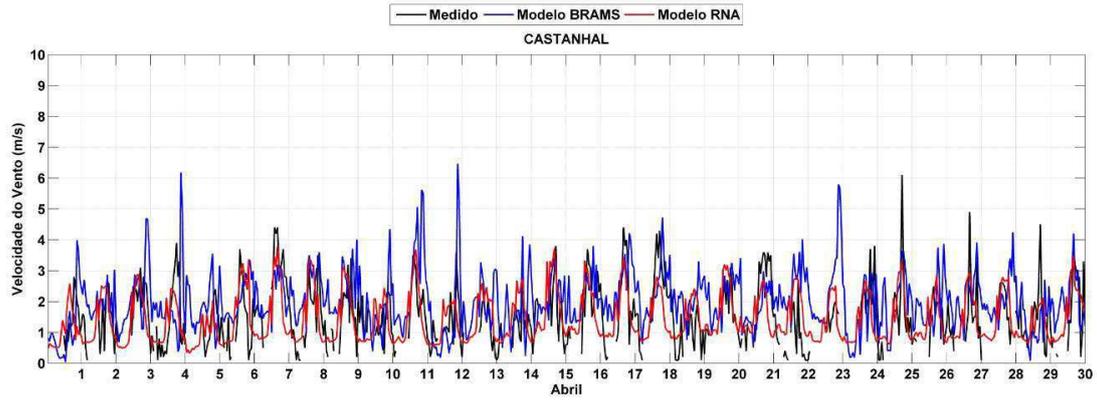


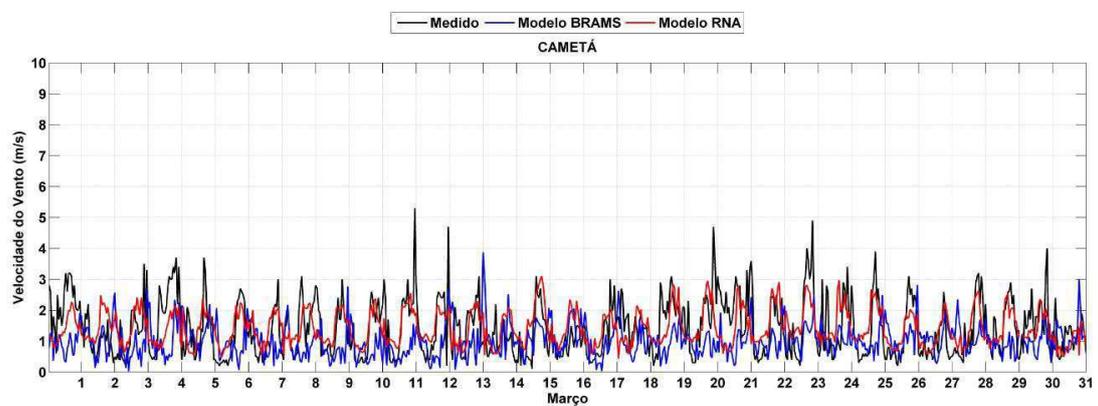
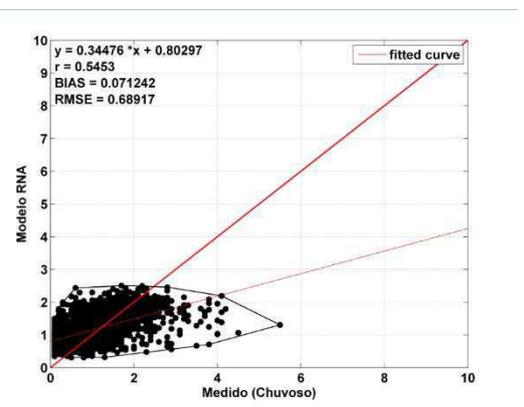
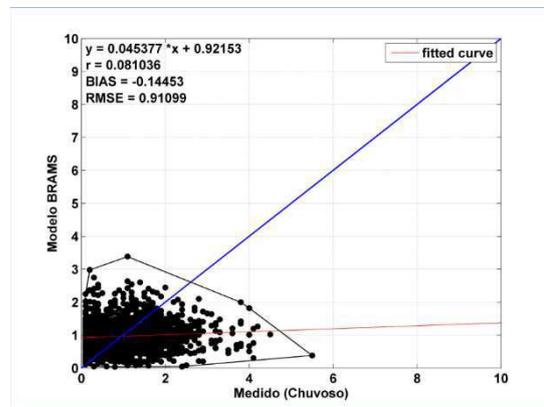
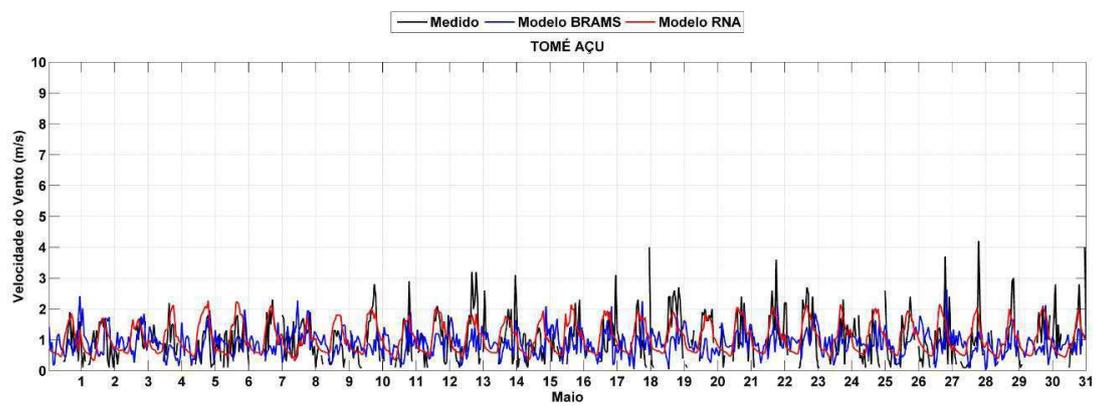
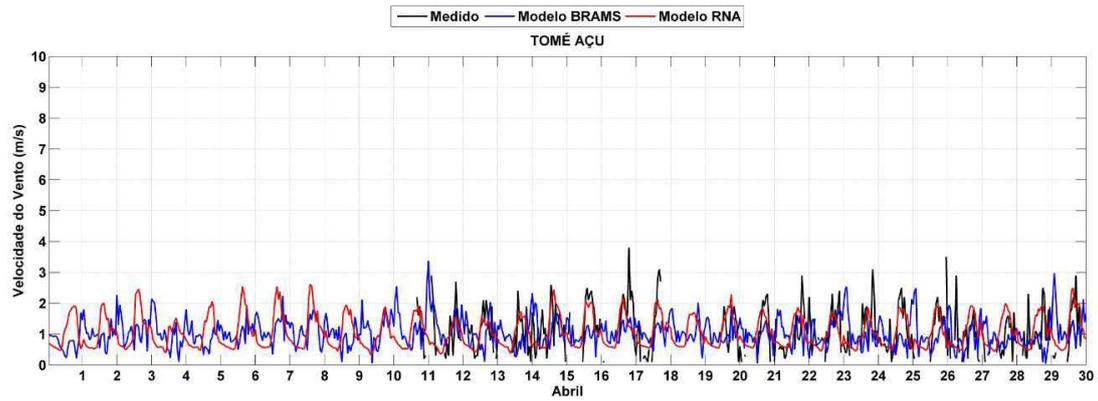


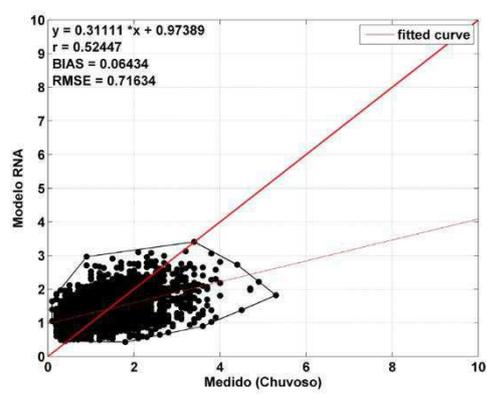
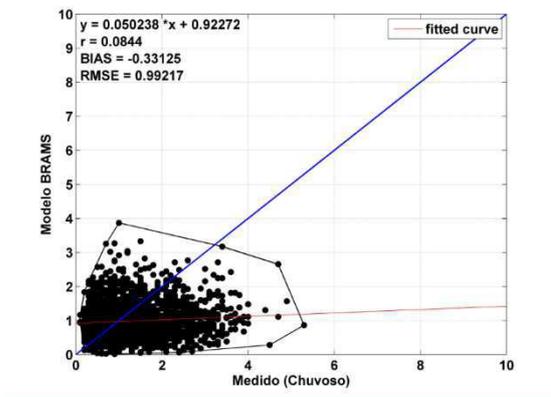
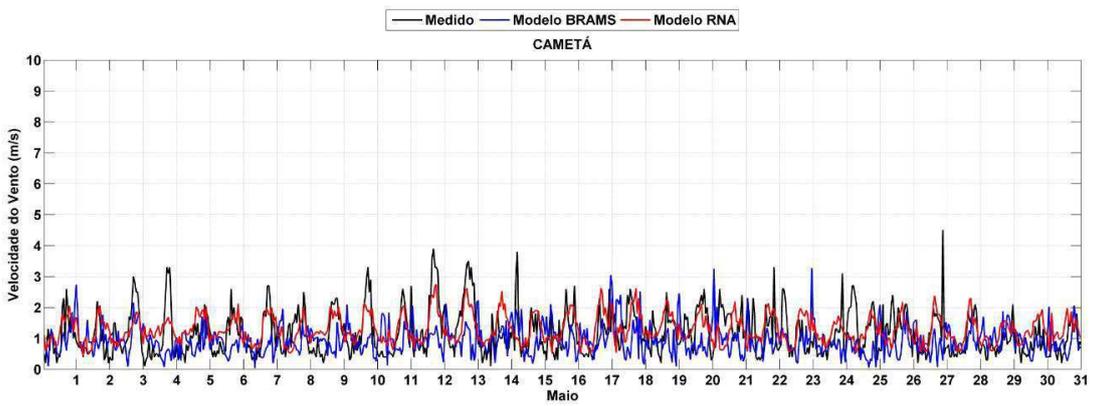
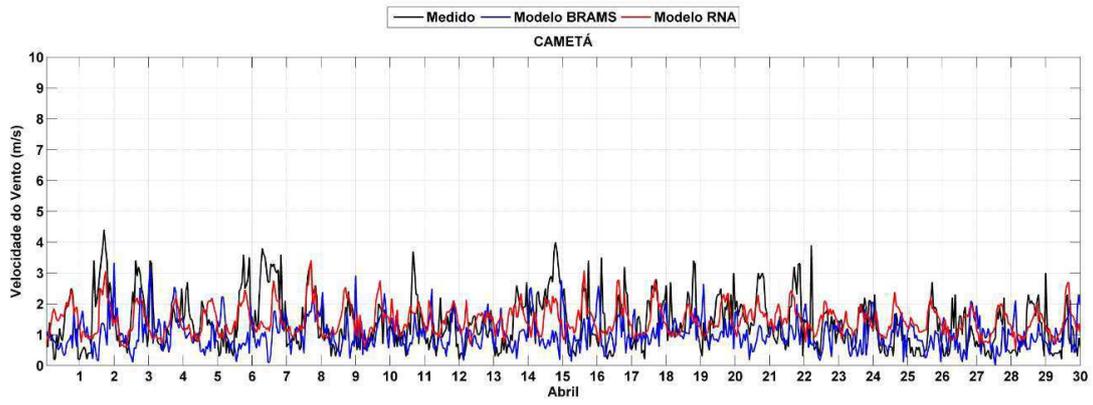
ANEXO III Período Chuvoso



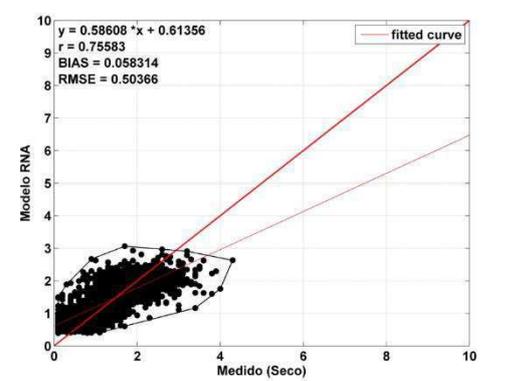
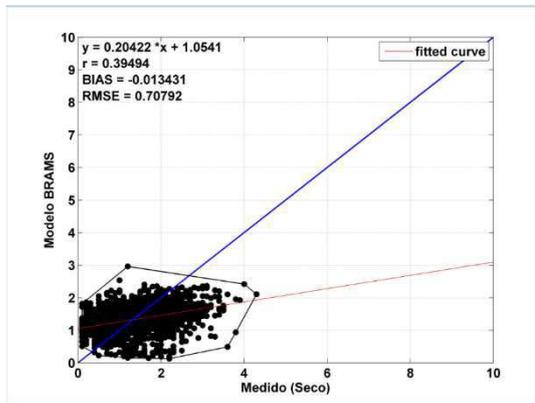
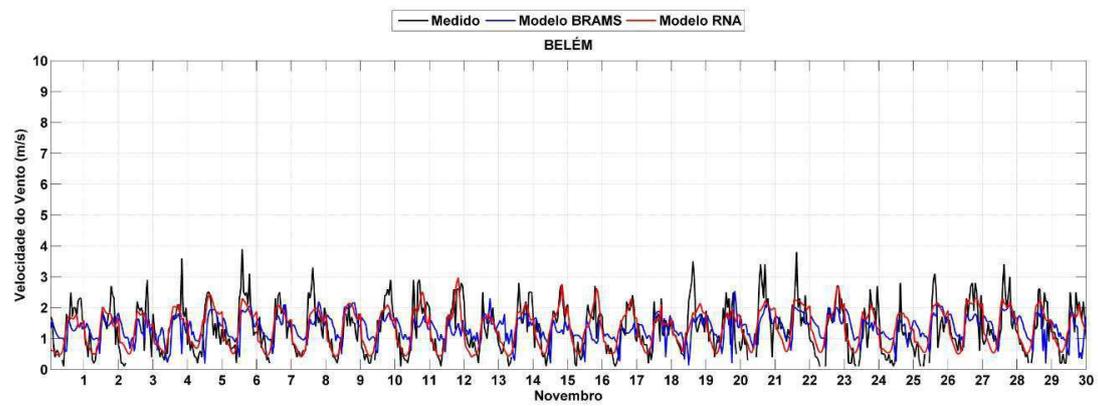
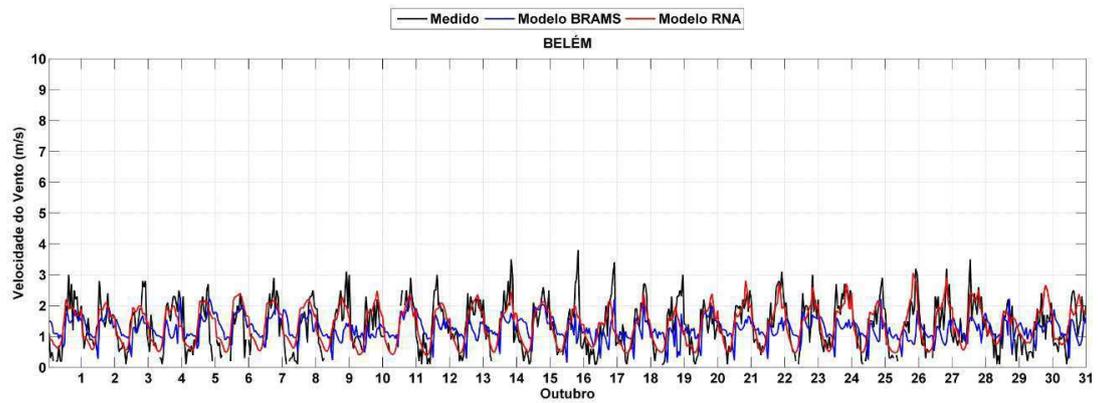
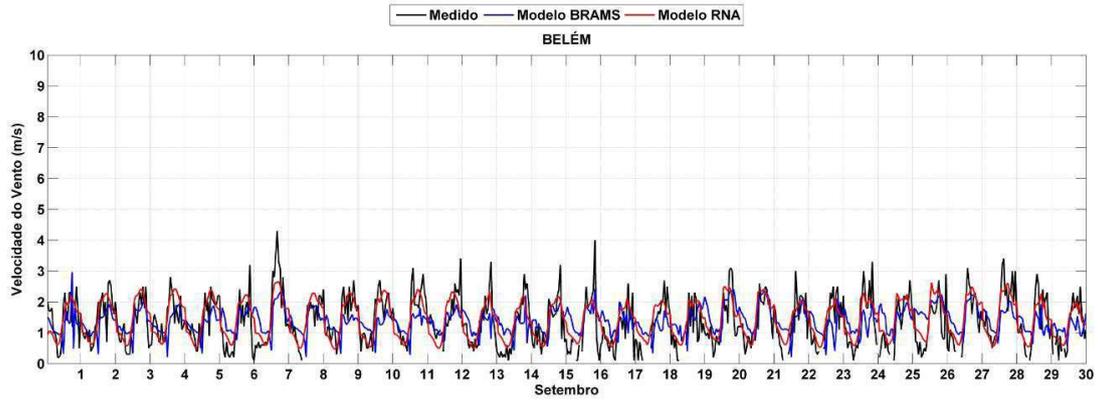


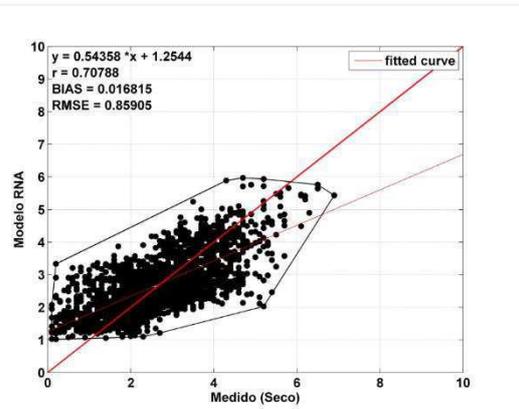
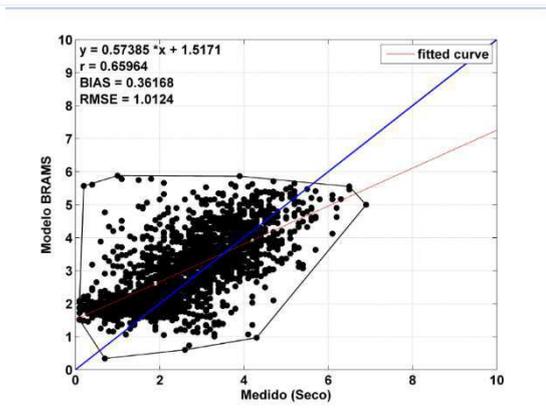
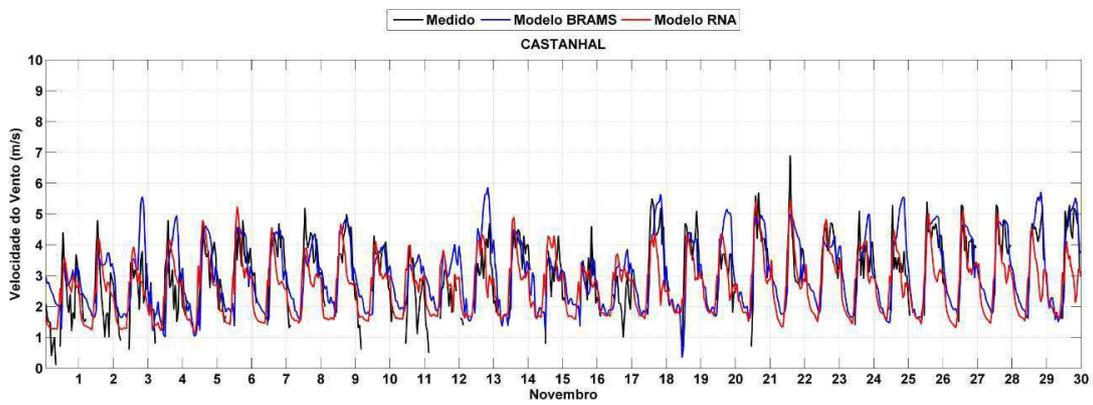
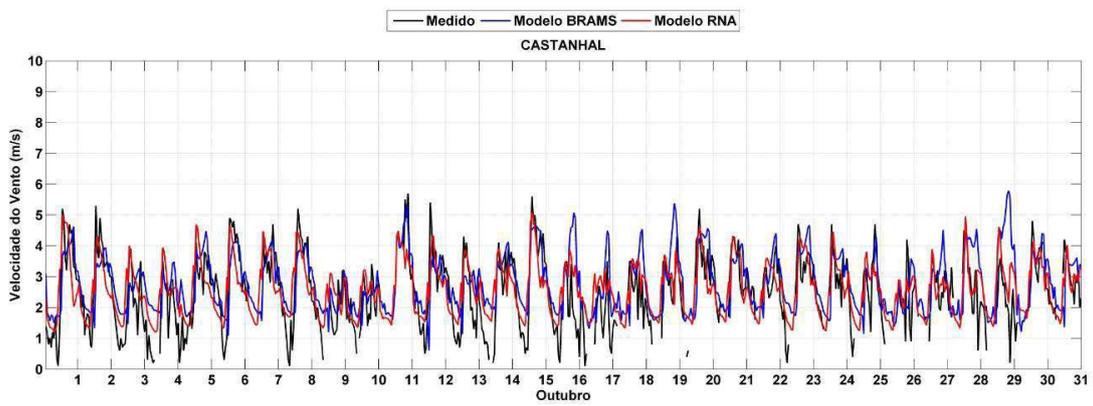
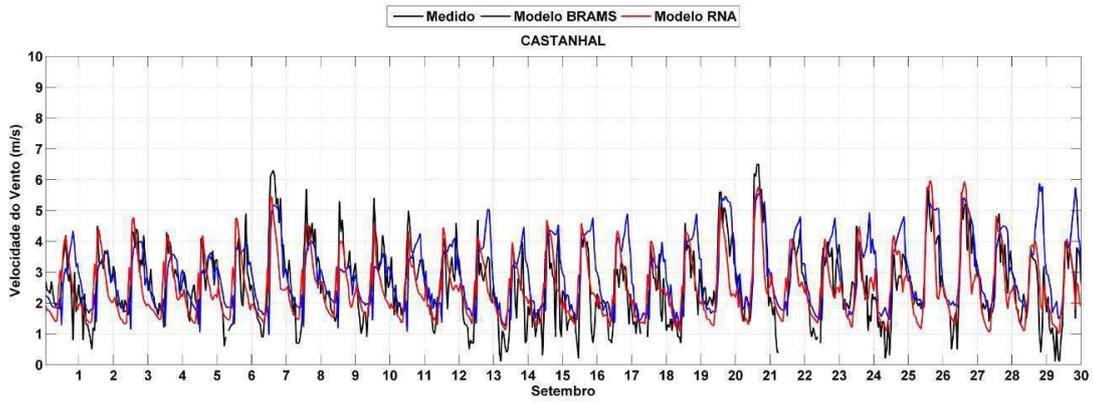


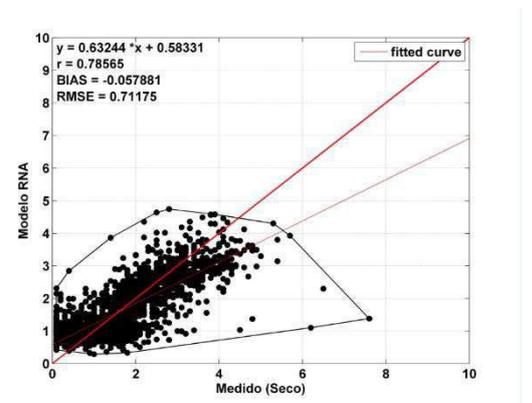
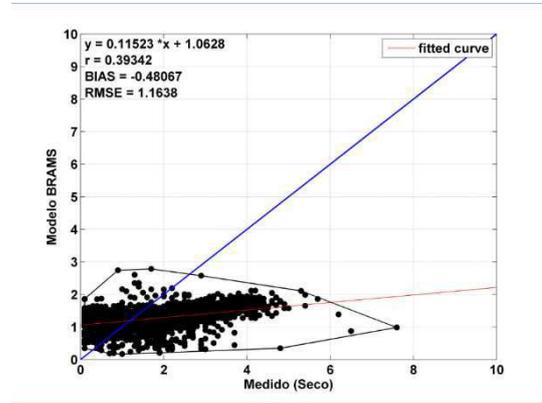
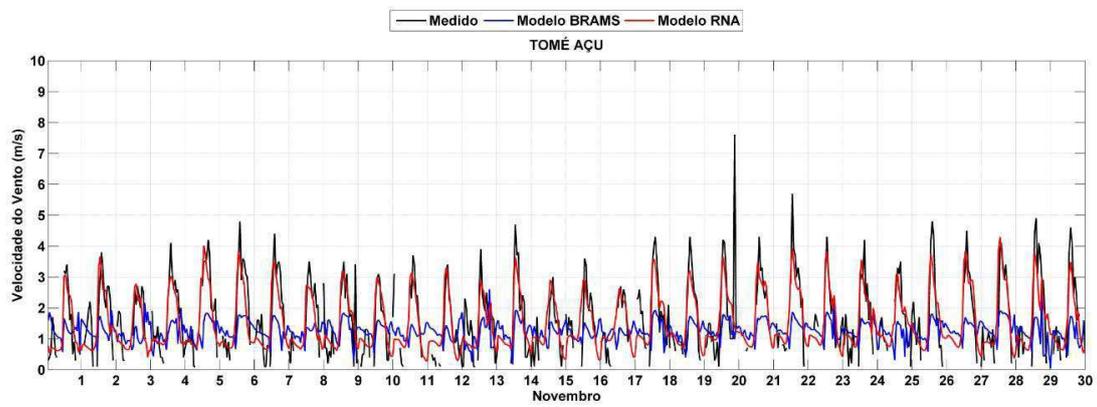
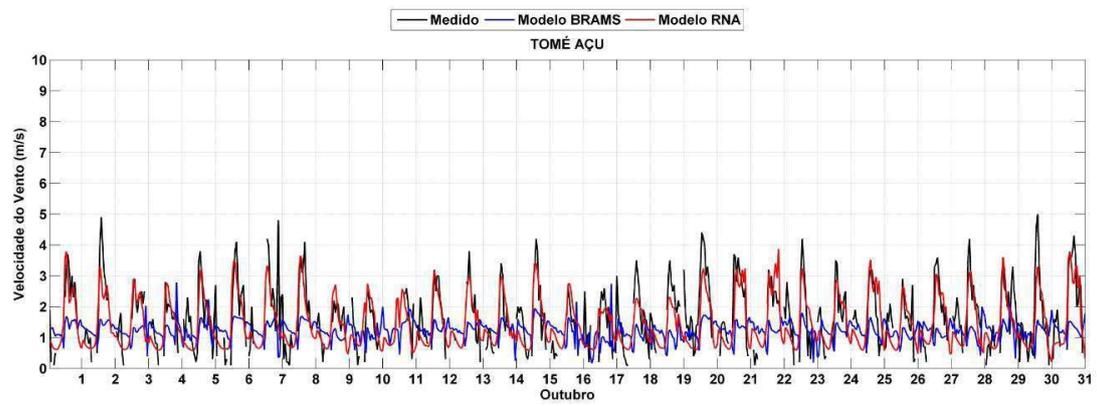
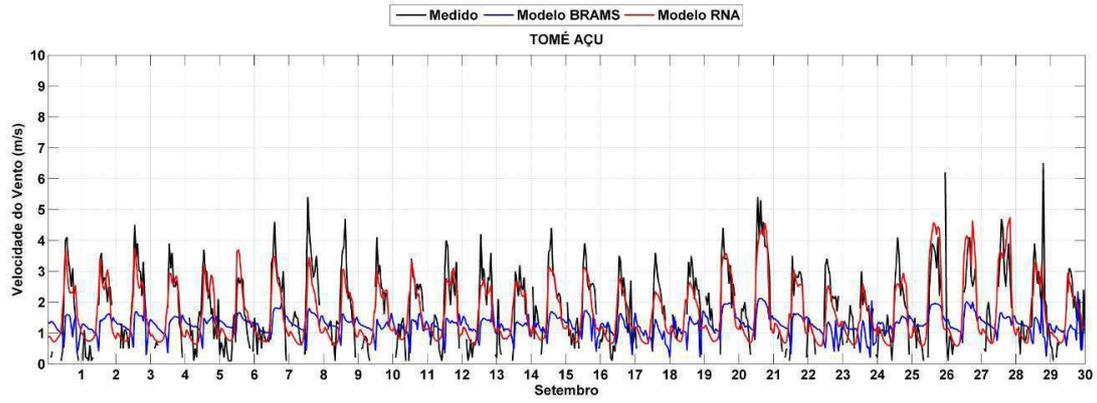


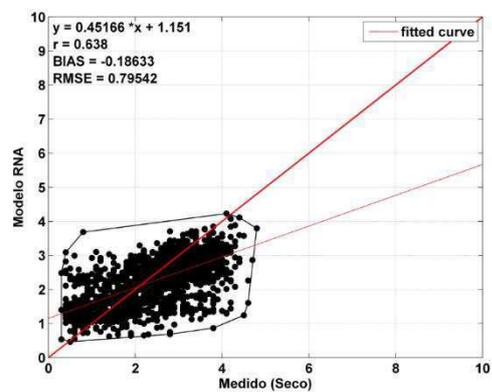
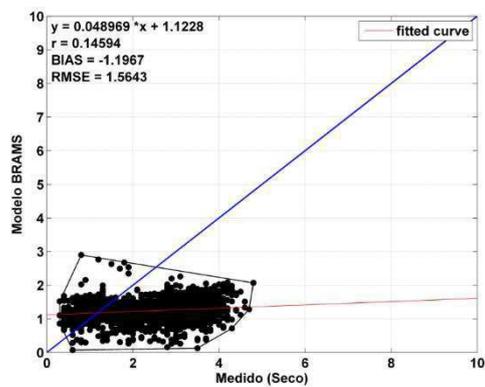
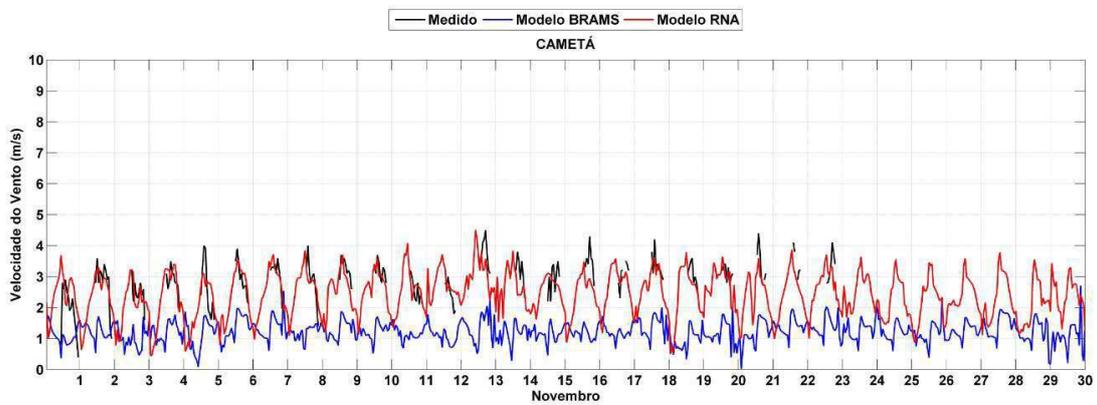
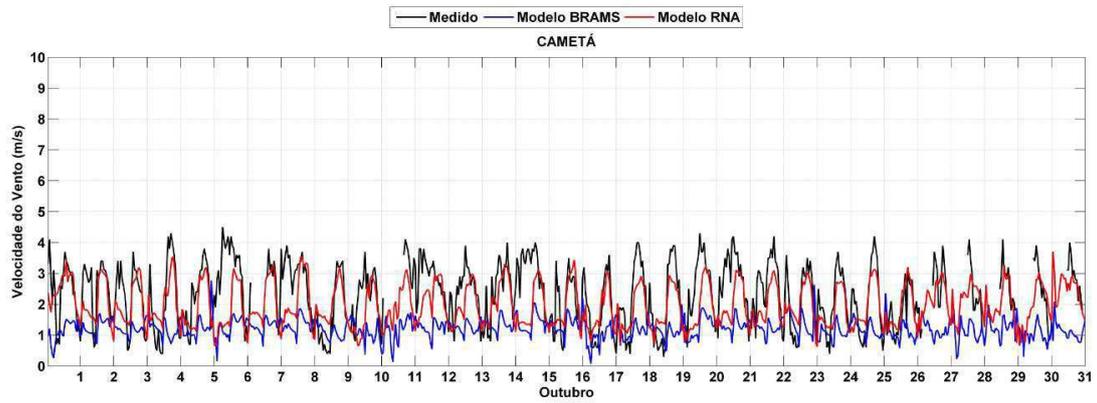
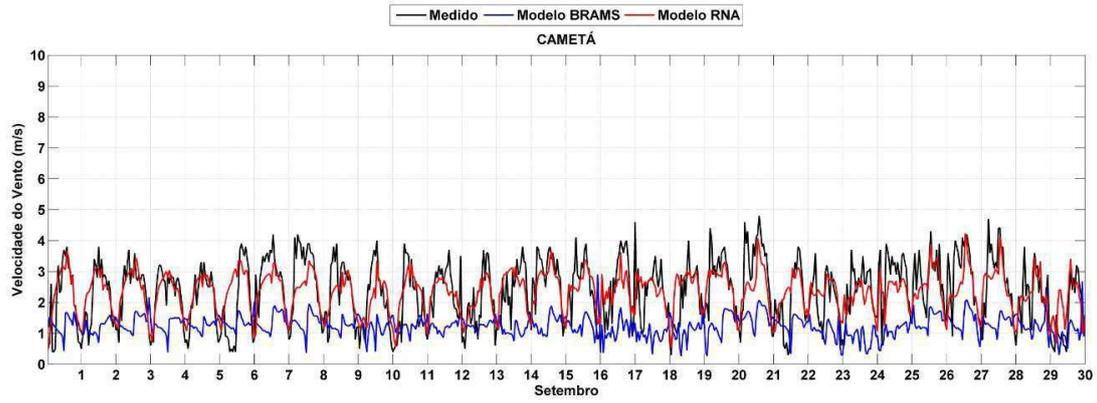


Período Seco



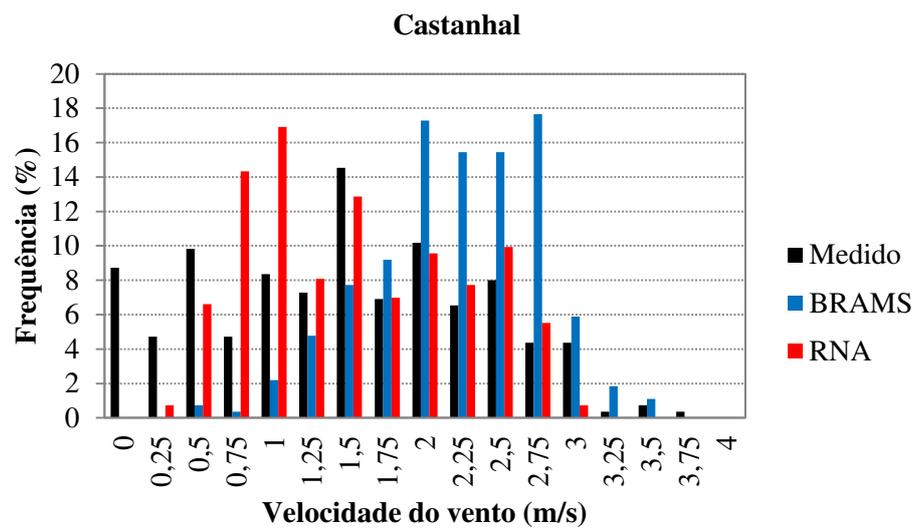
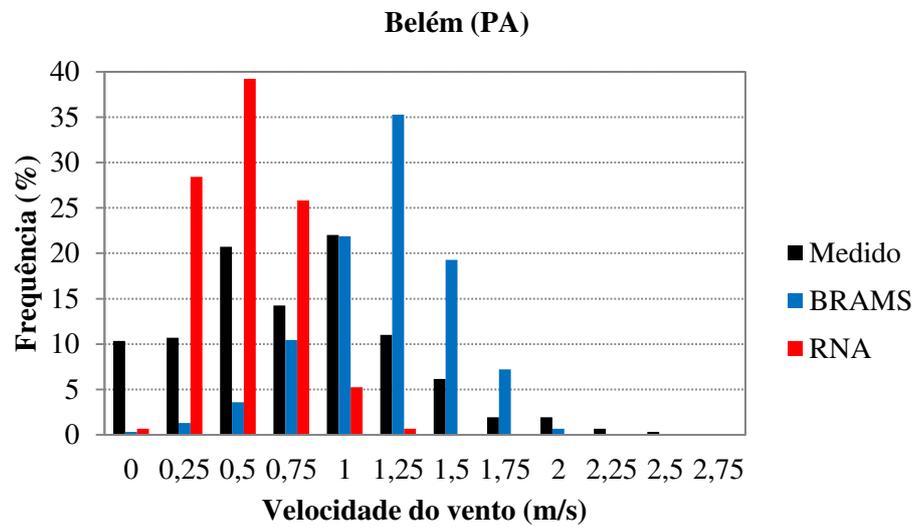




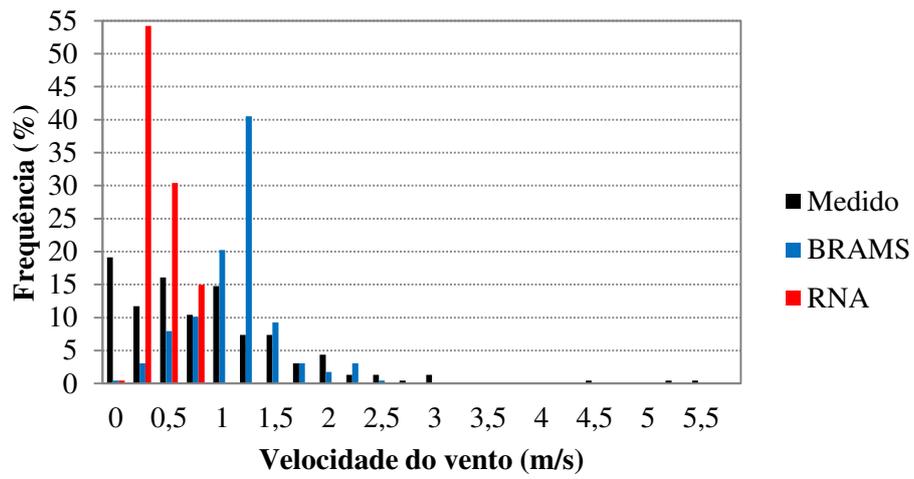


ANEXO IV

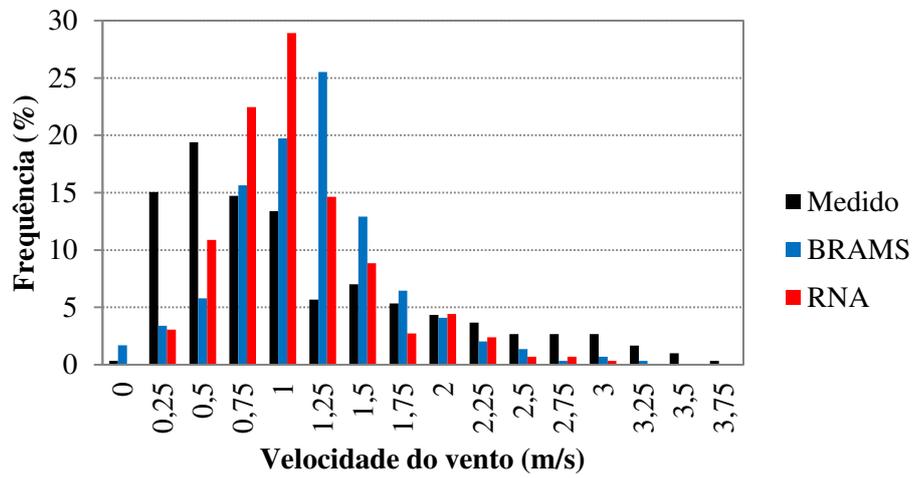
Histograma da velocidade do vento



Tomé Açu (PA)

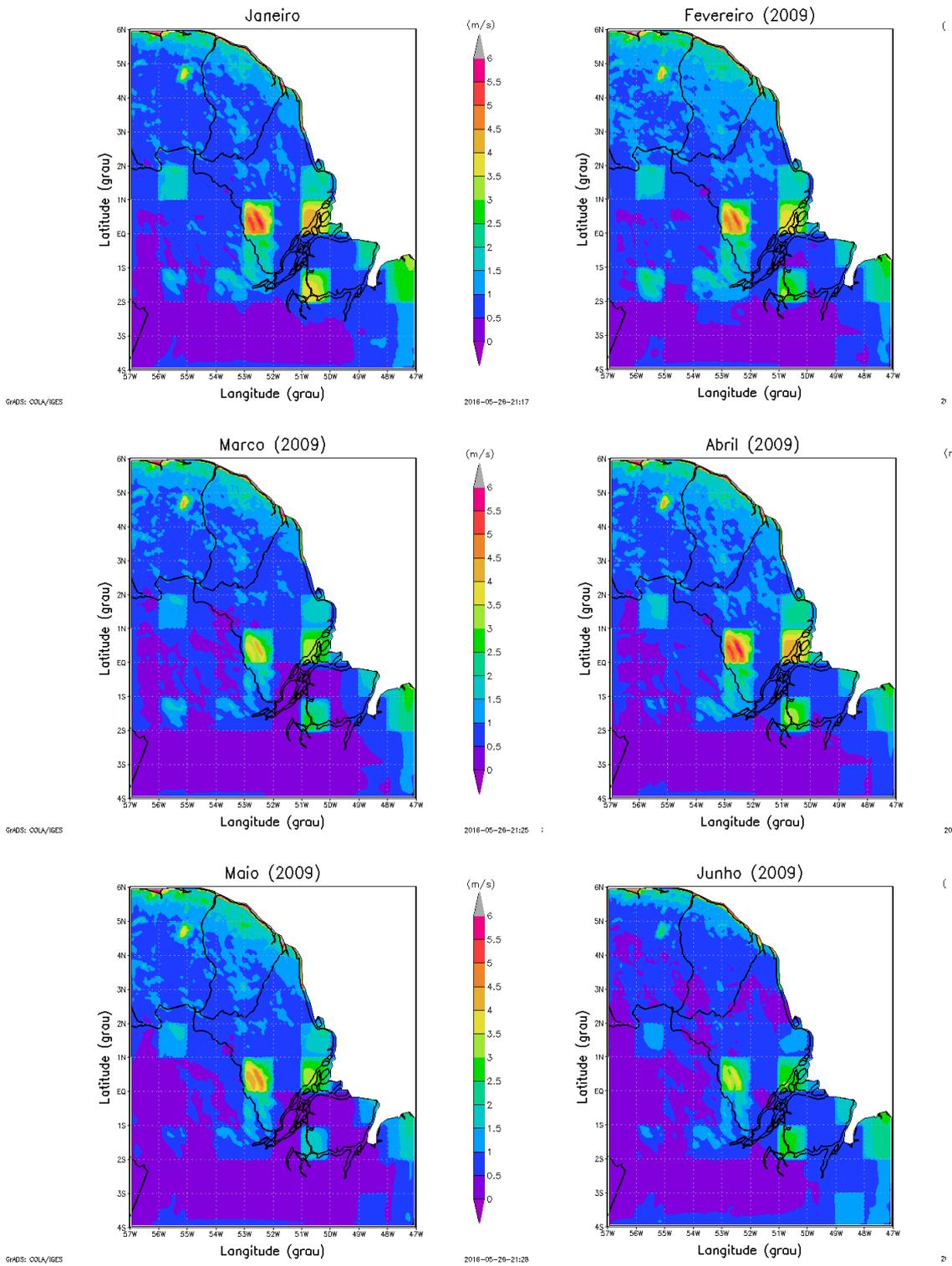


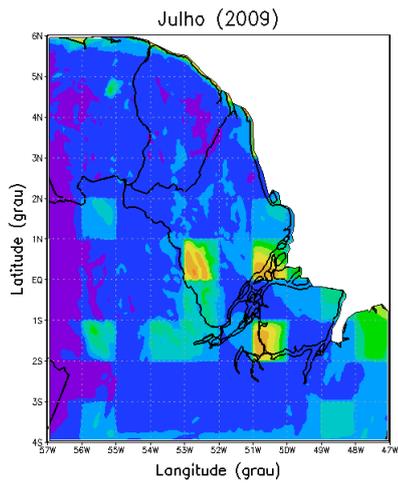
Cametá (PA)



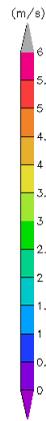
ANEXO V

Variabilidade espacial mensal da velocidade do vento

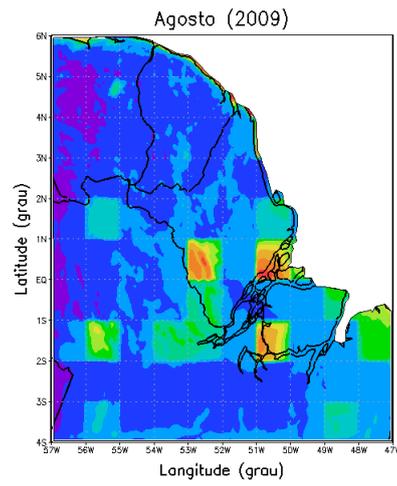




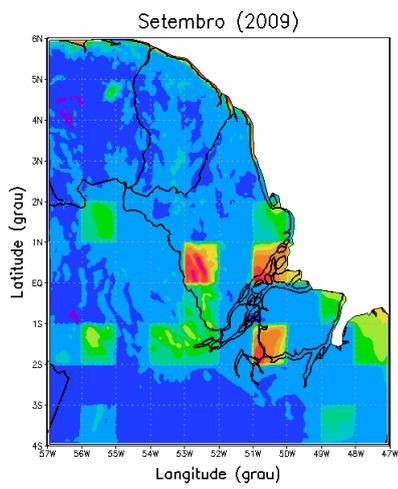
GRADS: OOLA/IGES



2018-05-26-2332



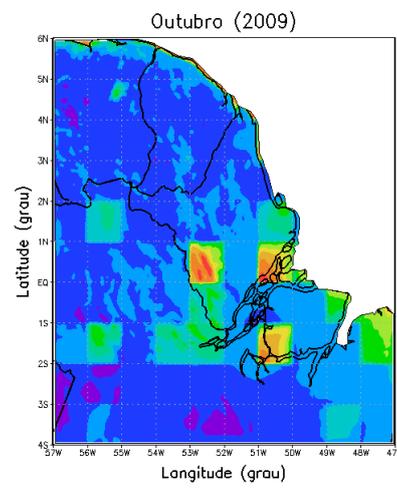
2



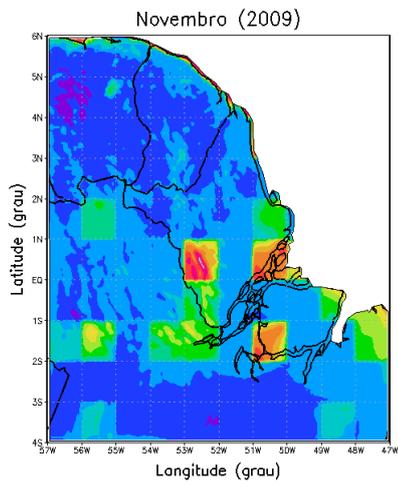
GRADS: OOLA/IGES



2018-05-26-2334



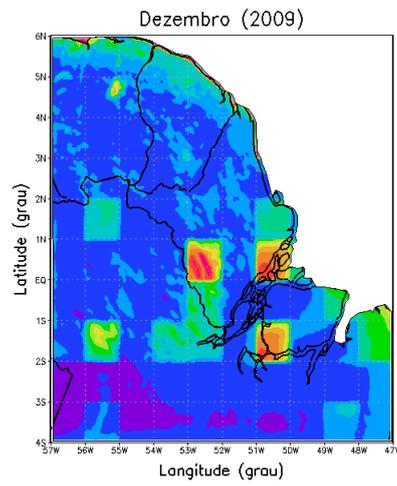
20



GRADS: OOLA/IGES

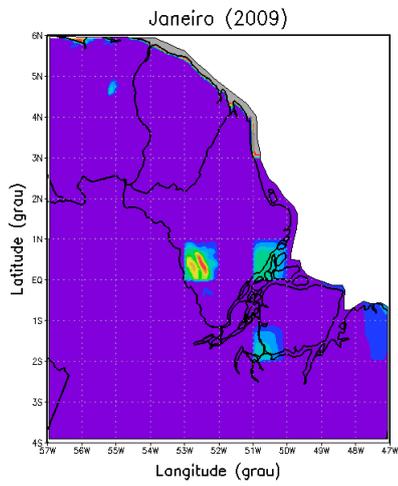


2018-05-26-2337



ANEXO VI

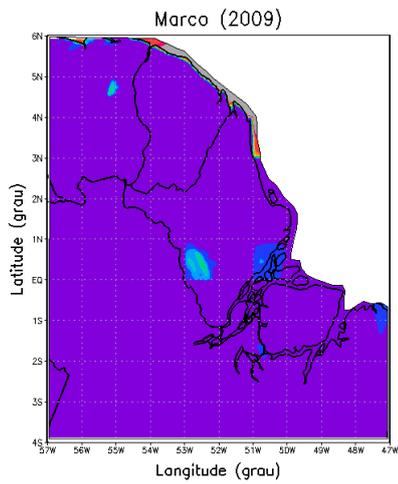
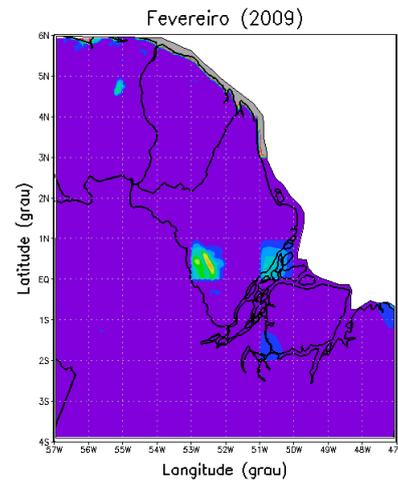
Densidade de potência espacial mensal do vento



GRADS: COCLA/IGES

2016-06-13-17:24

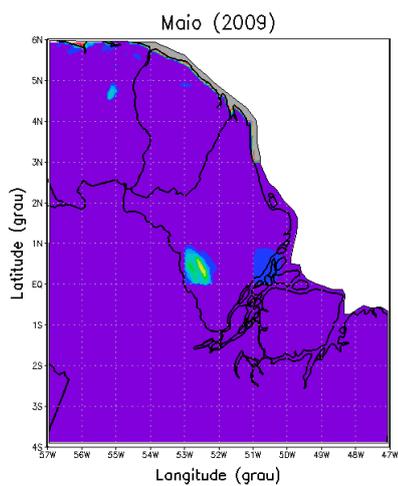
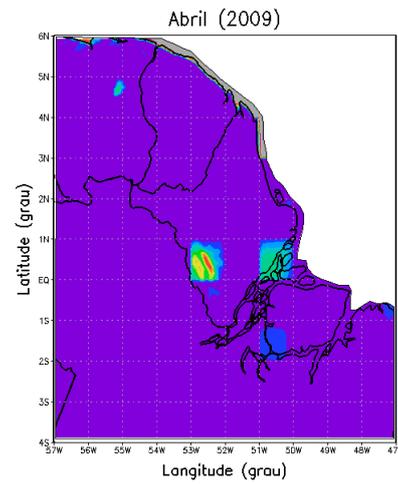
2



GRADS: COCLA/IGES

2016-06-13-17:34

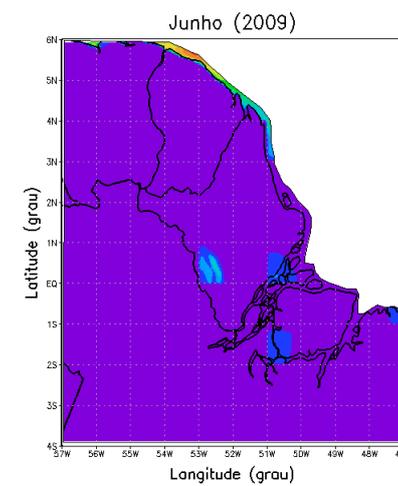
2

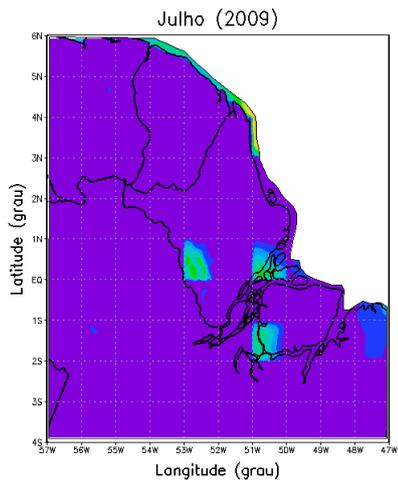


GRADS: COCLA/IGES

2016-06-13-17:47

2

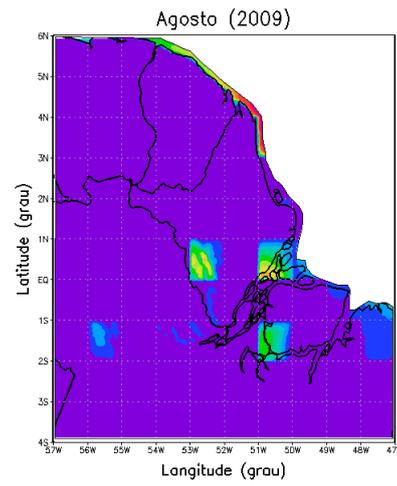




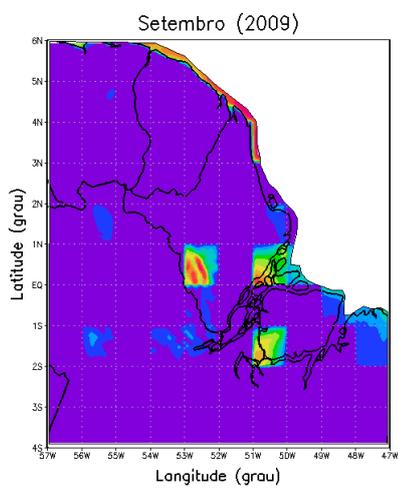
GRADS: OOLA/IGES

(W/m²)

2018-08-13-22203

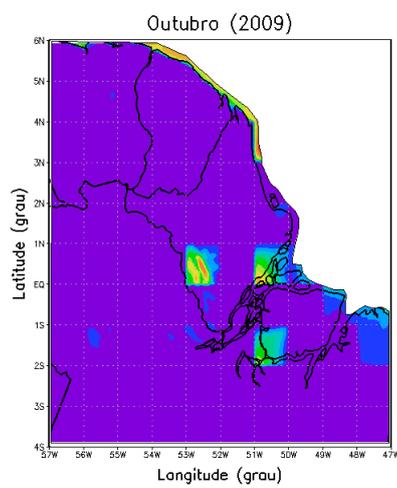


(

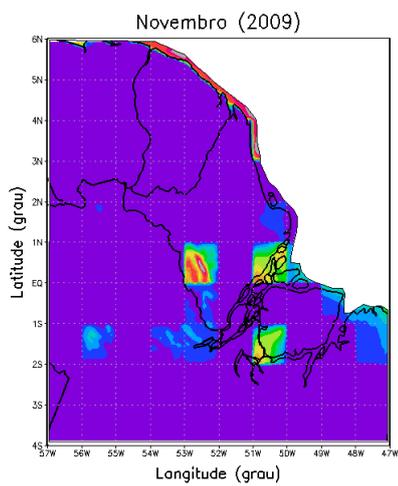


GRADS: OOLA/IGES

2018-08-13-22217

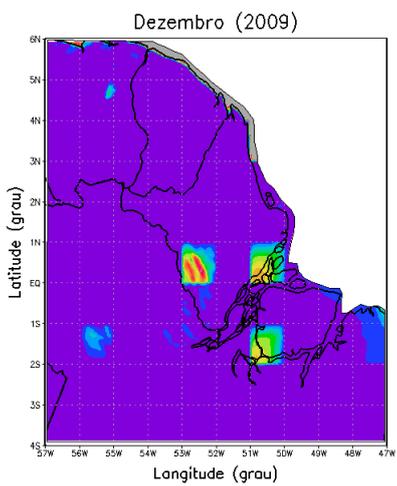


(



GRADS: OOLA/IGES

2018-08-13-1640



(

20