



I WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE MODELAGEM DA ATMOSFERA APLICAÇÕES NA ÁREA DE ENERGIA EÓLICA

CTGAS-ER | NATAL-RN
14 e 15 junho de 2018

Propostas de Modelagem Híbrida Combinada a partir de Modelos de Séries Temporais com Inteligência Artificial para Previsão, de Alta Precisão, da Velocidade do Vento com *vias* à Geração Eólica

Paulo Sérgio Lucio*

Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPgCC)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)



Henrique do Nascimento Camelo ** & Cláudio Moisés Santos e Silva*



Produções Acadêmicas - Histórico

Workshop do Projeto FAPEMIG/CEMIG GT-555

“Desenvolvimento de modelos, métodos e sistema computacional para a previsão da velocidade do vento em horizontes de curto e longo prazos”

O link para acessar as apresentações dos palestrantes do 2º Workshop:

https://www.dropbox.com/s/9qihqyrkofxf9kn/Apresentacoes_Workshop_P%26D_FAPEMIG_CEMIG_GT555_2017-12-07.rar?dl=0

Belo Horizonte, **21 de dezembro de 2017***.

Artigos completos publicados em Periódicos

1. [CAMELO, H. N.; LUCIO, P. S. ; CARVALHO, P. C. M. ; LEAL JR., J. B. V.](#) Previsão de velocidade do vento no nordeste brasileiro através do modelo ARIMAX. **REVISTA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, v. 20, p. 9-17, 2017.
2. [CAMELO, HENRIQUE DO NASCIMENTO; LUCIO, P. S. ; LEAL JR., J. B. V.](#) Previsão de velocidade do vento em termos de médias mensais e horárias a partir da combinação dos modelos Holt-Winters e Redes Neurais Artificiais. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 10, p. 1391-1405, 2017.
3. [CAMELO, H. N.; LUCIO, P. S. ; LEAL JUNIOR, J. B. V. ; GOMES, O. M.](#) Wind speed prediction in northeastern Brazil municipalities through Linear Regression and Nonlinear for wind power generation purposes. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 927-939, 2016.
4. [CAMELO, H. N.; LUCIO, P. S. ; LEAL JR., J. B. V.](#) Modelagem de média mensal de velocidade do vento para região litorânea no nordeste Brasileiro através do método aditivo Holt-Winters com vias a previsão de geração eólica. **Revista Brasileira de Energia Renováveis**, v. 5, p. 587-604-587, 2016.
5. [CAMELO, HENRIQUE DO NASCIMENTO; LUCIO, PAULO SÉRGIO ; DE CARVALHO, PAULO CESAR MARQUES; LEAL JUNIOR, JOAO BOSCO VERÇOSA.](#) PREVISÃO DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NO ESTADO DO CEARÁ - BRASIL. **Holos (Natal. Online)**, v. 7, p. 218-230, 2016.
6. [CAMELO, HENRIQUE DO NASCIMENTO; LUCIO, PAULO SÉRGIO ; GOMES, OSEAS MACHADO; LEAL JUNIOR, JOAO BOSCO VERÇOSA](#) . Utilização de Análise de Correspondência para Classificação da Velocidade do Vento no Nordeste Brasileiro. **Principia (João Pessoa)**, v. 1, p. 22-28, 2016.
7. [CAMELO, H. N.; TEIXEIRA, W. F. ; LUCIO, P. S. ; LEAL JUNIOR, J. B. V.](#) Previsão de Velocidade Média do Vento através da utilização de modelagem Auto-Regressiva de Médias Móveis (ARMA) em Região Serrana no Estado do Ceará - Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 4, p. 17-29, 2015.

Artigos completos aceitos em Periódicos*

1. 8. Métodos de previsão de séries temporais e modelagem híbrida ambos aplicados em médias mensais de velocidade do vento para regiões do Nordeste do Brasil

Henrique do Nascimento Camelo

Paulo Sérgio Lucio

João Bosco Verçosa Leal Junior

Paulo Cesar Marques de Carvalho

Submetido a [RBMET](#) 19/09/2016

ACEITO 16/03/2017

2. 9. Proposta para previsão de velocidade do vento através de modelagem híbrida elaborada a partir dos modelos ARIMAX e RNA.

Henrique Camelo, Paulo S. Lucio, João Bosco V. L. J

Submetido a [RBMET](#) 27/04/2017

ACEITO 19/09/2017

Artigos completos submetidos a Periódicos*

1. 10. Modelagem da velocidade do vento usando as metodologias ARIMA, Holt-Winter e RNA com vias a previsão de geração eólica no nordeste brasileiro

Henrique do Nascimento Camelo
Paulo Sérgio Lucio
João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Revista Brasileira de Climatologia 21/09/2016 – status: em AVALIAÇÃO.

2. 11. PREVISÃO DE CURTO E LONGO PRAZO DA VELOCIDADE DO VENTO A PARTIR DE MODELAGEM BOX-JENKINS NO NORDESTE BRASILEIRO

Henrique do Nascimento Camelo
Paulo Sérgio Lucio
João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Revista Brasileira de Energias Renováveis 14/02/2017 – status: em AVALIAÇÃO.

Artigos completos submetidos a Periódicos*

3. 12. Current status of wind speed prediction models and an innovative hybrid modeling proposal: A case study in northeastern Brazil

Henrique do Nascimento Camelo
Paulo Sérgio Lucio
João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Renewable & Sustainable Energy Reviews (QUALIS A1) 17/07/2017 – status: com EDITOR.

4. 1. Innovative models of time series prediction for possible applications in the wind sector in the Brazilian northeast region

Henrique do Nascimento Camelo
Paulo Sérgio Lucio
João Bosco Verçosa Leal Junior
Paulo Cesar Marques de Carvalho
Daniel Von Guen

Submetido para Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamincs (QUALIS B1) 01/08/2017 – status: em AVALIAÇÃO.

Artigos completos submetidos a Periódicos*

5. 2. Innovative hybrid models for time series forecasting elaborated in software R for possible applications in the wind power generation sector

Henrique do Nascimento Camelo
Paulo Sérgio Lucio
João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Environmental Modelling & Software (QUALIS A2) 11/08/2017 – status: com EDITOR.

6. 3. Wind speed forecast through innovative hybrid models for future applications in wind energy

Henrique do Nascimento Camelo
Paulo Sérgio Lucio
João Bosco Verçosa Leal Junior
Paulo Cesar Marques de Carvalho

Submetido para Journal of Cleaner Production (QUALIS A1)14/08/2017 – status: em AVALIAÇÃO (pela segunda vez).

Artigos completos submetidos a Periódicos*

7. 4. A hybrid model based on time series models and neural network for forecasting wind speed in the Brazilian northeast region

Henrique do Nascimento Camelo

Paulo Sérgio Lucio

João Bosco Verçosa Leal Junior

Paulo Cesar Marques de Carvalho

**Submetido para Sustainable Energy Technologies and Assessments (QUALIS B1)
09/09/2017 – status: com EDITOR.**

Novas Propostas de artigos a serem submetidos a Periódicos*

- 1. Proposição de um modelo híbrido a partir da junção dos modelos clássicos de série temporal (HW) e de inteligência artificial (ANN) para previsão de velocidade e direção do vento para o planejamento de contenção da dispersão de derrames de petróleo em alto mar**

Henrique do Nascimento Camelo , Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Jorge Eduardo Lins Oliveira, Daniel Von Guen

Status: artigo elaborado (tradução sendo providenciada pelo Daniel Von Guen)

Submissão - Revista Marine Pollution Bulletin (The International Journal for Marine Environmental Scientists, Engineers, Administrators, Politicians. and Lawyers)

Novas Propostas de artigos a serem submetidos a Periódicos*

2. New Hybrid model for short-term wind speed time series forecast: case study in a coastal region in northeastern Brazil

Henrique do Nascimento Camelo , Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Status: artigo elaborado em fase final de elaboração

Submissão - Revista Applied Energy (motivo: nova submissão com a introdução de sugestões do editor na ocasião de recusa de artigo).

Nova Proposta de artigo sendo concluído para submeter a Periódico*

3. Hybrid model for predictions of wind speed and direction applied in the marine environment.

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio
Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPGCC), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970, Caixa Postal 1524, Natal, RN, Brazil. **e-mail:** henriquecamelo13@yahoo.com.br, pslucio@ccet.ufrn.br

João Bosco Verçosa Leal Junior

Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas (MACFA), Universidade Estadual do Ceará (UECE), Campus do Itaperi, Av. Dr. Silas Munguba, 1700, CEP 60714-903, Fortaleza, CE, Brazil.

Jorge Eduardo Lins Oliveira

Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Via Costeira, s/n – Natal – RN – Brazil.

Daniel von Glehn dos Santos

Programa de Pós-graduação em em Ciências Físicas Aplicadas (MACFA), Universidade Estadual do Ceará (UECE), Campus do Itaperi, Av. Dr. Silas Munguba, 1700, CEP 60714-903, Fortaleza, CE, Brazil.



I WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE MODELAGEM DA ATMOSFERA APLICAÇÕES NA ÁREA DE ENERGIA EÓLICA

CTGAS-ER | NATAL-RN
14 e 15 junho de 2018

Propostas de Modelagem Híbrida Combinada a partir de Modelos de Séries Temporais com Inteligência Artificial para Previsão, de Alta Precisão, da Velocidade do Vento com *vias* à Geração Eólica

Paulo Sérgio Lucio*

Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPgCC)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Henrique do Nascimento Camelo & Cláudio Moisés Santos e Silva***



Artigo completo publicado em Periódico*

1 – DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v4i3>

revistas.ufpr.br/rber/article/view/39718

Capa > v. 4, n. 3 > Camelo

Revista Brasileira de Energias Renováveis

PREVISÃO DE VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM AUTO-REGRESSIVA DE MÉDIAS MÓVEIS (ARMA) EM REGIÃO SERRANA NO ESTADO DO CEARÁ - BRASIL

Henrique do Nascimento Camelo, Wesley Ferreira Teixeira, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior

Material e métodos:

- Médias horárias do ano de 2005 – 8724 medições. Fonte: FUNCEME.
- Local – Ubajara (região serrana no Ceará).
- Modelo ARMA -

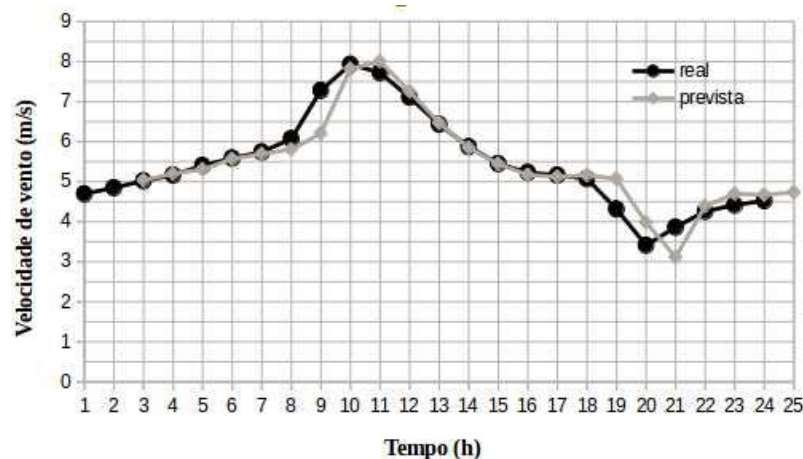


$$y_t = \mu + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \dots + \theta_q e_{t-q}$$

Resultados:

- Medidas de acurácia.
- Ilustração gráfica séries temporais – real x prevista.

ME (m/s)	RMSE (m/s)	MAPE (%)
0,23	0,37	4,59



Artigo completo publicado em Periódico*

2-DOI:<http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n31p22-28>

revista
principia

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFPB | N° 31

Utilização de análise de correspondência para classificação da velocidade do vento no nordeste brasileiro



Henrique do Nascimento Camelo ^[1], Paulo Sérgio Lucio ^[2], Oseas Machado Gomes^[3], João Bosco Verçosa Leal Junior ^[4]

[1] henriquecamelo13@yahoo.com.br, [2] pslucio@cct.ufpb.br, [3] oseasmachado@gmail.com, [4] jblealjr@uece.br – IFPB – Av. João da Mata, 256, Jaguaribe, João Pessoa – PB

Material e métodos:

- médias horárias para um período de quatro anos, ou seja, de 01/01/2010 até 31/12/2013. Fonte: AIRMETAR.
- Local – Tab1).
- Modelo – Análise de Correspondência (AC) – Tab2).

Tabela 1 – Localização dos dados de velocidade de vento nas regiões de estudo e sua representação em forma de sigla começando por (SB)

Localidade	SIGLA	Latitude	Longitude
Fortaleza	SBFZ	-3,77°	-38,52°
Natal	SBNT	-5,92°	-35,25°
Parnaíba	SBPB	-2,92°	-41,75°
São Luís	SBSL	-2,6°	-44,22°
Recife	SBRF	-8,13°	-34,92°
Aracaju	SBAR	-10,97°	-37,07°
João Pessoa	SBJP	-7,12°	-34,95°
Salvador	SBSV	-12,9°	-38,32°
Maceió	SBMO	-9,52°	-35,77°

Fonte: projeto Airmetar.

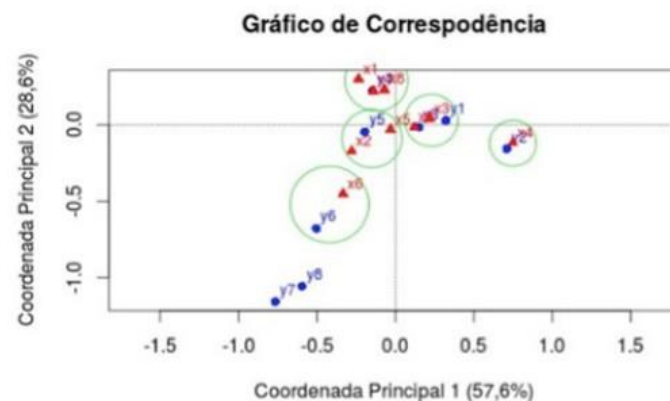
Tabela 2 – Apresentação da escala Beaufort por meio de classificação da velocidade do vento

Nº de Beaufort	Descrição	Crêterios de apreciação na Terra	Velocidade do vento (m/s)
0	Calmaria	A fumaça eleva-se verticalmente.	<0,3
1	Aragem	Fumaça indica direção de vento.	0,3 - 1,6
2	Brisa leve	As folhas se movem e o vento é sentido no rosto.	1,6 - 3,3
3	Brisa fraca	As folhas e os ramos pequenos se movem continuamente.	3,3 - 5,4
4	Brisa moderada	O vento levanta o pó e as folhas. Os galhos das árvores se agitam.	5,4 - 7,9
5	Brisa forte	Pequenas árvores começam a balançar.	7,9 - 10,7
6	Vento fresco	Movem-se os ramos das árvores; Os fios elétricos vibram. Dificuldade em se usar o guarda-chuva.	10,7 - 13,8
7	Vento forte	Movem-se as grandes árvores; dificuldade em andar contra o vento.	13,8 - 17,1

Fonte: adaptada do INMET (2015).

Resultados: Ilustração gráfica.

Gráfico 1 – Representação gráfica das duas primeiras coordenadas principais



Legenda:

▲ x1 = Aracaju
▲ x2 = Fortaleza
▲ x3 = João Pessoa
▲ x4 = Maceio
▲ x5 = Natal
▲ x6 = Parnaiba
▲ x7 = Recife
▲ x8 = Salvador
▲ x9 = São Luis

● y1 = Calmaria
● y2 = Aragem
● y3 = Brisa Leve
● y4 = Brisa Fraca
● y5 = Brisa Moderada
● y6 = Brisa Forte
● y7 = Vento Fresco
● y8 = Vento Forte

Conclusão: A aplicação de estatística multivariada com a técnica de Análise de Correspondência mostrou-se eficaz na categorização da velocidade do vento a 10 m de altura em localidades do nordeste brasileiro. O estudo apontou que os ventos possuem predominância do tipo **brisas**. Este resultado pode estar associado à proximidade das regiões estudadas com o litoral.

Artigo completo publicado em Periódico*

3-DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v5i4.48582>

① revistas.ufpr.br/rber/article/view/48582

Capa > v. 5, n. 4 (2016) > Camelo

Revista Brasileira de Energias Renováveis

MODELAGEM DE MÉDIA MENSAL DE VELOCIDADE DO VENTO PARA REGIÃO LITORÂNEA NO NORDESTE BRASILEIRO ATRAVÉS DO MÉTODO ADITIVO HOLT-WINTERS COM VIAS A PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior

Material e métodos:

- Médias mensais dos anos de 2004 a 2005. Fonte: FUNCEME.
- Local – Caucaia (região litorânea no Ceará).
- Modelo Holt-Winters -

Tabela 1: Equações representativas dos modelos HW aditivo.

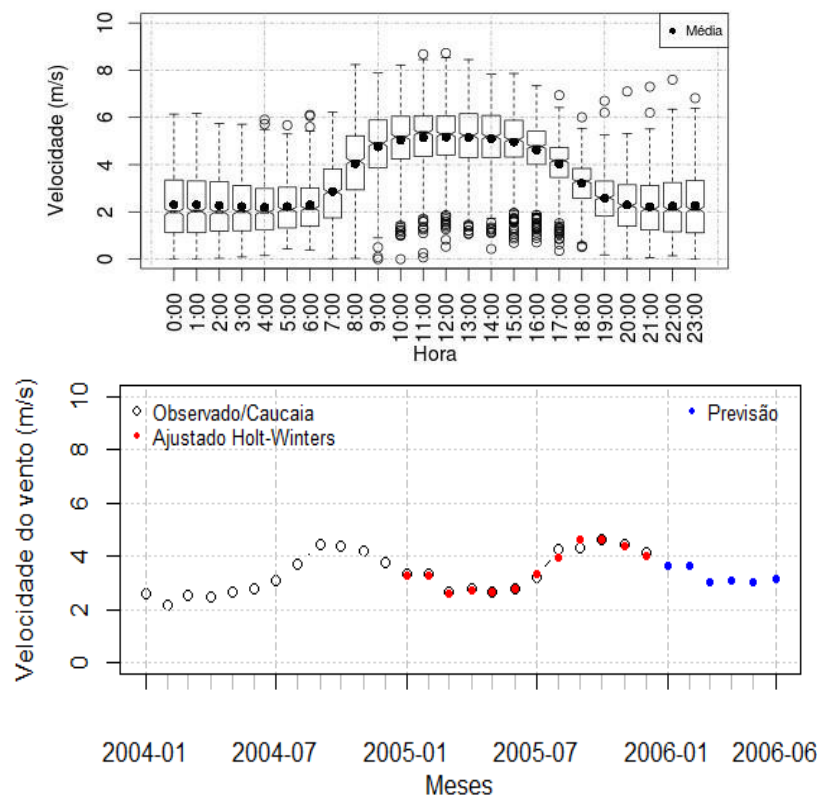
	HW – aditivo
Nível	$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$ (1)
Tendência	$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$ (1)
Sazonalidade	$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s}$ (3)
Previsão	$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m}$ (4)



Resultados:

- Medidas de acurácia.
- Ilustração gráfica séries temporais.

ME (m/s)	RMSE (m/s)	MAPE (%)
0,12	0,16	3,48



Artigo completo publicado em Periódico*

Resultados

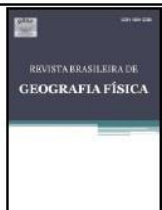
4-DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20160063>

Revista Brasileira de Geografia Física v.09, n.03 (2016) 927-939.



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Predição de velocidade do vento em municípios do Nordeste brasileiro através de regressão linear e não linear para fins de geração eólica

Henrique do Nascimento Camelo¹, Paulo Sérgio Lucio², Oseas Machado Gomes³, João Bosco Verçosa leal Junior⁴

Material e métodos:

- Médias mensais dos anos de 2010 a 2014. Fonte: AIRMETAR.
- Locais – Fortaleza, Parnaíba e São Luís.
- Modelos: Regressão Linear e Regressão Não-Linear

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{i,k} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

$$y_i(x_i) = a \cdot e^{bx_i},$$
$$y_i(x_i) = A \cdot x_i^2,$$

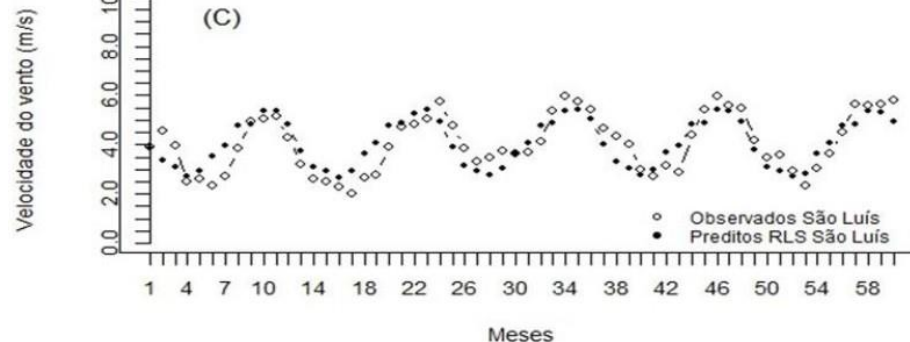
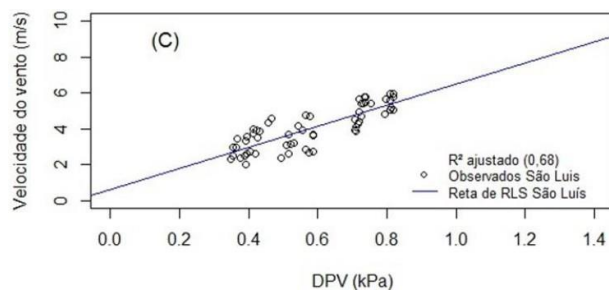


Tabela 3: Averiguação dos pressupostos para identificar a aderência dos modelos de RLS e RNL. Para cada teste aplicado sobre os resíduos são apresentados os p-valores.

RLS	TSW	TDW	TBP
Fortaleza - CE	0,2139	1,114 x 10 ⁻⁶	0,3964
Parnaíba - PI	0,0191	2,734 x 10 ⁻¹⁰	0,0268
São Luís - MA	0,0726	8,373 x 10 ⁻¹⁰	0,2531
RNL1	TSW	TDW	TBP
Fortaleza - CE	0,2603	1,121 x 10 ⁻⁶	0,4417
Parnaíba - PI	0,0160	4,176 x 10 ⁻⁶	0,7608
São Luís - MA	0,0865	4,846 x 10 ⁻⁶	0,0651
RNL2	TSW	TDW	TBP
Fortaleza - CE	0,6981	2,575 x 10 ⁻¹²	0,4611
Parnaíba - PI	0,5128	1,577 x 10 ⁻¹¹	0,2251
São Luís - MA	0,0437	3,720 x 10 ⁻¹³	0,1482

Tabela 4: Estatística de erros – comparativo entre os modelos de RLS e RNL com os dados observados.

RLS	MAE (m/s)	RMSE (m/s)	MAPE (%)
Fortaleza - CE	0,62	0,74	12,94
Parnaíba - PI	0,98	1,11	19,11
São Luís - MA	0,56	0,64	15,51
RNL1	MAE (m/s)	RMSE (m/s)	MAPE (%)
Fortaleza - CE	0,62	0,75	12,87
Parnaíba - PI	0,97	1,10	18,65
São Luís - MA	0,55	0,63	15,00
RNL2	MAE (m/s)	RMSE (m/s)	MAPE (%)
Fortaleza - CE	0,89	1,09	18,80
Parnaíba - PI	1,30	1,60	26,80
São Luís - MA	0,98	1,18	29,68

Artigo completo publicado em Periódico*

Resultados:

5-DOI: em fase de elaboração



Revista Ciência e Tecnologia



Capa > v. 20, n. 36 (2017) > Camelo

Previsão de velocidade do vento no nordeste brasileiro através do modelo ARIMAX

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Paulo Cesar Marques de Carvalho

Material e métodos:

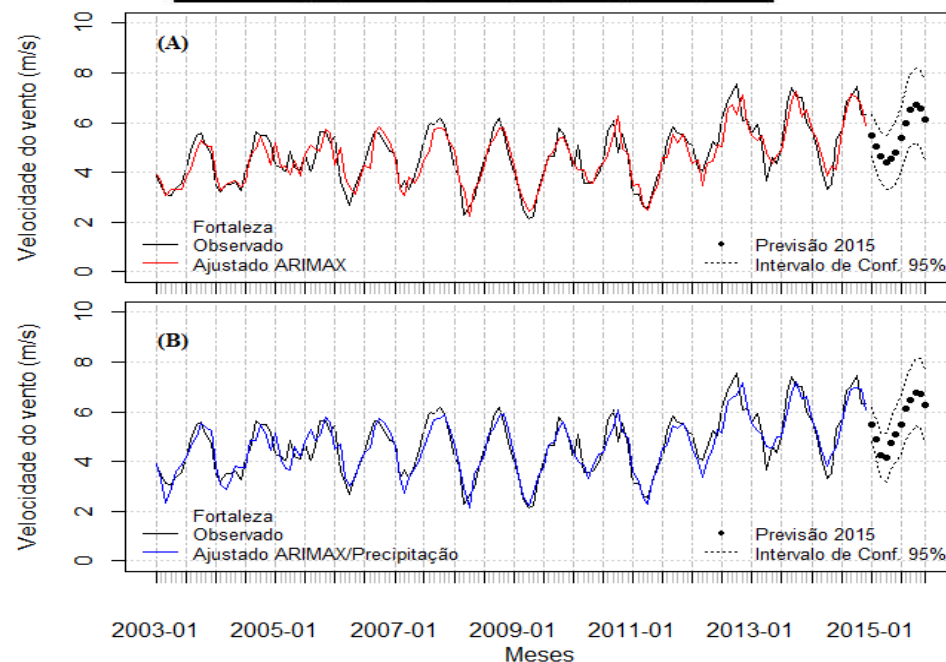
- Médias mensais (144) dos anos de 2003 a 2014. Fonte: AIRMETAR.
- Locais – Fortaleza, Parnaíba e Natal.
- Modelo: ARIMAX

O modelo propriamente utilizado nesse trabalho trata-se do ARIMAX, o qual é derivado do ARIMA. A diferença entre os dois é que o modelo Auto-Regressivo (Auto-Regressive) Integrado (Integrated) de Médias Móveis (Moving Average) e Entradas Exógenas (Exogenous inputs) possui, além dos parâmetros auto-regressivos e de médias móveis, a entrada exógena [13]. O modelo ARIMAX pode ser entendido como a combinação dos modelos Auto-Regressivo AR(p), Integrado (d), Média-Móvel MA(q) e Exógeno X(r), e que pode então ser simbolizado por ARIMAX(p, d, q, r). Uma forma simplificada de representar matematicamente esse modelo está descrito na Equação 1:

$$y_t = \rho + \sum_{i=1}^p \beta_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^r \omega_j w_j + \sum_{j=1}^q (\theta_j \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

Tabela 2 – Estatística de erros para identificar acurácia do modelo ARIMAX. Erro(1) representa os erros sem precipitação, e Erro(2) com precipitação.

Erro(1) / Local	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE(1)	0,40	0,39	0,55
RMSE(1)	0,52	0,50	0,72
MAPE(1)	8,91	9,06	10,64
Erro(2) / Local	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE(2)	0,37	0,37	0,54
RMSE(2)	0,48	0,45	0,71
MAPE(2)	8,48	8,47	10,40



Artigo completo publicado em Periódico*

6-DOI: em fase de elaboração

Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.05 (2017) 1391-1405.



Revista Brasileira de
Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Previsão de velocidade do vento em termos de médias mensais e horárias a partir da combinação dos modelos Holt-Winters e Redes Neurais Artificiais

Henrique do Nascimento Camelo¹, Paulo Sérgio Lucio², João Bosco Verçosa Leal Junior³

Material e métodos:

- Médias mensais (144) e horárias (8760) dos anos de 2003 a 2014. Fonte: AIRMETAR.
- Locais – Fortaleza, Parnaíba e Natal.
- Modelos: Holt-Winters e RNA = Hybrid

$$hybrid = HW_{prev} + RNA_{prev/HW}, \quad (4)$$

em que: *hybrid*, representa a previsão do modelo híbrido, o qual é resultado da adição da componente linear prevista pelo modelo HW_{prev} , com a componente não linear prevista pelo modelo $RNA_{prev/HW}$, sendo que essa última componente também é modelada a partir dos resíduos do modelo HW. Vale destacar a característica inovadora desse modelo híbrido na tentativa de realizar previsões de séries temporais, sobretudo, para a variável velocidade do vento.

Resultados:

Tabela 1: Mensal.

Erro – HW	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m.s ⁻¹)	0,45	0,40	0,63
RMSE (m.s ⁻¹)	0,57	0,50	0,80
MAPE (%)	10,10	9,44	14,21
Erro – ANN	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m.s ⁻¹)	0,46	0,36	0,93
RMSE (m.s ⁻¹)	0,66	0,53	1,29
MAPE (%)	10,29	8,14	19,25
Erro – hybrid	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m.s ⁻¹)	0,44	0,32	0,22
RMSE (m.s ⁻¹)	0,56	0,45	0,33
MAPE (%)	10,0	7,70	4,93

Tabela 2: Horário.

Erro – HW	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m.s ⁻¹)	1,19	1,03	1,12
RMSE (m.s ⁻¹)	1,55	1,38	1,50
MAPE (%)	25,71	27,37	26,03
Erro – ANN	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m.s ⁻¹)	0,75	0,71	0,64
RMSE (m.s ⁻¹)	1,01	0,96	0,89
MAPE (%)	15,10	15,30	15,47
Erro – hybrid	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m.s ⁻¹)	0,73	0,66	0,67
RMSE (m.s ⁻¹)	0,97	0,89	0,88
MAPE (%)	14,91	14,50	12,01

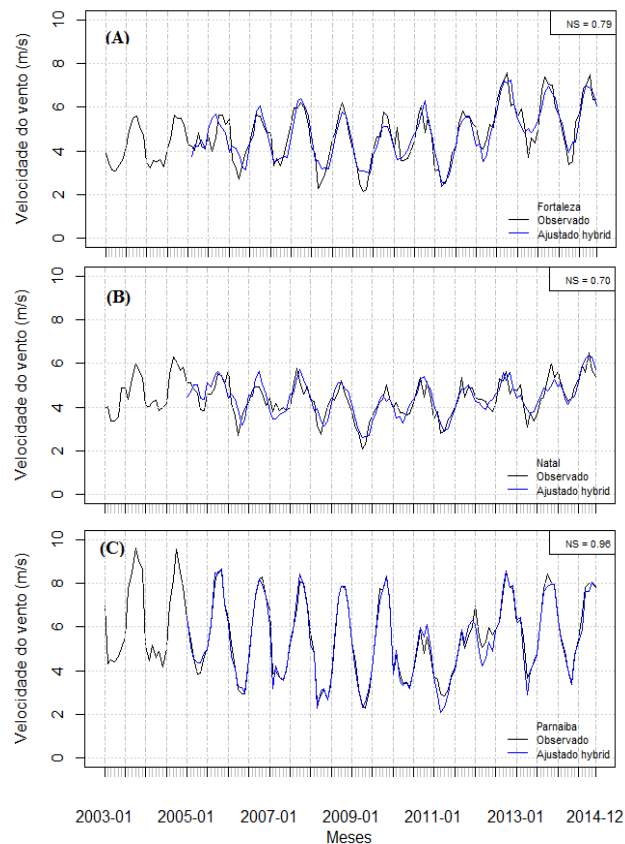
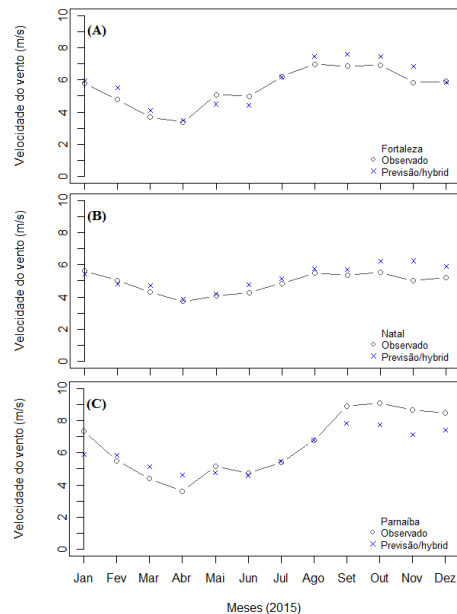
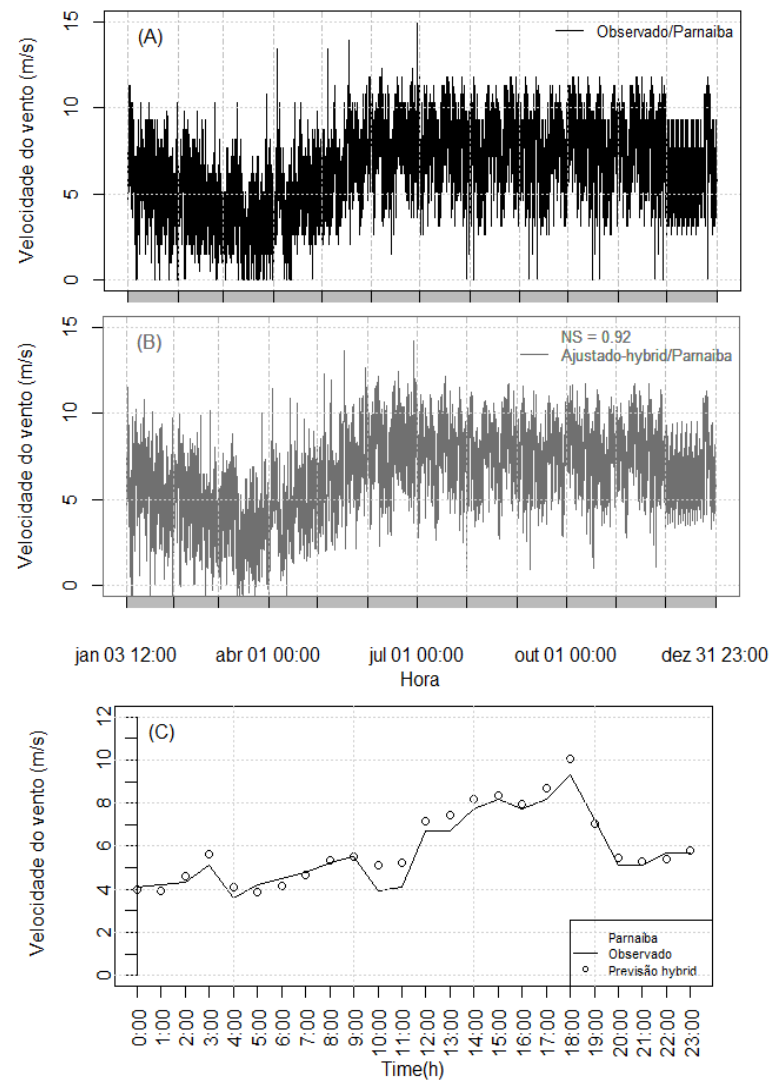


Fig 2: Trainamento - mensal.



**Fig 3: Previsão –
mensal 2015.**



**Fig 4: Observado, Ajustado, e
Previsão (horária).**

Artigo completo publicado em Periódico*



1. Métodos de previsão de séries temporais e modelagem híbrida ambos aplicados em médias mensais de velocidade do vento para regiões do Nordeste do Brasil

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Paulo Cesar Marques de Carvalho

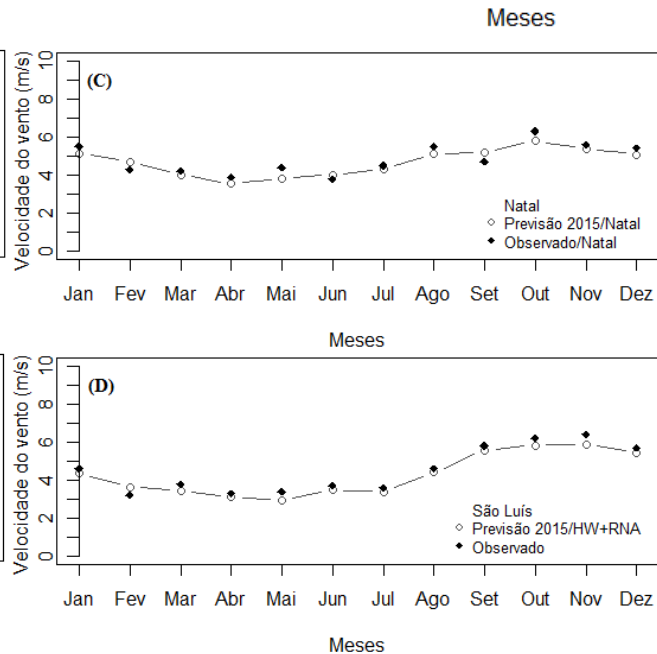
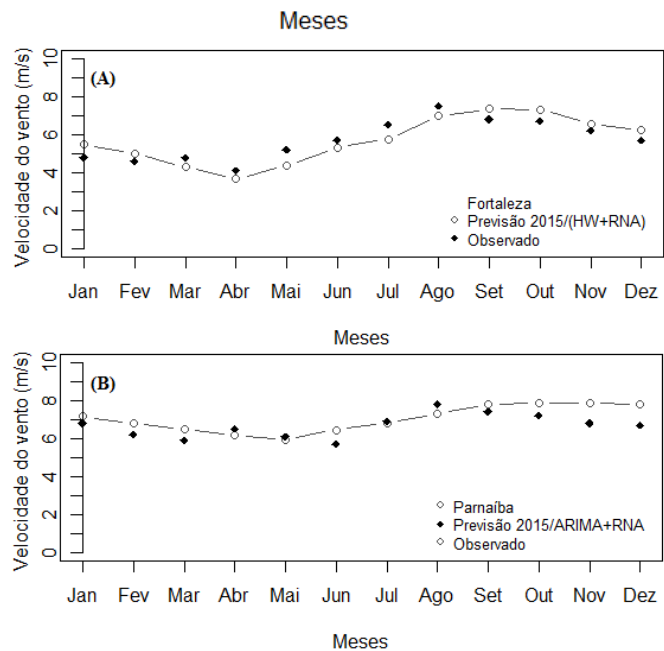
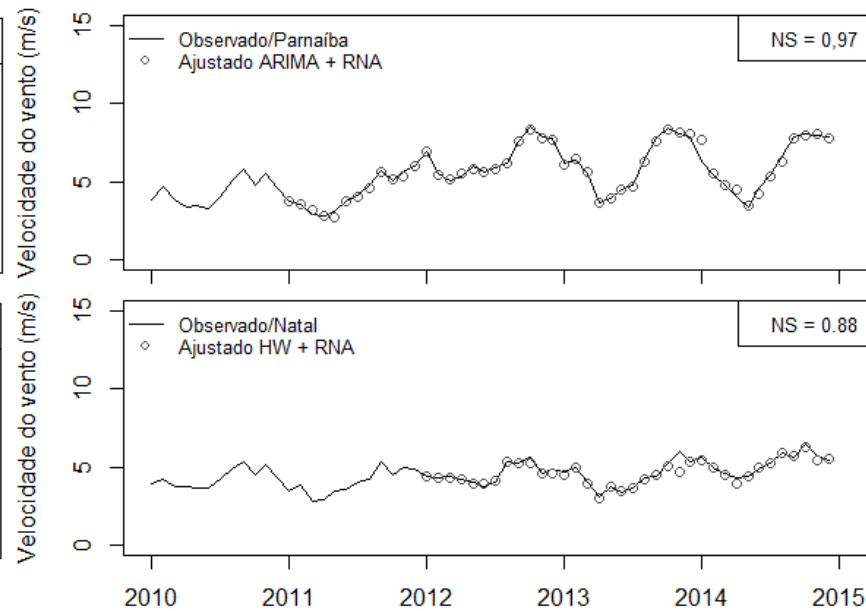
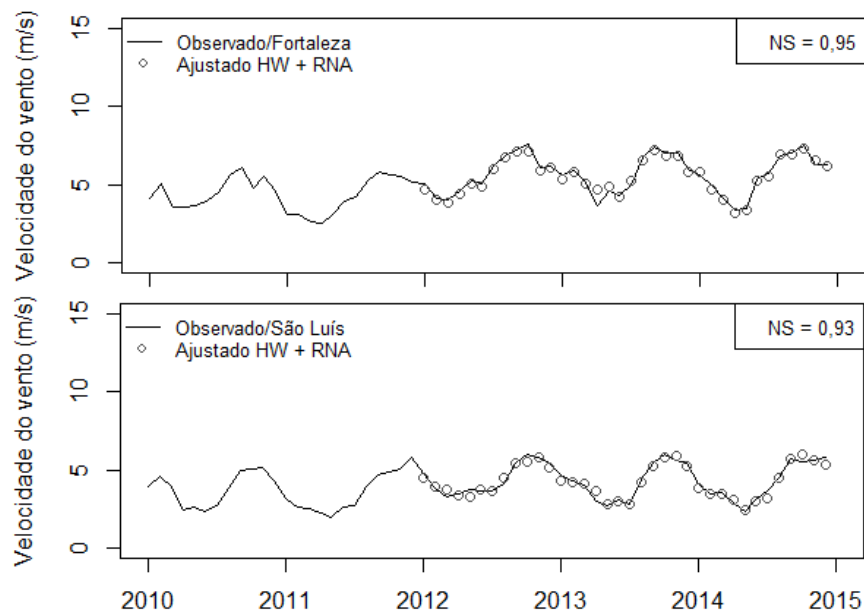
Submetido a RBMET 19/09/2016

ACEITO 16/03/2017

Objetivo: comparação de dois modelos híbridos (ARIMA+RNA) (da literatura e (HW+ RNA) (inovador) – previsão de médias mensais.

Tabela 3 - Estatística de erros na comparação da série temporal observada com a obtida pelos modelos de previsão propostos.

Fortaleza	ARIMA	HW	RNA	ARIMA+RNA	HW+RNA
MAE (m/s)	0,56	0,48	0,43	0,54	0,20
RMSE (m/s)	0,72	0,62	0,52	0,69	0,25
MAPE (%)	11,41	9,86	8,74	10,86	3,80
Parnaíba	ARIMA	HW	RNA	ARIMA+RNA	HW+RNA
MAE (m/s)	1,41	0,51	0,52	0,14	0,22
RMSE (m/s)	1,66	0,72	0,64	0,25	0,28
MAPE (%)	25,02	9,02	9,85	2,81	3,85
São Luís	ARIMA	HW	RNA	ARIMA+RNA	HW+RNA
MAE (m/s)	0,26	0,31	0,38	0,37	0,20
RMSE (m/s)	0,35	0,43	0,45	0,47	0,26
MAPE (%)	7,46	7,78	10,50	9,89	4,91
Natal	ARIMA	HW	RNA	ARIMA+RNA	HW+RNA
MAE (m/s)	0,39	0,43	0,28	0,25	0,13
RMSE (m/s)	0,50	0,55	0,37	0,57	0,26
MAPE (%)	8,68	9,71	6,52	2,98	2,85



Artigo completo publicado em Periódico*



2. Proposta para previsão de velocidade do vento através de modelagem híbrida elaborada a partir dos modelos ARIMAX e RNA.

Henrique Camelo, Paulo S. Lucio, João Bosco V. L.J

Submetido a RBMET 27/04/2017

ACEITO 19/09/2017

Objetivo: Elaboração de modelo híbrido denominado de Auto-Regressivo (AR), Exógeno (X), Artificial-Neural (AN), cuja abreviatura será dada por (ARXAN) e matematicamente representado pela seguinte expressão:

$$ARXAN = ARIMAX_{previsão} + RNA_{previsão/ARIMAX} \quad (4)$$

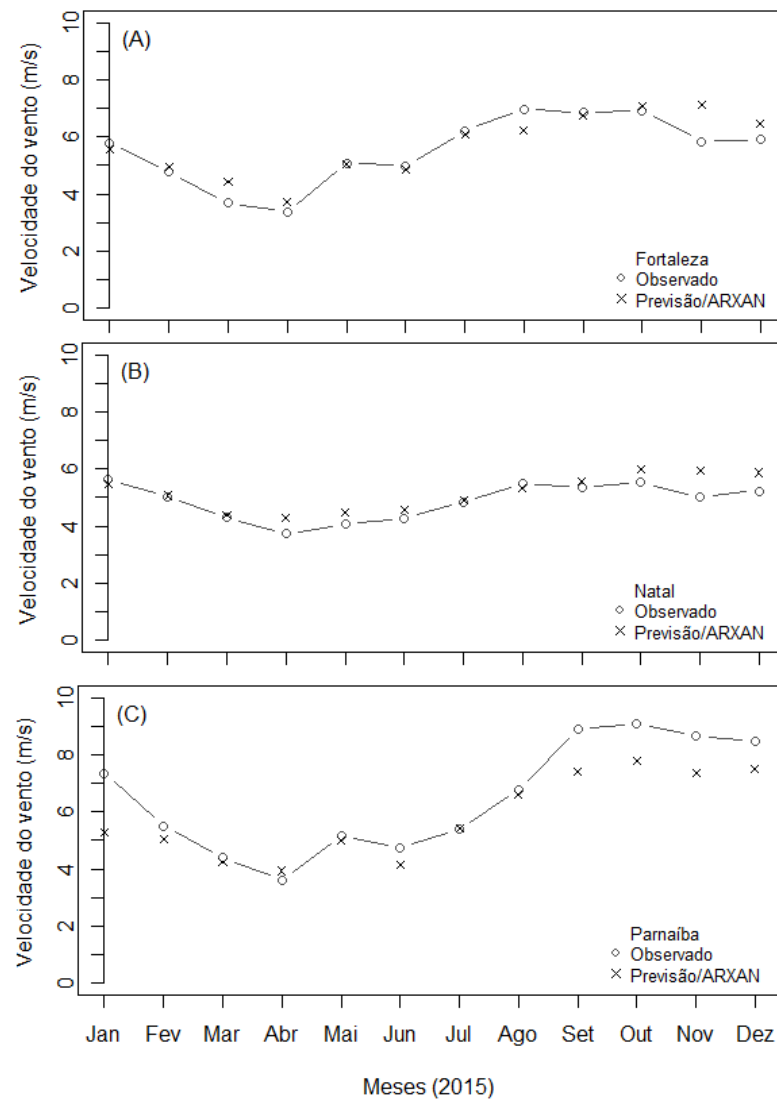
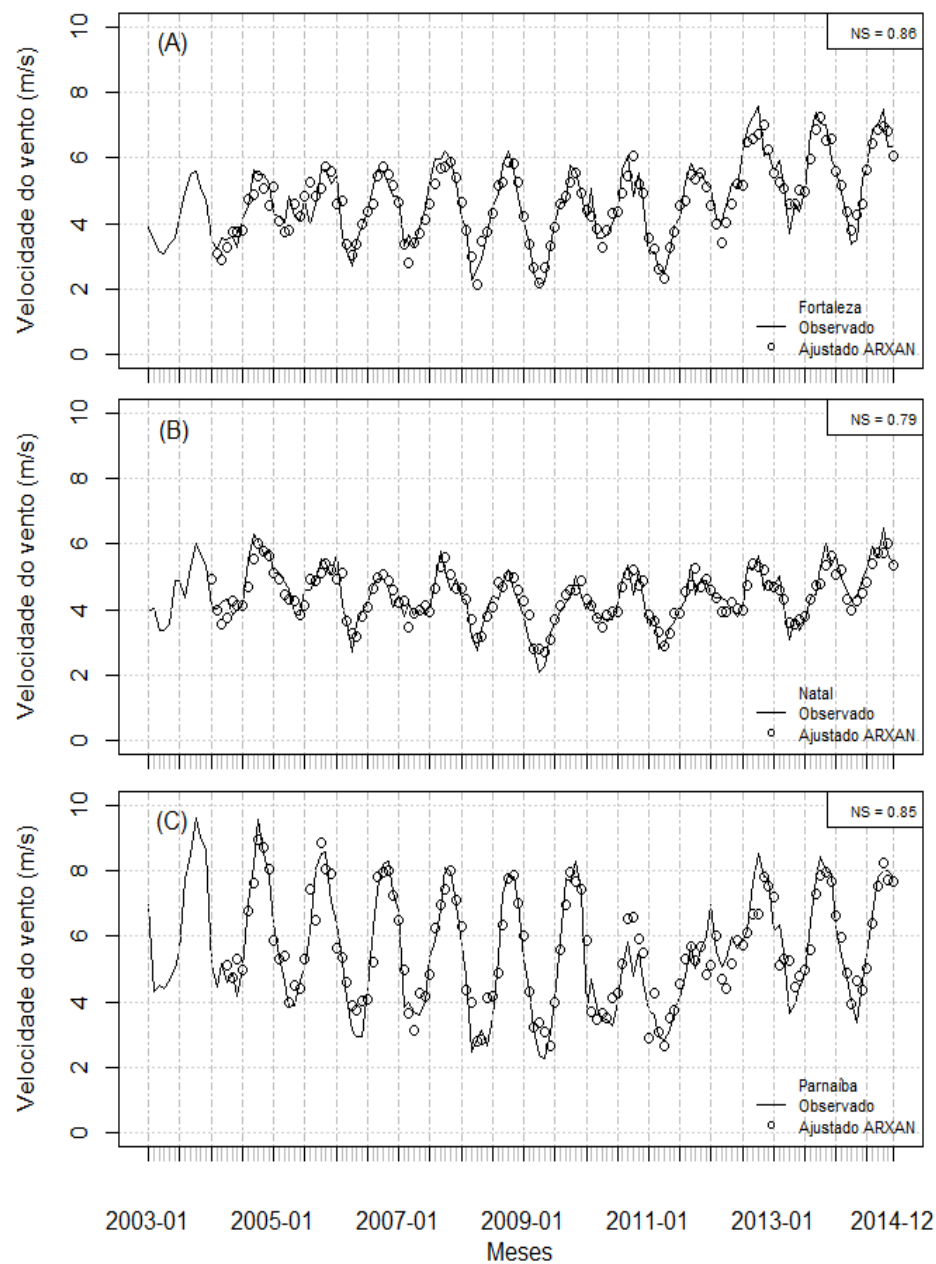
em que ARXAN, representa a previsão do modelo híbrido, o qual é resultado da adição da componente linear prevista pelo modelo $ARIMAX_{previsão}$, com a componente não linear prevista pelo modelo $RNA_{previsão/ARIMAX}$, sendo esta a componente que será modelada a partir dos resíduos do modelo ARIMAX.

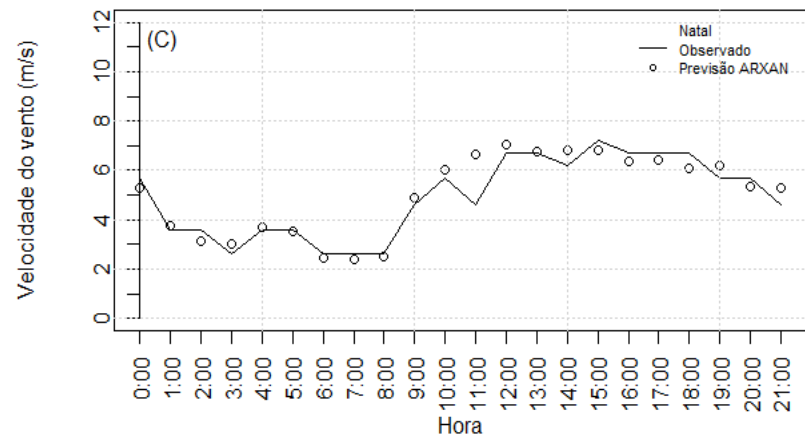
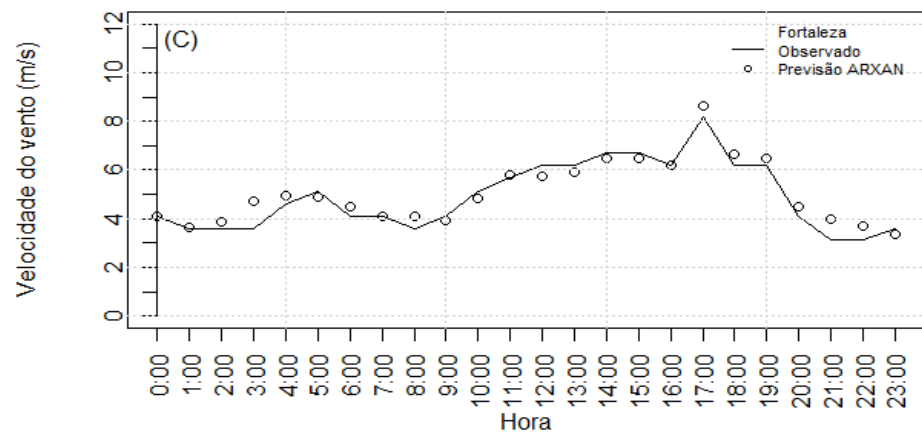
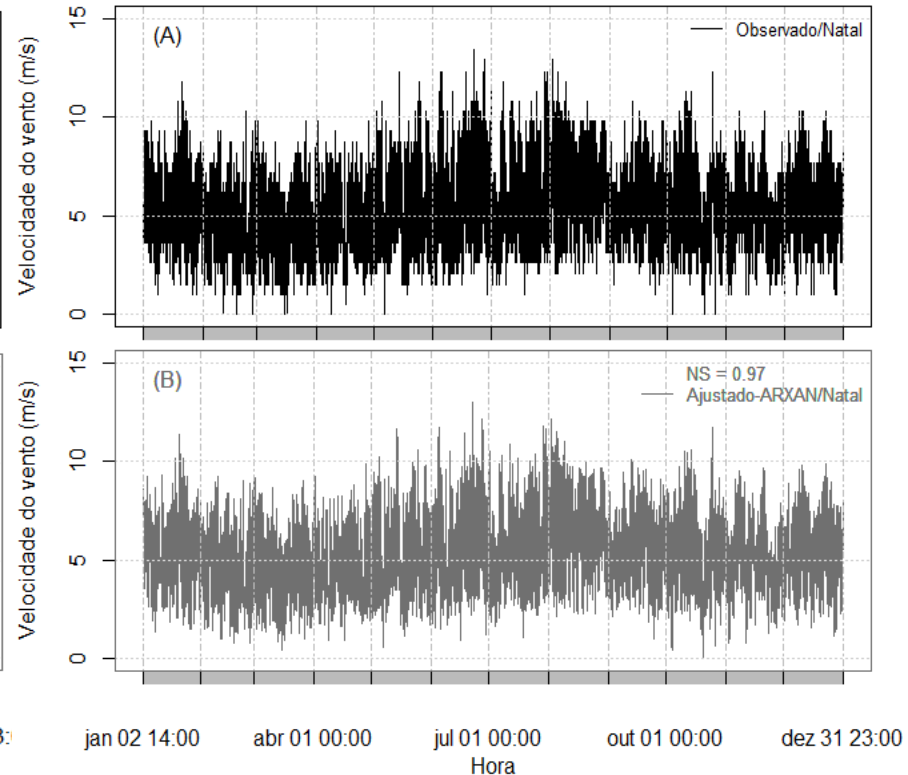
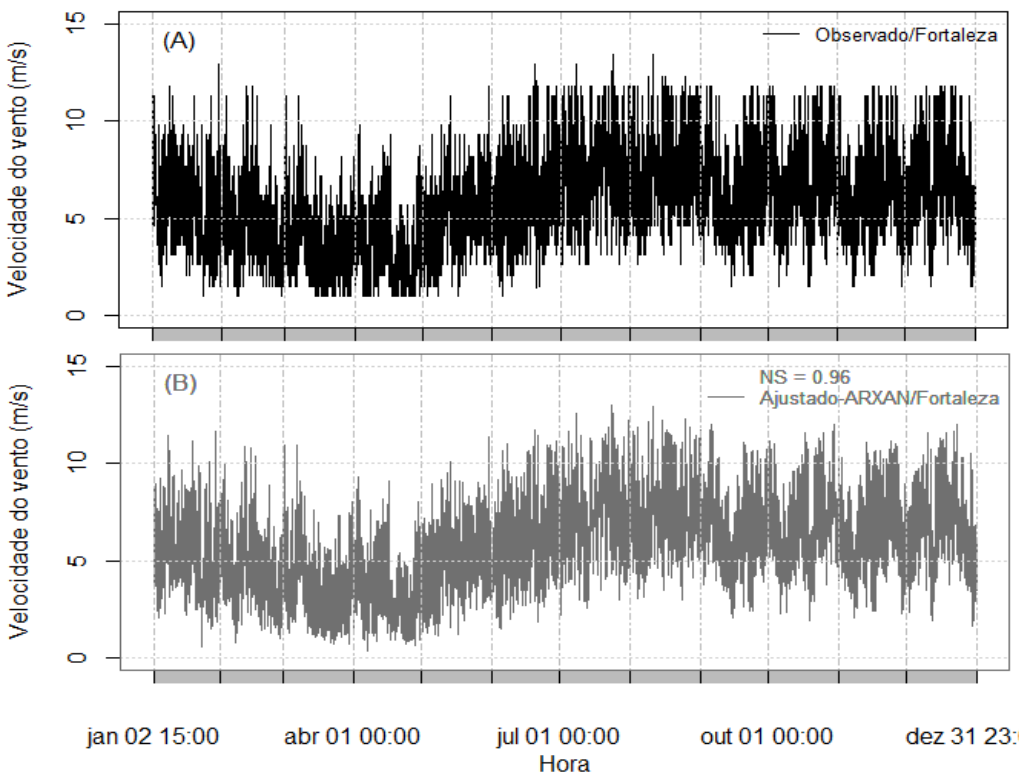
Tabela 1: Medidas de acurácia - Mensal.

Erro – ARIMAX	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0,37	0,37	0,54
RMSE (m/s)	0,48	0,45	0,71
MAPE (%)	8,48	8,47	10,40
Erro – RNA	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0,46	0,36	0,93
RMSE (m/s)	0,66	0,53	1,29
MAPE (%)	10,29	8,14	19,25
Erro – ARXAN	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0,36	0,31	0,51
RMSE (m/s)	0,46	0,38	0,68
MAPE (%)	8,03	7,21	10,20

Tabela 2: Medidas de acurácia - Horário.

Erro – ARIMAX	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0,89	0,81	0,92
RMSE (m/s)	1,19	1,08	1,23
MAPE (%)	18,84	17,34	17,19
Erro – RNA	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0,75	0,71	0,64
RMSE (m/s)	1,01	0,96	0,89
MAPE (%)	14,93	15,30	12,01
Erro – ARXAN	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0,35	0,32	0,47
RMSE (m/s)	0,46	0,41	0,64
MAPE (%)	7,20	7,22	8,65





Artigo completo publicado em Periódico*



1. Modelagem da velocidade do vento usando as metodologias ARIMA, Holt-Winter e RNA com vias a previsão de geração eólica no nordeste brasileiro

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Revista Brasileira de Climatologia 21/09/2016 – status: em AVALIAÇÃO.

RESUMO

MODELAGEM DA VELOCIDADE DO VENTO USANDO METODOLOGIAS ARIMA, HOLT-WINTERS E RNA COM VIAS A PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO

Esse trabalho compara os modelos de previsão Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA), Holt-Winters e Redes Neurais Artificiais (RNA), aplicados aos dados observados de média mensal da velocidade do vento de torres meteorológicas em três localidades do Nordeste do Brasil (NEB), Fortaleza, Parnaíba e São Luís. Os dados são relativos ao nível de 10 m de altura no período de janeiro de 2010 até dezembro 2014. Para as localidades de Fortaleza e São Luís o modelo RNA apresenta os menores valores como, por exemplo, na análise da variável MAPE é possível identificar valores de 8,74% e 10,50% respectivamente. Já para a localidade de Parnaíba os valores da estatística de erros são menores utilizando o modelo ARIMA como, por exemplo, o valor de MAPE é de aproximadamente 9,70%. Para as séries temporais previstas os modelos conseguem captar características importantes das séries temporais observadas como é o caso de menores intensidades da média mensal da velocidade do vento no período chuvoso e, também maiores intensidades da média mensal da velocidade do vento para o período seco. Esse trabalho poderá ter utilidade como uma possível ferramenta para a exploração da geração eólica em diversas localidades, configurando-se em uma tentativa a mais de garantias aos tomadores de decisão na instalação de novos parques eólicos, tendo em vista, a possibilidade de realizar previsões da intensidade da velocidade do vento local, ou seja, conhecer o regime de ventos no futuro.

Artigo completo publicado em Periódico*

Revista Brasileira de Energias Renováveis

2. PREVISÃO DE CURTO E LONGO PRAZO DA VELOCIDADE DO VENTO A PARTIR DE MODELAGEM BOX-JENKINS NO NORDESTE BRASILEIRO

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Revista Brasileira de Energias Renováveis 14/02/2017 – status: em AVALIAÇÃO.

RESUMO

PREVISÃO DE CURTO E LONGO PRAZO DA VELOCIDADE DO VENTO A PARTIR DE MODELAGEM BOX-JENKINS NO NORDESTE BRASILEIRO

A geração de energia elétrica através dos ventos cresce em muitos lugares do mundo, esse crescimento certamente é fruto de pesquisas que garantem sua viabilidade em termos econômicos e ambientais. Uma linha de pesquisa que poderá contribuir para esse crescimento, trata-se da previsão da velocidade do vento, tendo em vista, a possibilidade de conhecer o regime dos ventos de uma dada região no futuro. Esse artigo tem como objetivo realizar previsões de curto e longo prazo da velocidade do vento em termos de médias horárias e mensais para região do nordeste brasileiro. Foi utilizada a metodologia de Box-Jenkins, a partir do modelo Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA). Os resultados mostram a eficácia do modelo apresentando baixos valores da estatística de erros quando comparado com valores encontrados na literatura, por exemplo, com a variável MAPE nos valores de aproximadamente 23,5% e 10,3% nos casos de curto e longo prazo respectivamente. Esses resultados poderão ser refletidos em maiores precisões das séries temporais previstas da velocidade do vento, ou seja, fazendo com que as mesmas possam acompanhar o perfil das observações, principalmente revelando maiores semelhanças de valores máximos e mínimos entre ambas as séries. Esse trabalho poderá ter utilidade na exploração da geração eólica em diversas localidades do país, configurando-se em uma tentativa a mais de garantia aos tomadores de decisão na instalação de novos parques eólicos, tendo em vista, a possibilidade de realizar previsões da intensidade da velocidade do vento local, ou seja, conhecer o regime de ventos no futuro.

Artigo completo submetido a Periódico*

Renewable & Sustainable Energy Reviews

3. Current status of wind speed prediction models and an innovative hybrid modeling proposal: A case study in northeastern Brazil

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Renewable & Sustainable Energy Reviews (QUALIS A1) 17/07/2017 – status: com EDITOR.

ABSTRACT

This article presents a methodology capable of providing predictions of wind speed in terms of monthly and hourly averages with good accuracy in regions of the Brazilian Northeast. The proposed hybrid model involves the mathematical combination of the Holt-Winters models (a time series model) and Artificial Neural Networks (an artificial intelligence model). It is worth noting that the use of this model provides reduction of statistical errors when compared with traditional models of the literature.

This model will be capable of predicting monthly and hourly wind speed averages of the Brazilian northeast at a height of 50 m. The results show that this type of methodology provides better adjustments of the observed data than the traditional models of time series forecasting does, revealing a greater similarity between maximum and minimum wind speed. The hybrid model proposed in this paper was efficient in reducing statistical errors when compared to the traditional models, presenting the lowest percentage error of only 8.20% in the analyses between the observed and the adjusted series. This work can aid decision makers in the understanding of the wind energy potential around the world.

4. Innovative models of time series prediction for possible applications in the wind sector in the Brazilian northeast region

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Paulo Cesar Marques de Carvalho, Daniel Von Guen

Submetido para Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics (QUALIS B1) 01/08/2017 – status: em AVALIAÇÃO.

Abstract

This work proposes hybrid models combining time-series models (using linear functions) and artificial intelligence (using a nonlinear function), in order to provide monthly mean wind speed predictions on Brazilian Northeast region, that might be useful for wind power generation. For example, it could be capable of acquiring important information on how the local wind potential can be usable for a possible wind power plant, through the understanding of the future wind speed values. To elaborate the proposed hybrid models, it was necessary to set wind speed variable as a dependent variable on exogenous variables (pressure, temperature and precipitation), so it was possible to consider meteorological characteristics of the study regions. It is possible to verify the hybrid models efficiency in providing perfect adjustments to observed data, this statement is based on the low values found in the error statistic analysis, for example, error of approximately 5.0% and also the Nash-Sutcliffe coefficient near to 0.96. These results certainly were important to predict the wind speed time-series, causing them to follow the wind speed observed time-series profile, mainly revealing greater similarities of maximums and minimums between the series, and showing up the capacity of the models on representing the seasonality characteristics.

Keywords

Time series; Artificial intelligence; Forecast; Wind power; Brazil

$$\text{Hybrid}(1) = \text{ARIMA}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/ARIMA}}$$

$$\text{Hybrid}(2) = \text{ARIMAX}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/ARIMAX}}$$

$$\text{Hybrid}(3) = \text{HW}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/HW}}$$

Médias Mensais

5. Innovative hybrid models for time series forecasting elaborated in software R for possible applications in the wind power generation sector

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior

Submetido para Environmental Modelling & Software (QUALIS A2) 11/08/2017 – status: com EDITOR.

Abstract

The present article deals with the elaboration of innovative hybrid models for wind speed forecasting, involving time series models with artificial intelligence. We propose two methodologies: combination of models and combination of models predictions. The results are satisfactory considering the observed level of accuracy, especially by combination of models (ARIMA, ETS and ANN) meanwhile assigning them different weights according to the importance of each model. Low percentage errors are found by comparing the observed and adjusted time series (approximately 2.0%); another aspect in favor of this methodology refers to the high values of the Nash-Sutcliffe (NS) coefficient of efficiency, approximately 0.98, showing a fit to the observed data. The adjusted time series of the hybrid model is able to represent the seasonal characteristics of the observed wind speed series in the studied regions: lower intensities during the rainy season and higher values during the dry season.

Keywords

Software R; Time series; Artificial intelligence; Forecast; Wind energy

$$\bar{Z}_t = \frac{\varphi \cdot a_{\text{forecast}(t)} + \eta \cdot e_{\text{forecast}(t)} + \mu \cdot n_{\text{forecast}(t)}}{\varphi + \eta + \mu}, \quad t = 1, \dots, N, \quad (8)$$

where \bar{Z}_t represents the prediction t of the hybrid model AEN, the coefficients φ , η , and μ are the weights assigned for each prediction ($a_{\text{forecast}(t)}$, $e_{\text{forecast}(t)}$, $n_{\text{forecast}(t)}$), created by the ARIMA, ETS and ANN models respectively. It should be emphasized that the weights are unequal for each prediction provided by each model, and through the function `hybridModel(...)` the calculation of statistical analysis of errors is made possible.

$$\text{Hybrid}(1) = \text{ARIMA}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/ARIMA}}$$

Table 1

Statistical analysis of errors to identify the accuracy of the proposed models.

ARIMA	Fortaleza	Natal	Parnaíba	HW	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.44	0.39	0.55	MAE (m/s)	0.45	0.40	0.63
RMSE (m/s)	0.57	0.50	0.73	RMSE (m/s)	0.57	0.50	0.80
MAPE (%)	9.89	9.10	10.53	MAPE (%)	10.10	9.44	14.21
ANN	Fortaleza	Natal	Parnaíba	hybrid(1)	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.46	0.36	0.93	MAE (m/s)	0.39	0.32	0.53
RMSE (m/s)	0.66	0.53	1.29	RMSE (m/s)	0.49	0.42	0.71
MAPE (%)	10.29	8.14	19.25	MAPE (%)	8.68	7.53	10.40
hybrid(2)	Fortaleza	Natal	Parnaíba	AEN	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.44	0.32	0.22	MAE (m/s)	0.10	0.09	0.19
RMSE (m/s)	0.56	0.45	0.33	RMSE (m/s)	0.13	0.11	0.26
MAPE (%)	10.0	7.70	4.93	MAPE (%)	2.39	2.08	3.83

$$\text{hybrid}(2) = \text{HW}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/HW}}$$

6. Wind speed forecast through innovative hybrid models for future applications in wind energy

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Paulo Cesar Marques de Carvalho

Submetido para Journal of Cleaner Production (QUALIS A1)14/08/2017 – status: em AVALIAÇÃO (pela segunda vez).

ABSTRACT

The encouragement of research in renewable resources, such as that of wind power source, could result in greater usage of clean energies in the different nations' matrices, thus contributing to a healthier world. This article proposes the creation of innovative hybrid models from a combination of time-series models with artificial intelligence. The objective is to provide forecasts of monthly and hourly wind speed averages in regions of the Brazilian northeast, which can then assist in the local wind power exploitation. These hybrid models correlate pressure, temperature and precipitation with wind speed, thus taking into account local meteorological characteristics. It is possible to notice, through statistical analysis of error, the efficiency of the hybrid models in providing adequate adjustments to the data observed, for example, it was calculated a percentage error of approximately 5.0%, and a Nash-Sutcliffe efficiency coefficient of about 0.96. These results confirm the accuracy of the predicted wind speed time series, while following the profile of the observed time series. The accuracy is obvious, especially in relation to the maximum and minimum values of both series, which therefore indicates the models' ability to represent seasonality characteristics. Wind speed prediction methods can help decision-making in the wind sector, and allows for the possibility to know the wind regime in the future and, thus, subsidize the demand for local electric energy.

Erro – ARIMA	Fortaleza	Natal	Erro – ARIMAX	Fortaleza	Natal
MAE (m/s)	0.95	0.86	MAE (m/s)	0.89	0.81
RMSE (m/s)	1.27	1.17	RMSE (m/s)	1.19	1.08
MAPE (%)	18.75	19.42	MAPE (%)	18.84	17.34
Erro – HW	Fortaleza	Natal	Erro – ANN	Fortaleza	Natal
MAE (m/s)	1.19	1.03	MAE (m/s)	0.75	0.71
RMSE (m/s)	1.55	1.38	RMSE (m/s)	1.01	0.96
MAPE (%)	25.71	27.37	MAPE (%)	14.93	15.30
Erro – hybrid(1)	Fortaleza	Natal	Erro – hybrid(2)	Fortaleza	Natal
MAE (m/s)	0.36	0.36	MAE (m/s)	0.35	0.32
RMSE (m/s)	0.46	0.46	RMSE (m/s)	0.46	0.41
MAPE (%)	7.25	8.56	MAPE (%)	7.20	7.22
Erro – hybrid(3)	Fortaleza	Natal			
MAE (m/s)	0.73	0.66			
RMSE (m/s)	0.97	0.89			
MAPE (%)	15.10	14.50			

$$\text{Hybrid}(1) = \text{ARIMA}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/ARIMA}}$$

$$\text{Hybrid}(2) = \text{ARIMAX}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/ARIMAX}}$$

$$\text{Hybrid}(3) = \text{HW}_{\text{forecast}} + \text{ANN}_{\text{forecast/HW}}$$

Médias Horárias e Mensais

7. A hybrid model based on time series models and neural network for forecasting wind speed in the Brazilian northeast region

Henrique do Nascimento Camelo, Paulo Sérgio Lucio, João Bosco Verçosa Leal Junior, Paulo Cesar Marques de Carvalho

Submetido para Sustainable Energy Technologies and Assessments (QUALIS B1) 09/09/2017 – status: com EDITOR.

Abstract

This paper aims to define a methodology capable of providing accurate wind speed monthly average predictions in the Brazilian Northeast region. Hybrid models involve a combination of time series models (with the exogenous variables of pressure, temperature and precipitation as inputs) with artificial intelligence. Wind power generation is growing in many parts of the world, and this growth is a result of the large number of research focused on the economical and environmental benefits. One particular line of research that may have contributed to this overall growth is the prediction of local wind speed, that is, aiming to understand and thus predict the wind regime of a given region. The hybrid model proposed in this paper was efficient in reducing statistical errors, especially when compared to traditional models, it produced the lowest percentage error between the observed and the adjusted series, of only about 8%. Finally, it is important to highlight that through this work, decision makers will have a guarantee to explore the local wind potential, allowing for the possibility of predicting future wind speed, and thus giving them the ability to plan the demand for electricity generated from wind power.

Keywords ARIMA; ARIMAX; RNA; Wind speed; Exogenous Variables.

Hybrid(1) = ARIMA_{forecast} + ANN_{forecast/ARIMA}

Hybrid(2) = ARIMAX_{forecast} + ANN_{forecast/ARIMAX}

Table 3.
Error statistics to identify accuracy in the models.

Error – ARIMA	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.44	0.39	0.56
RMSE (m/s)	0.57	0.50	0.74
MAPE (%)	9.89	9.10	10.62
Error - ARIMAX	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.37	0.37	0.54
RMSE (m/s)	0.48	0.45	0.71
MAPE (%)	8.48	8.47	10.40
Error – ANN	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.46	0.37	0.91
RMSE (m/s)	0.66	0.54	1.13
MAPE (%)	10.29	8.41	19.95
Error – Hybrid(1)	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.39	0.33	0.53
RMSE (m/s)	0.49	0.42	0.71
MAPE (%)	8.68	7.69	10.40
Error – Hybrid(2)	Fortaleza	Natal	Parnaíba
MAE (m/s)	0.36	0.31	0.51
RMSE (m/s)	0.46	0.37	0.68
MAPE (%)	8.03	7.15	10.10

Considerações Finais

- Os modelos Hybrid propostos neste estudo para previsão de velocidade do vento a partir da junção dos modelos clássicos de série temporal Holt-Winters e Redes Neurais Artificiais, é considerado inovador e capaz de apresentar boa acurácia baseado em estudo de caso para regiões do nordeste brasileiro.
- A metodologia empregada pelo modelo Hybrid para previsão de velocidade do vento é independente de altura, ou seja, de acordo com a necessidade a mesma poderá ser testada sua viabilidade para diferentes níveis de altura.
- As previsões das velocidades dos ventos geradas pelo modelo Hybrid possuem baixo custo computacional, sendo assim, uma ferramenta útil para auxiliar no rápido planejamento dentro do setor eólico.
- Métodos de previsão de séries temporais poderão auxiliar em tomadas de decisões no setor eólico, por exemplo, sendo uma ferramenta a mais na exploração do potencial eólico da região em estudo.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPgCC) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Agradecimento por parte do autor correspondente ao apoio financeiro fornecido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) / PRH-51 a partir de bolsa de doutorado.

Agradecimento por parte de co-autor ao apoio financeiro dado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa PQ2 - Proc. 301553/2016-5, e do Projeto de Pesquisa do CNPq - Proc. 400053/2014-4.

Referências de Trabalhos Correlatos

- Cadenas E, Rivera W. Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMA-ANN model. *Renew Energy* 2010; 35: 2732 – 38.
- Hyndman R, Koehler AB, Ord JK, Snyder RD. Forecasting with exponential smoothing: the state space approach. New York: Springer Science & Business Media; 2008.
- Li G, Shi J. On comparing three artificial neural networks for wind speed forecasting. *Appl Energy* 2010; 87: 2313 – 20.
- Liu H, Tian H, Li Y. Comparison of two new ARIMA-ANN and ARIMA-Kalman hybrid methods for wind speed prediction, *Appl Energy* 2012; 98: 415 – 24.
- Sudheer G, Suseelatha A. Short term load forecasting using wavelet transform combined with Holt-Winters and weighted nearest neighbor models. *Int J Elec Power Energy Syst* 2015; 64: 340 – 46.
- Zhang G. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing* 2003; 50: 159 – 75.
- Wang X, Guo P, Huang X. A review of wind power forecasting models. *Energy procedia* 2011; 12: 770 – 78.

Sugestões são muito Bem-Vindas!

Paulo Sérgio Lucio*

pslucio@ccet.ufrn.br

pslucio1964@gmail.com

Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPgCC)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas
DCAC – CCET – UFRN



Obrigado pela Atenção!

Paulo Sérgio Lucio*

pslucio@ccet.ufrn.br

pslucio1964@gmail.com

Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPgCC)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas
DCAC – CCET – UFRN





I WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE MODELAGEM DA ATMOSFERA APLICAÇÕES NA ÁREA DE ENERGIA EÓLICA

CTGAS-ER | NATAL-RN
14 e 15 junho de 2018

Propostas de Modelagem Híbrida Combinada a partir de Modelos de Séries Temporais com Inteligência Artificial para Previsão, de Alta Precisão, da Velocidade do Vento com *vias* à Geração Eólica

Paulo Sérgio Lucio*

Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPgCC)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)



Henrique do Nascimento Camelo ** & Cláudio Moisés Santos e Silva*

