

Artigo

Análise Comparativa da Velocidade do Vento Simulado Pelo BRAMS com Dados Observados e de Reanálises

Everson Batista Mariano¹, Enilson Palmeira Cavalcanti², Elder Almeida Beserra³¹*Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.*²*Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.*³*Somar Meteorologia, SP, Brasil.*

Recebido em 6 de Junho de 2016 - Aceito em 14 de Janeiro de 2017

Resumo

A modelagem é usada como um instrumento bastante útil no campo da Meteorologia. Portanto, objetiva-se ajustar o modelo BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) mediante dados observados e de reanálises geradas pelo ERA-Interim, no intuito de validar a simulação do vento resolvida pelo modelo. Essas informações são de grande utilidade em estudos prévios nos projetos de parques eólicos. Para verificação foram escolhidas três torres anemométricas, situadas nas localidades de Damião, Juazeirinho e Teixeira no Estado da Paraíba. A comparação é feita durante o mês de Outubro de 2010. Os resultados evidenciam que o modelo BRAMS simulou de forma satisfatória os dados reais, para todo o período de estudo, obtendo correlações significativas de 99% e os menores erros para todos os casos apresentados.

Palavras-chave: BRAMS, reanálises, modelagem atmosférica, vento.

Comparative Analysis of Wind Speed Simulated by BRAMS with Observed Data and Reanalysis

Abstract

Modeling is used as a useful tool in the field of Meteorology. Therefore, the objective is to adjust the BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) by observed data and reanalysis generated by ERA-Interim, in order to validate wind simulations resolved by the model. This information is extremely useful in previous studies in wind farm projects. For verification were chosen three anemometric towers, located in the localities of Damian, Juazeirinho and Teixeira in the state of Paraíba. The comparison is made during the month of October 2010. The results show that the BRAMS model simulated satisfactorily the actual data for the entire study period, obtaining significant correlations of 99% and minor errors in all cases presented.

Keywords: BRAMS, reanalysis, atmospheric modeling, wind.

1. Introdução

Os recursos energéticos e suas aplicações necessitam de pesquisas que produzam conhecimentos cada vez mais detalhados. Esta prática conduz a um melhor aproveitamento e uso mais sustentável dos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável visa utilizar os meios necessários para suprir às necessidades da humanidade, sem privar as gerações que virão de beneficiar-se dos mesmos

recursos naturais (Lopez, 2012). Neste contexto, uma das energias renováveis mais promissoras e que gera menor impacto sobre o ambiente é a que usa os ventos para gerar eletricidade, por meio de aerogeradores.

No Brasil, uma das maiores dificuldades relacionadas com estudos da variabilidade espacial e temporal do vento, é a falta de dados observados. Sendo assim, o uso de dados de reanálise pode ser justificado pela possibilidade de

obtenção de dados de vento, com boa consistência física, para atender às necessidades da pesquisa.

Experimentos de campo nacional e internacional (Wilbanks *et al.*, 2008; Borba *et al.*, 2012) têm sido executados no intuito de se obter medições do vento para avaliar características meteorológicas, assim como, estatísticas que ajudem a descrever o comportamento local do vento (Garrat e Pielke, 1989). Entretanto, essas iniciativas são limitadas a períodos curtos e localidades específicas.

Para a Região Nordeste do Brasil (NEB), destacam-se os trabalhos de Lima e Bezerra Filho (2010), Lima *et al.* (2012), Araújo Junior *et al.* (2014) e Pinto *et al.* (2014) que buscaram avaliar a consistência dos dados de ventos, obtidos por modelos numéricos da atmosfera, comparando-os com dados observados mediante o uso de análises estatísticas. Em todos esses estudos é evidenciada a existência de boa relação entre os dois tipos de dados analisados.

Objetiva-se nesta pesquisa comparar os dados simulados pelo modelo *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (BRAMS) para o mês de outubro de 2010, com dados medidos em três torres anemométricas no Estado da Paraíba, assim como, dados extraídos de reanálises do ERA-Interim, para as mesmas localidades.

2. Material e Métodos

2.1. Dados anemométricos e localização

Foram utilizados dados observados da velocidade do vento nas alturas de 10, 70 e 100, obtidos por torres anemométricas da Eletrobras, instaladas e operadas em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Essas torres estão localizadas em três municípios paraibanos: A - Damião (06°37'55" S e 35°54'36" W); B -

Juazeirinho (07°04'04" S e 36°34'40" W) e C - Teixeira (07°13'22" S, 37°15'14" W) e ficam nas mesorregiões do Agreste, Borborema e Sertão, respectivamente (Fig. 1). O período de estudo é de 01 a 31 de outubro de 2010.

Em relatório da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB), é feita uma caracterização fisiográficas e hidroclimáticas do Estado da Paraíba, entre estas, uma descrição detalhada sobre as quatro mesorregiões paraibanas: Zona da Mata, Agreste, Borborema e Sertão (<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>).

Os principais sistemas meteorológicos, que atuam na Paraíba são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Brisas Marítima (Terrestre), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e Linhas de Instabilidade (Ferreira e Mello, 2005).

2.2. Modelo BRAMS e Reanálises do ERA-Interim

Para simulação dos dados de ventos foi utilizado o modelo BRAMS na versão 4.2 (Pielke, 1984; Pielke *et al.*, 1992 e Walko *et al.*, 1995). Dados de reanálises (Kalnay *et al.*, 1996; Kistler *et al.*, 2001), referentes a temperatura; geopotencial; umidade relativa do ar e vento, do *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), com resolução espacial de 2,5° x 2,5° (aproximadamente 278 km), foram usados para entrada no BRAMS.

O modelo foi configurado com uma grade de 300 pontos para X e Y com resolução horizontal de três quilômetros. A grade é centrada na latitude de 6,0° S e 37,5° W. Na vertical, foram utilizados 80 níveis, com maior concentração para a Camada Limite Planetária. A integração resulta em saídas de hora em hora, totalizando um tempo de 744 horas de integração.-

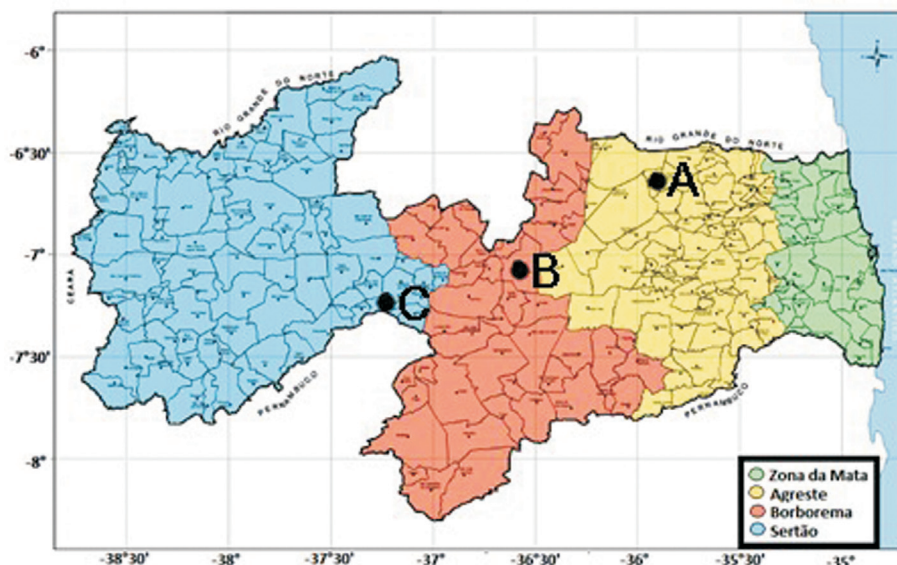


Figura 1 - Mesorregiões do Estado da Paraíba e pontos de medições: A-Damião, B-Juazeirinho e C-Teixeira (Adaptado de AESA-PB).

Além dos dados observados, foram utilizados para comparação, dados diários de reanálises de 6 em 6 horas, do ERA-Interim correspondente ao período de estudo. Esses dados apresentam resolução espacial de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$, fornecidos pelo *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), descritos em Uppala *et al.*, 2005; Dee *et al.*, 2011.

2.3. Ajuste dos dados

Feddensen *et al.* (1999) e Lima *et al.* (2012) sugeriram um ajuste nos dados extraídos do modelo numérico, que visa a diminuição de erros sistemáticos em modelos de previsão sazonais, tomando como base a média e o desvio padrão dos dados simulados e observados. A equação que representa esse ajuste é:

$$\Phi_{ci} = (\Phi_i - \Phi_{im}) \frac{\sigma_o}{\sigma_i} + \Phi_{om} \quad (1)$$

em que Φ_i é o valor estimado; Φ_{im} média dos dados estimados; σ_o desvio-padrão da série observada; σ_i desvio-padrão da série estimada e por último, Φ_{om} média da série observada.

O erro mais evidente na comparação entre os dados observados e de modelos (no caso, BRAMS e ERA-Interim) diz respeito à resolução espacial caracterizada pela grade do modelo. Portanto, foi adotado esse ajuste e a utilização da média diária no intuito de minimizar esses efeitos nas séries. Vale ressaltar, que mesmo com o uso destes procedimentos não será suficiente para eliminar esses erros por completo.

2.4. Índices estatísticos

Os dados de vento apresentam variações durante o dia, assim como, variações de dia para dia ao longo do mês. Portanto, é necessário que esses dados (Observado, modelo BRAMS e ERA-Interim) sejam comparados através de índices estatísticos (Lima *et al.*, 2012). São apresentadas na Tabela 1, as equações utilizadas para o cálculo dos índices

estatísticos, em que ϕ_i representa o valor simulado e ϕ_{oi} ao valor observado, são eles: Viés, o Erro Absoluto Médio (EAM), a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e a Correlação de Pearson (r).

Devore (2006) considera que as correlações estimadas podem assumir classificações que variam de “Muito Fraca” a “Muito Forte” entre os limites estabelecidos nas correlações, Tabela 2.

Para verificação da significância estatística foi aplicado o teste t de Student com $n-2$ graus de liberdade ($n = 31$) dias. Assumindo significância de 99% ($\alpha = 0,01$) obteve-se $t_c = 2,756$ e $r_c = 0,45$. Para 95% de significância ($\alpha = 0,05$), $t_c = 2,045$ e $r_c = 0,35$. Por fim, para 90% de significância ($\alpha = 0,10$), $t_c = 1,699$ e $r_c = 0,23$.

3. Resultados

3.1. Índices estatísticos

Na Tabela 3 é mostrado o coeficiente de correlação de Pearson (r), abordando as relações entre os dados observados com os simulados pelo BRAMS e das reanálises do ERA-Interim. Esses valores ao quadrado representam o coeficiente de Determinação (r^2), que indica em termos percentuais, o quanto os dados extraídos do modelo BRAMS (59% a 80%) e das reanálises do ERA-Interim (68% a 89%) explicam a variabilidade dos dados reais.

Tabela 2 - Classificação dos coeficientes de correlação de Pearson.

Classificação	Intervalos de r
Muito Fraca	0,00 a 0,19
Fraca	0,20 a 0,39
Moderada	0,40 a 0,69
Forte	0,70 a 0,89
Muito Forte	0,90 a 1,00

Fonte Devore (2006).

Tabela 1 - Índices estatísticos com suas respectivas equações.

Viés	$Viés = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\phi_i - \phi_{oi})$
Erro Absoluto Médio (EAM)	$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \phi_i - \phi_{oi} $
Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)	$REQM = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\phi_i - \phi_{oi})^2 \right]^{1/2}$
Correlação de Pearson (r)	$r = \frac{\sum (\phi_i - \bar{\phi}_i)(\phi_{oi} - \bar{\phi}_{oi})}{\sqrt{\sum (\phi_i - \bar{\phi}_i)^2 \sum (\phi_{oi} - \bar{\phi}_{oi})^2}}$
Teste t de Student (t_c e r_c)	$t_c = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}; r_c = \sqrt{\frac{t^2}{(N-2) + t^2}}$

Fonte: Adaptado, Araújo Júnior *et al.* (2014).

Tabela 3 - Coeficientes de Correlação estimados para o período de 01 a 31 de outubro de 2010 da velocidade do vento observada com os obtidos pelo BRAMS e ERA-Interim.

Mesorregião da Paraíba	Altura (m)	BRAMS	Reanálise
Damião	10	0,77	0,89
	70	(0,86)	(0,93)
	100	(0,85)	(0,92)
Juazeirinho	10	0,77	0,82
	70	(0,89)	(0,88)
	100	(0,87)	(0,88)
Teixeira	10	0,85	0,94
	70	(0,89)	(0,94)
	100	(0,88)	(0,94)

Todas as correlações são significativas a 99% ($\alpha = 0,01$).

Nas reanálises, os valores calculados de r foram maiores que 0,80 nas três localidades e alturas. Os menores valores (0,77) foram verificados para o modelo BRAMS nas localidades de Damião e Juazeirinho na altura de 10 m.

Em todos os casos, o modelo BRAMS apresentou coeficientes de Correlação Forte e com significância estatística de 99%. Para os dados de reanálises do ERA-Interim, na localidade de Teixeira na mesorregião do Sertão (10, 70 e 100 m) e em Damião no Agreste (70 m e 100 m) constataram-se correlações classificadas como Muito Forte; nos casos remanescentes, as correlações foram consideradas Fortes, todos, com significância de 99% ($\alpha = 0,01$) pelo critério t de Student. Isto mostra que a reanálise do ERA-Interim pode ser utilizada para o estudo de potencial eólico no NEB, assim como o modelo BRAMS.

De maneira geral, os índices estatísticos apresentados na Tabela 4 indicam que o modelo BRAMS apresentou o menor e maior erro absoluto médio (EAM), para o município de Damião; o menor (0,65) a 10 m e o maior (0,86) a 100 m. Já para a raiz do erro quadrático médio (REQM), o

mínimo (0,77) se deu para Damião a 10 m e o máximo (1,12) para Juazeirinho a 70 m. Quanto ao Viés, todos os valores apresentados são negativos, exceto Damião a 70 m que apresentou o valor de 0,03. Para as reanálises do ERA-Interim, os menores valores de EAM e REQM foram 0,58 e 0,80, respectivamente. Ocorreram em 10 m na localidade de Juazeirinho e os maiores 1,45 e 1,61 em Teixeira a 100 m, respectivamente para EAM e REQM. O viés também apresenta todos os valores negativos, exceto 0,11 a 10 m, em Juazeirinho.

Os valores dos Vieses indicam a orientação média do desvio com relação aos dados reais. Assim, um Viés com sinal positivo considera-se que houve uma superestimação. O contrário indica uma subestimação dos dados simulados em relação aos observados. Neste contexto, tanto o BRAMS quanto a reanálise subestimam o vento real, sendo que, a reanálise ERA-Interim subestima bem mais. Isso possivelmente foi ocasionado devido as médias diárias ter sido obtidas com base em informações de 6 em 6 horas. O contrário ocorreu com o modelo BRAMS, que as médias diárias foram calculadas em posse de dados de hora em hora.

Nas Figs. 2 e 3 são apresentadas as dispersões da média diária do vento entre valores observados e gerados pelo BRAMS e por reanálise ERA-Interim, respectivamente. A linha tracejada representa um ajuste perfeito com coeficiente de correlação 1 (um). Em ambas as figuras, observa-se uma densidade maior de pontos abaixo do ajuste perfeito indicando uma tendência de subestimativa.

Sobre a Fig. 2 é observado que para todos os casos houve uma subestimação dos dados pelo modelo BRAMS, apresentando uma maior densidade de pontos abaixo da linha de ajuste perfeito. Esses resultados comprovam a tendência de subestimativa apresentada pelo Viés, muito embora, em Damião na altura de 70 m tenha apresentado Viés positivo de 0,03, o que pode ser considerado pequeno. Para os dados de reanálise (Fig. 3) é verificada em todas as localidades e alturas, também, uma tendência de subesti-

Tabela 4 - Índices estatísticos para a velocidade do vento médio diário para os municípios do Estado da Paraíba.

Mesorregião	Altura (m)	BRAMS			Reanálise		
		EAM (m/s)	REQM (m/s)	Viés (m/s)	EAM (m/s)	REQM (m/s)	Viés (m/s)
Damião	10	0,65	0,77	-0,21	0,74	0,88	-0,73
		(0,74)	(0,93)	(-0,16)	(0,58)	(0,80)	(0,11)
		(0,66)	(0,87)	(-0,10)	(0,57)	(0,72)	(-0,50)
Damião	70	0,78	0,94	0,03	1,19	1,36	-1,17
		(0,80)	(1,12)	(-0,28)	(1,08)	(1,38)	(-0,85)
		(0,79)	(1,00)	(-0,33)	(1,04)	(1,22)	(-1,03)
Damião	100	0,86	1,06	-0,30	1,26	1,45	-1,23
		(0,68)	(0,90)	(-0,28)	(0,87)	(1,19)	(-0,66)
		(0,82)	(1,05)	(-0,23)	(1,45)	(1,61)	(-1,45)

mativa com maior evidência na densidade dos pontos abaixo da linha de ajuste perfeito, no entanto, para a localidade de Juazeirinho a 70 m, tem-se o valor do Viés positivo igual a 0,11.

Observa-se que apesar do Viés para as reanálises do ERA-Interim, em valor absoluto, ser maiores do que para o BRAMS, entretanto, esses apresentaram melhores correlações com os dados observados.

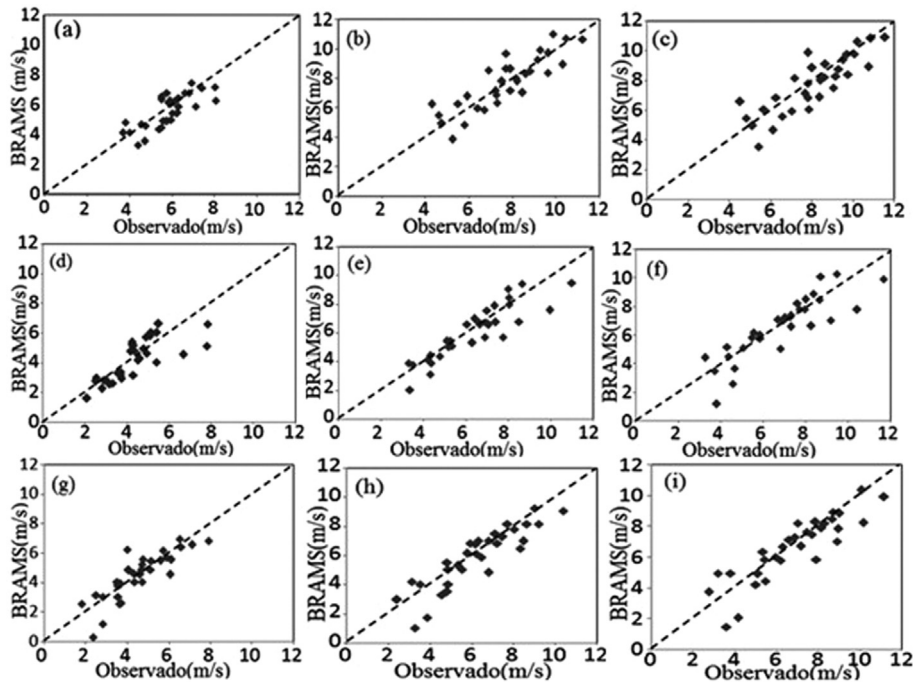


Figura 2 - Dispersão dos dados observados em função dos simulados pelo modelo BRAMS para Damião a) 10 m e b) 70 m c) 100 m; Juazeirinho d) 10 m e e) 70 m f) 100 m e Teixeira g) 10 m e h) 70 m i) 100 m.

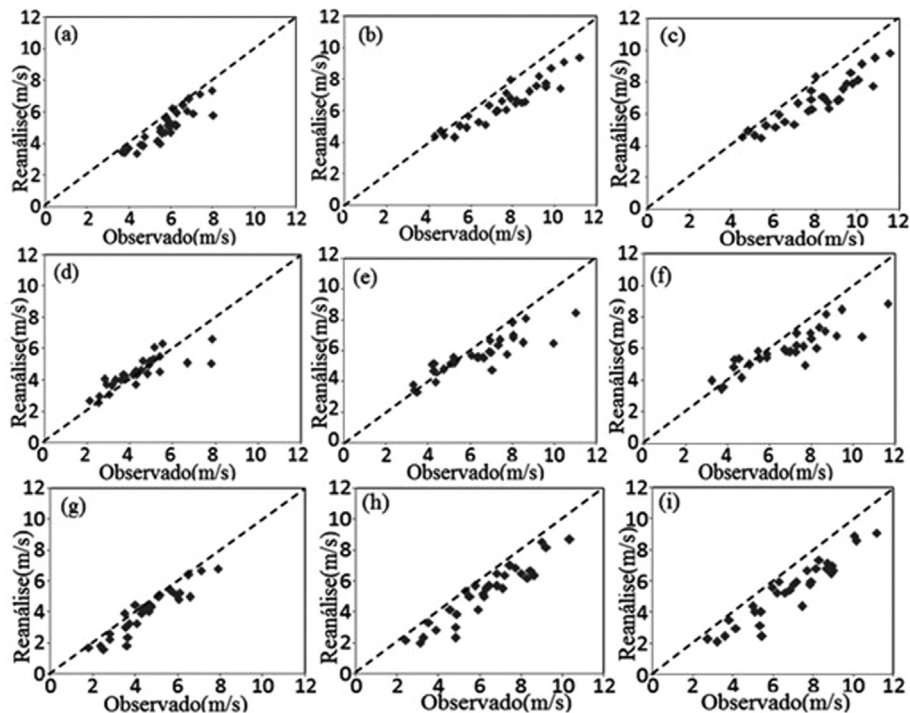


Figura 3 - Dispersão dos dados observados em função dos obtidos pelo ERA-Interim para Damião a) 10 m e b) 70 m c) 100 m; Juazeirinho d) 10 m e e) 70 m f) 100 m e Teixeira g) 10 m e h) 70 m i) 100 m.

3.2. Comportamentos temporais das simulações e reanálises

As Figs. 4, 5 e 6 expressam o comportamento da média diária da velocidade do vento, no período do estudo. Verifica-se um padrão comum às três figuras, onde inicialmente a velocidade oscila até aproximadamente o dia 9 de outubro. Em seguida, percebe-se uma tendência crescente até por volta do dia 16, seguido de uma diminuição nos valores da velocidade a partir do dia 21.

Esse padrão apresentado supostamente em consequência da atuação de uma Linha de Instabilidade que influenciou a intensificação dos ventos sobre o Estado da Paraíba. A Fig. 7 (a e b) mostra as condições atmosféricas no início e fim do intervalo em que ocorre o aumento da velocidade do vento.

Ressalta-se que tanto os dados gerados pelo BRAMS, quanto os gerados pelo ERA-Interim reproduzem coerentemente, dentro dos erros apresentados, a série temporal do período para as três alturas e mesorregiões estudadas. Destacam-se a capacidade que tiveram os modelos BRAMS e da reanálise em reproduzir as tendências crescente e decrescente observadas na série diária do vento para o mês em estudo.

Os valores da velocidade do vento a 10 m estiveram entre um máximo de 8,1 e um mínimo de 3,7 m/s para Agreste, 7,9 e 2,1 m/s para a Borborema e 7,9 e 1,8 m/s para o Sertão, entre os dias 15 a 24 de outubro. Para os níveis de 70 e 100 m, os valores são mais intensos está de acordo com a dinâmica da Camada Limite Planetária (CLP) formulado pelo perfil logaritmo do vento.

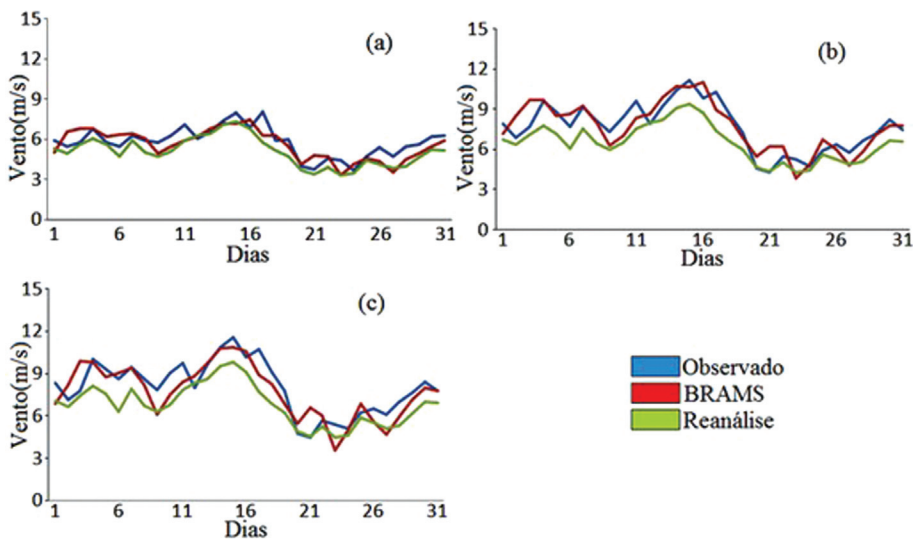


Figura 4 - Variação diária do vento para o mês de outubro de 2010 em Damião para às respectivas alturas de: (a) 10 m, (b) 70 m e (c) 100 m.

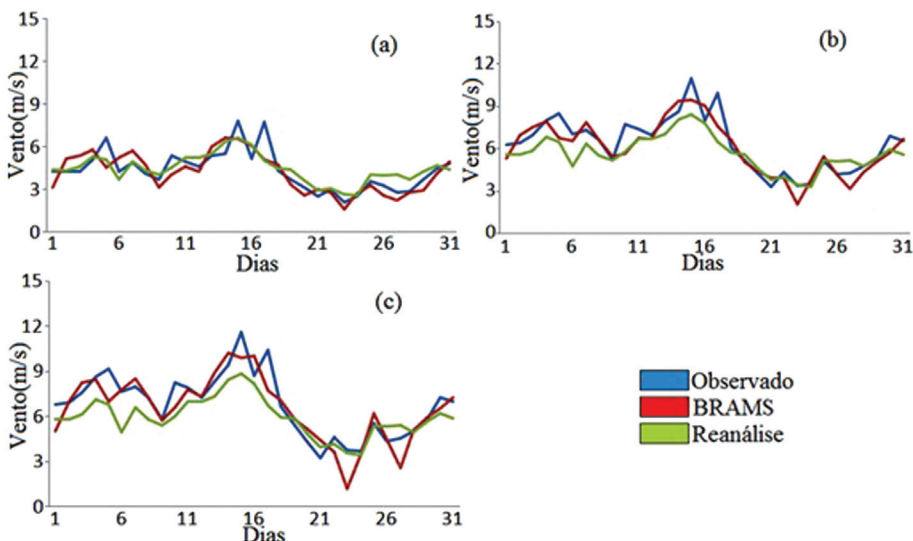


Figura 5 - Variação diária do vento para o mês de outubro de 2010 em Juazeirinho para às respectivas alturas de: (a) 10 m, (b) 70 m e (c) 100 m.

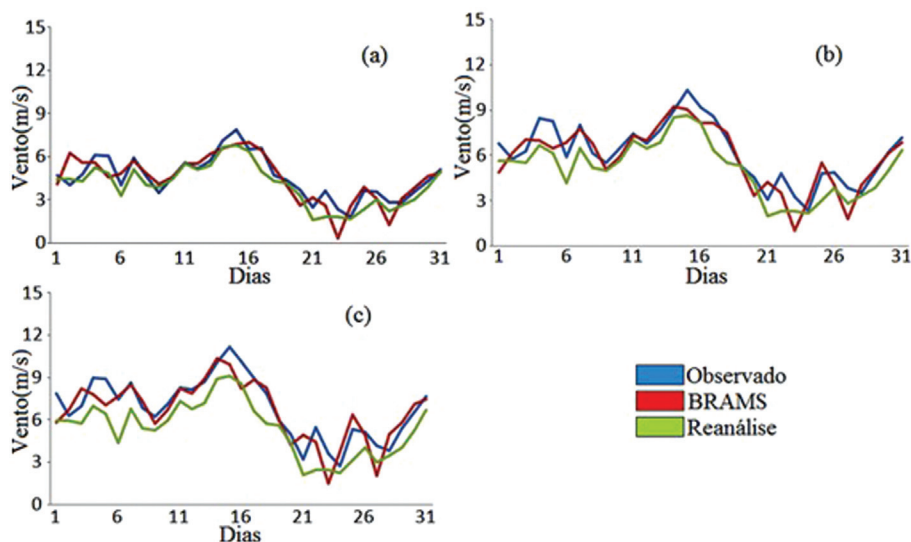


Figura 6 - Variação diária do vento para o mês de outubro de 2010 em Teixeira para às respectivas alturas de: (a) 10 m, (b) 70 m e (c) 100 m.

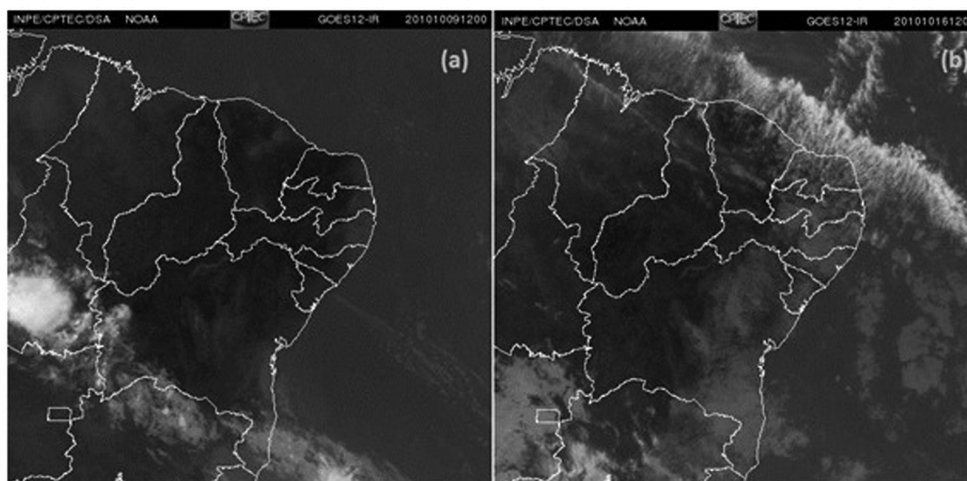


Figura 7 - Imagens GOES a) dia 09/10/2010 e (b) 16/10/2010; Ambas às 12:00 UTC (Fonte: CPTEC/INPE).

No geral, tanto o BRAMS quanto o ERA-Interim representam satisfatoriamente o vento observado, em considerando os parâmetros estatísticos avaliados. Entretanto, o BRAMS leva certa vantagem para propósitos de monitoramento e previsão, por se tratar de uma aplicação com código livre e que requer uma infraestrutura computacional mais modesta, com possibilidade de proporcionar uma redução de escala para um maior detalhamento espacial.

4. Conclusões

Com base nos resultados apresentados e discutidos em relação a comparações entre dados do vento observado, gerados pelo modelo BRAMS e as reanálises do ERA-Interim, conclui-se que: 1) O vento simulado pelo modelo BRAMS e ERA-Interim (10, 70 e 100 m) se correlacionam de Forte a Muito Forte com o vento observado, com significância estatística de 99% ($\alpha = 0,10$) para as três localidades

em estudo; 2) As estatísticas analisadas apontam uma subestimativa dos valores do vento observado, quando estimados pelos modelos BRAMS e ERA-Interim; 3) Os diagramas de dispersão comprovam a linearidade dos dados de vento observados como função dos obtidos pelo BRAMS e ERA-Interim, e, comprovam ainda, a subestimação destes; 4) A série média diária do vento observado para outubro de 2010 foi muito bem representada pelo BRAMS, como também, pelo ERA-Interim nos três níveis estudados, chegando a reproduzir variações importantes de tendências crescentes e decrescentes em virtude da atuação de uma linha de instabilidade que afetou por inteiro o Estado da Paraíba; 5) O modelo BRAMS se credencia como uma ferramenta útil para realizações de previsões do vento à superfície, com fins de monitoramento em parques de geração de energia eólica. As reanálises do ERA-Interim se habilitam como uma base de dados de vento importante,

para análises climáticas das características do vento em estudos do potencial eólico.

Referências

- AESA-PB: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Relatório Final. 32 p.
- ARAÚJO JÚNIOR, L.M.; SILVA, E.M.; COSTA, A.A.; SALES, D.C.; VASCONCELOS JUNIOR, F.C.; *et al.* O. Avaliação dos recursos eólicos simulado no estado do Ceará: um estudo de caso para o El Niño 97/98 e para La Niña 98/99. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 139-152, 2014.
- BORBA, B.S.M.C.; LUCENA, A.F.P.; RATHMANN, R.; COSTA, I.V.L.; NOGUEIRA, L.P.P.; *et al.* Energy-related climate change mitigation in Brazil: potential, abatement costs and associated policies. **Energy Policy**, v. 49, p. 430-441, 2012.
- DEE, D.P.; UPPALLA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; *et al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011.
- DEVORE, J.L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciência**. São Paulo. Thomson Pioneira, 706 p., 2006.
- FEDDERSEN, H.; NAVARRA, A.; WARD, M.N. Reduction of model systematic error by statistical correction for dynamical seasonal predictions. **Journal of Climate**, v. 12, n. 7, p. 1974-1989, 1999.
- FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-26, 2005.
- GARRAT, J.R.; PIELKE, R.A. On the sensitivity of mesoscale models to surface-layer parameterization constants. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 48, n. 4, p. 377-387, 1989.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; *et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.
- KISTLER R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, J.; *et al.* The NCEP-NCAR 50 - year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 82, n. 2, p. 247-267, 2001.
- LIMA, F.J.L.; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P.; SILVA, E.M. da. 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, n. 2012, p. 1-16, 2012.
- LIMA, L.A.; BEZERRA FILHO, C.R. Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo - Pernambuco, Brazil. **Renewable Energy**, v. 35, n. 12, p. 2705-2713, 2010.
- LOPEZ, R.A. **Energia Eólica**. Energia e meio ambiente. São Paulo: Artliber. p. 312-332, 2012.
- PIELKE, R.A. **Mesoscale Meteorological Modeling**. Academic Press: New York. 612 p., 1984.
- PIELKE, R.A.; COTTON, W.R.; WALKO, R.L.; TREMBACK, C.J.; LYONS, W.A.; *et al.* A comprehensive meteorological modeling system-RAMS. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 49, n. 1, p. 69-91, 1992.
- PINTO, L.I.C.; MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B.; FISCH, G.F.; LYRA, R.F. da 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.
- UPPALA, S.M.; KALLBERG, P.W.; SIMMONS, A.J.; ANDRAE, U.; BECHTOLD, V. da C.; *et al.* "The ERA-40 re-analysis". **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 131, n. 612, p. 2961-3012, 2005.
- WALKO, R.L.; TREMBACK, J.C.; HERTENSTEIN, R.F.A. **RAMS - The regional atmospheric modeling system, version 3b, user's guide**. ASTER Division, Mission Research Corporation, Fort Collins, CO, 1995.
- WILBANKS, T.J.; BHATT, V.; BILELLO, D.E.; BULL, S.R.; EKMANN, J.; *et al.* **Effects of climate change on energy production and use in the United States**. Report by the U.S. Climate Change Science Program and Global Change Research. Washington, DC, 2008.