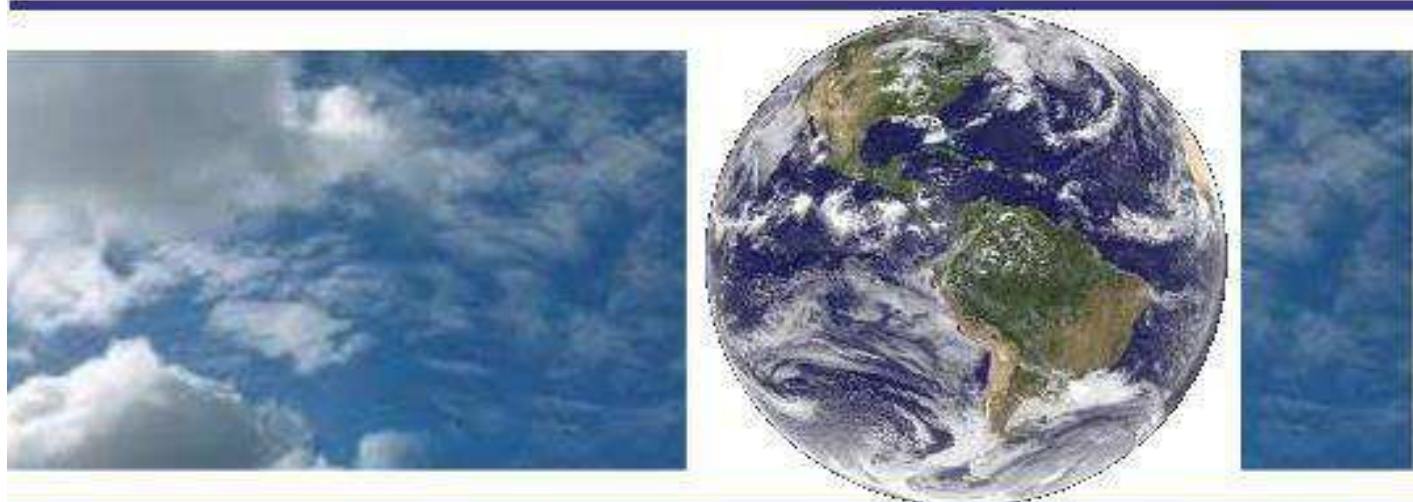


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



**TESE DE DOUTORADO**

**Leide Pricila da Silva**

**AVALIAÇÃO DO AJUSTE DO MODELO WEIBULL À  
VELOCIDADE DO VENTO E ESTIMATIVA DA  
POTÊNCIA EÓLICA EM SEIS LOCALIDADES DO  
NORDESTE BRASILEIRO**

**Campina Grande, julho de 2020**



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

**LEIDE PRICILA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO AJUSTE DO MODELO WEIBULL À VELOCIDADE  
DO VENTO E ESTIMATIVA DA POTÊNCIA EÓLICA EM SEIS  
LOCALIDADES DO NORDESTE BRASILEIRO**

**CAMPINA GRANDE-PB**

**Julho - 2020**

**LEIDE PRICILA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO AJUSTE DO MODELO WEIBULL À VELOCIDADE  
DO VENTO E ESTIMATIVA DA POTÊNCIA EÓLICA EM SEIS  
LOCALIDADES DO NORDESTE BRASILEIRO**

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

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

**CAMPINA GRANDE-PB**

**Julho – 2020**

S586a

Silva, Leide Pricila da.

Avaliação do ajuste do modelo Weibull à velocidade do vento e estimativa da potência eólica em seis localidades do Nordeste brasileiro / Leide Pricila da Silva. - Campina Grande, 2021.

146 f. : il. Color

Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva".

Referências.

1. Rede SONDA. 2. Função de Weibull. 3. Potência Eólica. I. Silva, Bernardo Barbosa da. II. Título.

CDU 551.502(043)

LEIDE PRICILA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO AJUSTE DO MODELO WEIBULL À VELOCIDADE DO VENTO E ESTIMATIVA DA POTÊNCIA EÓLICA EM SEIS LOCALIDADES DO NORDESTE BRASILEIRO

TESE APROVADA EM 22/07/2020

BANCA EXAMINADORA



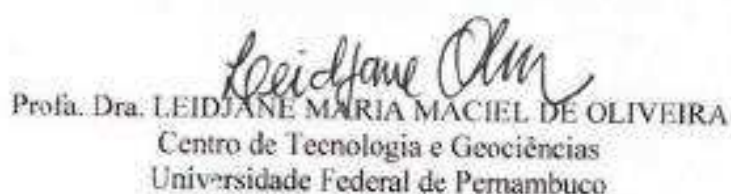
Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS CAVIANO DE SOUSA  
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.ª Dra. LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. KLEBER RENATO DA PAIXÃO ATAÍDE  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Instituto Nacional de Meteorologia

À Deus, Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Nesse texto, venho expressar meus sinceros agradecimentos a pessoas especiais e que de alguma forma contribuíram para minha formação.

À Deus, meu Pai e protetor, fôlego da minha vida, por seu amor e cuidado, e aos irmãos em Cristo da Igreja Evangélica Congregacional de Serra Branca, na qual congrego, pelas orações, orientações e apoio.

Ao orientador e amigo, Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, por aceitar meu convite para iniciar esse trabalho faltando menos de dois anos para a data prevista da defesa, um grande desafio! Agradeço a competência e respeito com que conduziu este processo, do alvorecer da ideia até a sua síntese. Agradeço, também, pela confiança e pelas oportunidades que me concedeu junto ao grupo de pesquisa, e por me animar constantemente. Peço que Deus o abençoe e lhe dê longevidade.

Ao meu pai, Pedro Calixto da Silva (in memoriam) e minha mãe, Maria Jacinto da Silva, os maiores amores da minha vida, aos quais dedico todas as minhas vitórias e meus dias de vida.

Aos meus irmãos, Pedro Filho, João Cremilson, Paulo Sérgio, Maria Aparecida, Maria Fabiane, Maria Simone e Patrícia Paula Calixto da Silva, cunhados e sobrinhas (os), por compreender minhas ausências e, acima de tudo, pela união, amor e apoio.

Ao meu esposo, Adriano Farias de Lucena, por me mostrar como a vida é simples e fascinante, favorecendo mudanças positivas nas áreas pessoal e profissional. Grande companheiro, compreensivo e carinhoso, presente de forma indescritível no decorrer da elaboração deste trabalho, espero que possa compartilhar muitos momentos como este ao seu lado. És especial, com amor agradeço!

Aos meus filhos (in memoriam), pela graça de ser mãe e pelos meses que estiveram em meu ventre durante essa pesquisa. Sigo na esperança de que por terem morrido antes da idade da razão, foram salvos pela obra de Cristo, assim, viveremos a eternidade juntos em alegria, paz e gozo, adorando ao Senhor nosso Deus.

Ao amigo Lúcio Fernando Dias da Silva, por seu apoio e amizade, reconhecendo sua disposição, inteligência, sabedoria e humildade. Sem dúvidas meus dias se tornaram mais produtivos e divertidos quando comecei a trabalhar em sua companhia.

Ao professor Dr. Carlos Costa, por ter aberto a porta de sua sala para me ouvir e auxiliar no ingresso no doutorado, assim como por sua amizade e respeito.

À professora Dr. Clênia Alcântara, por ter aceito me orientar e trabalhar em conjunto por dois anos, além de me dar a oportunidade de trabalhar na instalação e organização da Torre Micrometeorológica a ser localizada em Serra Branca-PB, uma atividade ímpar. Agradeço, também, por compreender minha decisão em mudar de Projeto de Pesquisa e renunciar à sua orientação, de forma especial, agradeço.

Aos professores desta unidade, em especial: Dr. Assis Salviano, Dr. Enio Pereira, Dr. Ivaldo, Dra Josefina Arraut, Dra. Magaly e Dra. Regina Aragão, e aos demais pela disponibilidade, empatia, e disciplinas ministradas.

Aos professores Dr. Enilson Cavalcanti e Dr. Madson Tavares, pelos conhecimentos compartilhados durante os cursos de GRADS e R, respectivamente, ministrados nessa unidade.

Aos funcionários desta unidade, em especial a Arilene Lucena de Almeida e Dona Rosa.

Aos colegas Lady Custódio e Thomás Ferreira, pelas ricas discussões, conversas agradáveis, harmoniosas e respeitadas.

Aos amigos que conquistei durante este trabalho, a quem muito estimo e guardo em meu coração: Celina Cândida e Maurício Rebouças.

Aos amigos do grupo de Física da Atmosfera da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB): Alysson José, Ana Roberta, Mará (in memoriam), Lendro Velez e Robson Batista, e aos professores Jean Spinelly e Onildo Freire pelos ensinamentos, boa convivência, carinho, respeito e amizade que se estendem além da universidade.

Aos meus amigos, queridos, que acompanharam a minha trajetória desde muito: Ademisto Macêdo, Bruna Santiago, Eline Brito, Ivan Firmino (Bia), Jéssica Ribeiro, Kedja Cavalcanti, Maria Izabel Alves, Noemia Firmino (Nita), Simony Santos, Odélia Gomes dos Santos (e família), Yonara Brito e Waldizia Firmino (Diza), agradeço pelos bons momentos, conversas, risadas, sabores, e pela oportunidade em compartilhar a vida com vocês.

À família do meu esposo pelos momentos de descontração, por compreender minha ausência e pelo tratamento respeitoso e pelo apoio constante, cito: Maria Helena Farias de Lucena (Dôra), Damião Simão de Lucena, Hamilton, Hocilene, Wagner, Ismael, Paulo, Daniel Farias de Lucena e Maria da Guia.

Ao povo brasileiro pelos impostos pagos e repassados através do Governo à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) e a esta pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.



*Porque, a vereda do justo é como  
a luz da aurora que vai brilhando  
mais e mais até ser dia perfeito.  
Provérbio 4:18a*

## RESUMO

Nesta pesquisa são estimados os parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull, por meio dos Métodos Gráfico (MG), Empírico (ME), dos Momentos (MM), da Máxima Verossimilhança (MLE) e da Densidade de Potência (MDP). Para tanto, foram utilizados dados anemométricos oriundos da Rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais), das estações de Petrolina-PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE e São Luiz-MA, Brasil. Esses dados são obtidos nas alturas de 25 e 50 metros, com intervalo de medições de 5 segundos, sob as quais foram obtidas médias a cada 10 minutos. Considerou-se, também, dados ambientais obtidos a 10 m, também com intervalo de 5 segundos e extração de médias a cada minuto. Em um segundo momento foram realizadas estimativas da densidade de potência e energia. Para examinar se a função de distribuição teórica é adequada para descrever os dados da velocidade do vento adotou-se o Erro Absoluto Médio (EAM), o Erro Relativo Médio (ERM) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM). Verificou-se que os métodos empregados na pesquisa apresentaram boa concordância com os dados medidos em ambas as alturas. Em Petrolina, a Densidade de Potência Média-DP e a densidade de energia-DE a 10 m apresentaram valores médios de  $20,41 \text{ Wm}^{-2}$  e  $53,65 \text{ MJm}^{-2}$ , respectivamente. E, a 25 e 50 metros, obteve-se DP e DE iguais a  $42,43 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $121,74 \text{ MJm}^{-2}$  e  $90,71 \text{ Wm}^{-2}$  e  $260,36 \text{ MJm}^{-2}$ , respectivamente. A Densidade de Potência Média Anual (DPMA) em Natal-RN foi  $70,885 \text{ Wm}^{-2}$  ( $186,176 \text{ MJm}^{-2}$ ) em 2010 e  $63,077 \text{ Wm}^{-2}$  ( $165,7 \text{ MJm}^{-2}$ ) em 2011, em São Luiz-MA, 2016,  $28,002 \text{ Wm}^{-2}$  ( $73,652 \text{ MJm}^{-2}$ ). Na cidade de S. J. do Cariri-PB, os valores da DPMA (DEMA) a 25 m para os anos 2006, 2007 e 2008 foram, respectivamente,  $89,844 \text{ Wm}^{-2}$  ( $236,429 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $109,611 \text{ Wm}^{-2}$  ( $288,550 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $91,478 \text{ Wm}^{-2}$  ( $240,298 \text{ MJm}^{-2}$ ) já a 50 metros para os mesmos anos, obteve-se  $130,108 \text{ Wm}^{-2}$  ( $342,398 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $152,577 \text{ Wm}^{-2}$  ( $401,654 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $129,768 \text{ Wm}^{-2}$  ( $340,911 \text{ MJm}^{-2}$ ). Para Belo Jardim-PE, 2004, a 25 m e 50 m os valores estimados da DPMA e da DEMA foram, respectivamente,  $95,339 \text{ Wm}^{-2}$  ( $250,069 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $103,330 \text{ Wm}^{-2}$  ( $270,948 \text{ MJm}^{-2}$ ). Triunfo foi a estação que apresentou maior valor da velocidade média anual ( $13,654 \text{ ms}^{-1}$ ) e assim, também, a maior DPMA  $1899,450 \text{ Wm}^{-2}$  ( $4991,466 \text{ MJm}^{-2}$ ). Os resultados indicam que o melhor desempenho foi obtido pelo MLE, seguido do MM, em ambas alturas, embora as métricas utilizadas não expressem uma elevada diferença entre todos os métodos testados. Já os maiores erros foram apresentados pelo MG, seguido do MDP, para os dados a 10 m e pelo MDP seguido do MG em 25 m e 50 m. Portanto, presando pela objetividade e melhor desempenho que o método apresenta, indica-se o uso do MLE.

**PALAVRAS-CHAVE:** potência eólica, função de Weibull, Rede SONDA.

## ABSTRACT

In this research, the parameters of shape and scale of the Weibull distribution are estimated, using the Graphical (MG), Empirical (ME), Moments (MM), Maximum Likelihood (MLE) and Power Density (MDP) methods. For that, anemometric data from the SONDA Network (National Organization System for Environmental Data), from Petrolina-PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE and São Luiz stations were used -MA, Brazil. These data are obtained at heights of 25 and 50 meters, with a measurement interval of 5 seconds, under which averages were obtained every 10 minutes. Environmental data obtained at 10 m were also considered, also with an interval of 5 seconds and extraction of averages every minute. In a second step, estimates of power and energy density were made. To examine whether the theoretical distribution function is adequate to describe the wind speed data, the Mean Absolute Error (EAM), the Mean Relative Error (ERM) and the Root Mean Square Error (REQM) were adopted. It was found that the methods used in the research showed good agreement with the data measured at both times. In Petrolina, the Average Power Density-SD and the Energy Density-DE at 10 m showed average values of  $20.41 \text{ Wm}^{-2}$  and  $53.65 \text{ MJm}^{-2}$ , respectively. And, at 25 and 50 meters, DP and DE equal to  $42.43 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $121.74 \text{ MJm}^{-2}$  and  $90.71 \text{ Wm}^{-2}$  and  $260.36 \text{ MJm}^{-2}$ , respectively, were obtained. The Annual Average Power Density (DPMA) in Natal-RN was  $70,885 \text{ Wm}^{-2}$  ( $186,176 \text{ MJm}^{-2}$ ) in 2010 and  $63,077 \text{ Wm}^{-2}$  ( $165.7 \text{ MJm}^{-2}$ ) in 2011, in São Luiz-MA, 2016,  $28,002 \text{ Wm}^{-2}$  ( $73,652 \text{ MJm}^{-2}$ ). In the city of SJ do Cariri-PB, the values of DPMA (DEMA) at 25 m for the years 2006, 2007 and 2008 were, respectively,  $89.844 \text{ Wm}^{-2}$  ( $236.429 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $109.611 \text{ Wm}^{-2}$  ( $288.550 \text{ MJm}^{-2}$ ) and  $91.478 \text{ Wm}^{-2}$  ( $240.298 \text{ MJm}^{-2}$ ) already at 50 meters for the same years,  $130.108 \text{ Wm}^{-2}$  ( $342.398 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $152.577 \text{ Wm}^{-2}$  ( $401.654 \text{ MJm}^{-2}$ ) and  $129.768 \text{ Wm}^{-2}$  ( $340.911 \text{ MJm}^{-2}$ ). For Belo Jardim-PE, 2004, at 25 m and 50 m the estimated values of DPMA and DEMMA were, respectively,  $95.339 \text{ Wm}^{-2}$  ( $250.069 \text{ MJm}^{-2}$ ) and  $103.330 \text{ Wm}^{-2}$  ( $270.948 \text{ MJm}^{-2}$ ). Triunfo was the station that presented the highest value of the average annual speed ( $13.654 \text{ ms}^{-1}$ ) and thus, also, the highest DPMA  $1899.450 \text{ Wm}^{-2}$  ( $4991.466 \text{ MJm}^{-2}$ ). The results indicate that the best performance was obtained by MLE, followed by MM, at both times, although the metrics used do not express a high difference between all the tested methods. The biggest errors were presented by MG, followed by MDP, for data at 10 m and by MDP followed by MG at 25 m and 50 m. Therefore, considering the objectivity and better performance that the method presents, the use of MLE is indicated.

**KEYWORDS:** wind potential, wind function, SONDA Network.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das estações selecionadas para a pesquisa: Petrolina-PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE e São Luiz-MA, Brasil, pertencente à Rede SONDA .....	34
Figura 2 - Histograma da velocidade do vento em Petrolina - PE para 2010 a 10 m, 25 m e 50 m, em março e setembro.....	47
Figura 3 - Regressão linear a 10 m, 25 m e 50 m, em março e setembro (Petrolina - PE em 2010).....	48
Figura 4 - Função de distribuição de probabilidade associada a cada Método empregado, mais a frequência de Kimball a 10 m, 25 m e 50 m, em março e setembro (Petrolina-2010) .....	49
Figura 5 - Densidade de potência média mensal ( $Wm^{-2}$ ) e densidade de energia eólica média mensal ( $MJm^{-2}$ ) a 10 m, 25 m e 50 m (Petrolina –PB, em 2010).....	50
Figura 6 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m (Petrolina –PE em 2011, 2012 e 2013).....	52
Figura 7 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m (Petrolina - PE em 2014, 2015 e 2016).....	53
Figura 8 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m para dados amostrados a 10 min, padrão OMM, 1 hora e diária (Petrolina – PE em 2015).....	57
Figura 9 - Erro relativo médio percentual da densidade de potência estimada a 10 m para dados amostrados a 10 min, padrão OMM, 1 hora e diária (Petrolina – PE em 2015). .....	59
Figura 10 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m em Natal-RN (2010 e 2011).....	60
Figura 11 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m em São Luiz-MA (2016). .....	61
Figura 12 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em São João do Cariri-PB, em 2006.....	64
Figura 13 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em São João do Cariri-PB, em 2007.....	65
Figura 14 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em São João do Cariri-PB, em 2008.....	65
Figura 15 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em Belo Jardim-PE, no período de julho a dezembro de 2004 e janeiro a agosto de 2005. ....	66

Figura 16 - Densidade de potência e densidade de energia eólica 50 m em Triunfo-PE, em 2006

.....

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de estações localizadas na região Nordeste do Brasil pertencentes à Rede SONDA .....	33
Tabela 2 - Características dos dados disponíveis nas estações da rede SONDA .....	34
Tabela 3 - Variáveis ambientais disponíveis nos arquivos de dados das estações da rede SONDA .....	35
Tabela 4 - Variáveis anemométricas disponíveis nos arquivos das estações da rede SONDA .....	35
Tabela 5 - Definição das classes de potência.....	36
Tabela 6 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Petrolina-PE .....	51
Tabela 7 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Petrolina-PE, 2011 a 2016, a 10 m. ....	54
Tabela 8 - Erro Relativo médio, Erro Absoluto Médio e Erro Quadrado Médio em Petrolina-PE, a 10 m, nos anos 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. ....	55
Tabela 9 - Erro Relativo médio, Erro Absoluto Médio e Erro Quadrado Médio em Petrolina-PE, em 2010, a 10 m, 25 m e 50 m.....	56
Tabela 10 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Petrolina-PE, dados amostrados conforme OMM, a 10 min, 1 hora e um dia .....	58
Tabela 11 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Natal-RN.....	60
Tabela 12 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em Natal-RN.....	61
Tabela 13 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em São Luiz-MA .....	62
Tabela 14 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em São Luiz-MA .....	62
Tabela 15 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em São João do Cariri-PB.....	63
Tabela 16 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em São João do Cariri-PB .....	63
Tabela 17 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Belo Jardim-PE .....	66
Tabela 18 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em Belo Jardim-PE.....	67
Tabela 19 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Triunfo-PE .....	68
Tabela 20 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em Triunfo-PE.....	69

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	FUNDAMENTO E REVISÃO DA LITERATURA	18
3.	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Área de Estudo	33
3.2	Programas Computacionais	36
3.3	Distribuição de Weibull	37
3.4	Método Gráfico (MG)	38
3.5	Método da Máxima Verossimilhança (MLE)	39
3.6	Método dos Momentos (MM)	40
3.7	Método Empírico (ME)	42
3.8	Método Densidade de Potência (MDP)	42
3.9	Parâmetros estatísticos empregados nas avaliações	43
3.10	Densidade de Potência e Energia Eólica	43
3.11	Densidade do ar	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Distribuição de Weibull	46
4.2	Densidade de Potência e Energia em Petrolina-PE	46
4.3	DP e DE com Dados Amostrados em Petrolina-PE	56
4.4	Densidade de Potência e Energia em Natal-RN	60
4.5	Densidade de Potência e Energia em São Luiz-MA	61
4.6	Densidade de Potência e Energia em São João do Cariri-PB	62
4.7	Densidade de Potência e Energia em Belo Jardim-PE	65
4.8	Densidade de Potência e Energia em Triunfo-PE	68
5.	CONCLUSÕES	70
6.	REFERENCIAL LITERÁRIO	72
7.	ANEXO I	75
8.	ANEXO II	80
9.	ANEXO III	95
10.	ANEXO IV	100
11.	ANEXO V	103
12.	ANEXO VI	116
13.	ANEXO VII	121





## 1. INTRODUÇÃO

Do candeeiro a iluminação em um clique, o dilema persiste: como favorecer o desenvolvimento e proporcionar bem-estar social de modo sustentável? Dentre grandes desafios que a sociedade contemporânea enfrenta, um deles diz respeito à questão energética, uma vez que o consumo de energia elétrica é crescente e as reservas de combustíveis fósseis são limitadas e de preços variáveis (Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Educação, Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, 2005). Além disso, problemáticas ambientais, tais como emissões de gases do efeito estufa, aquecimento global e poluição, estão intimamente relacionadas ao uso antropogênico desses combustíveis.

A geração de energia elétrica através de fontes não renováveis é apontada como um dos maiores causadores de mudanças climáticas devido a queima de combustíveis fósseis (SOUZA, 2017). Portanto, o uso de fontes de energias renováveis é importante para redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. O investimento em fontes de energias renováveis favorece o desenvolvimento social, político, econômico e ambiental da região, pois além de diminuir os custos da produção de energia, gera emprego e renda, e baixos impactos ao meio ambiente. Dentre as fontes alternativas de energia, a energia eólica se destaca mundialmente por ser sustentável, limpa e de emissão zero de poluentes. No ano 2018, essa fonte de energia contribuiu para a redução da emissão de 28 milhões de toneladas de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2019). É importante destacar que apesar de suas qualidades há problemas relacionados a geração de energia eólica, sendo as principais: a poluição sonora gerada pelas hélices e o impacto a fauna e flora (pelo desmatamento local e pelos animais que podem colidir com os equipamentos e virem a óbito).

A energia elétrica utilizada no Brasil nos últimos anos teve como fonte principal a matriz hidráulica e, em segundo lugar, as usinas térmicas. Mas, em 2018, esse quadro foi parcialmente alterado, pois, apesar da matriz hidráulica continuar sendo a principal fonte, a geração de energia eólica assumiu a segunda posição com boas perspectivas de crescimento. O Brasil tem se destacado frente a outros países em relação ao desenvolvimento e implantação de parques eólicos para geração de energia, ficando em 5º lugar no *ranking* mundial de capacidade eólica nova (parques eólicos instalados recentemente) e 8º lugar no *ranking* mundial de capacidade eólica instalada, com 608 parques eólicos e capacidade instalada de 15,1 Gigawatts (GW).

Cerca de 85% dos parques eólicos localizados no Brasil estão instalados na região Nordeste (NEB).

O número de pesquisas destinadas a identificar o potencial eólico em vários países do mundo tem aumentado consideravelmente em virtude do crescente interesse na utilização da energia eólica. Embora tenham sido empregadas diferentes técnicas para se identificar as potencialidades de cada região, a análise da distribuição de frequência da velocidade do vento tem liderado como critério indispensável em muitos desses estudos. Nesse sentido, a distribuição de Weibull tem sido adotada com frequência na investigação do seu ajuste com os dados medidos e na estimativa final do potencial eólico em diferentes partes do globo.

A Lei de Bet'z (Feijóo, 2010), o Princípio de Máxima Entropia (CHELLALI et al., 2012), análise com a simulação de Monte Carlo (ARSLAN et al., 2014), entre outros métodos, têm sido propostos para estimar e analisar o potencial eólico, além das distribuições Beta, Rayleigh, Log-normal e Weibull, que é a mais utilizada, pois se ajustam bem aos dados de vento. A função de Weibull de dois parâmetros se destaca dentre todas elas, pois tem se tornado bem conhecida em várias investigações relacionadas à energia eólica. Alguns métodos numéricos têm sido sugeridos na literatura para computar os seus parâmetros de forma e escala desta distribuição. Os comumente utilizados são o Método Gráfico, Método Empírico, Método de Máxima Verossimilhança, Método da Máxima Verossimilhança Modificada e Método dos Momentos.

É imprescindível avaliar a função que melhor se ajusta a distribuição da velocidade do vento e os métodos necessários para estimar os parâmetros para determinar qual é o mais apropriado para o cálculo dos parâmetros Weibull, porque pode favorecer a ampliação do mercado da energia..

Em geral, as pesquisas relacionadas a estimativa do potencial eólico usam a média horária da velocidade ou a média dos últimos 10 minutos de cada hora, padrão da Organização Mundial Meteorológica (OMM), ou a cada três horas (oito valores por dia) (ETTOUMI et al., 2003) o que subestima o potencial eólico, pois, tendo em vista que a densidade de potência é diretamente proporcional ao cubo da velocidade do vento, quanto maior o tamanho das amostras mais significativo será o resultado. Como a velocidade do vento é bastante variável é interessante encontrar um modelo estatístico adequado de distribuição de frequência da velocidade do vento.

Hipótese: A distribuição de Weibull se ajusta bem aos dados de velocidade do vento com os métodos analisados.

Neste estudo, cinco Métodos numéricos foram utilizados para determinar os parâmetros de Weibull, a fim de estimar o potencial eólico em Petrolina-PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE e São Luiz-MA, Brasil, usando médias da velocidade do vento a cada 10 minutos (seis valores por hora, 144 por dia) e a cada minuto (60 valores por hora, 1440 por dia).

Este trabalho tem como objetivos:

1. Identificar o método que melhor se ajusta à estimativa dos parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull;
2. Estimar a densidade de potência e energia eólica em Petrolina-PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE e São Luiz-MA, Brasil, a 10, 25 e 50 metros, usando também dados amostrados;

O trabalho foi dividido em seções, sendo que o Capítulo 2 corresponde a revisão da literatura, baseada na aplicação da distribuição Weibull de dois parâmetros e em análises de energia eólica, de novas metodologias para estimativa do potencial eólico e se concentra na comparação de resultados de diferentes funções de densidade de probabilidade, utilizadas em artigos citados. O Capítulo 3 corresponde a fonte dos dados e a metodologia utilizada, para caracterizar o vento baseada em vários parâmetros e abordagens estatísticas. O Capítulo 4 corresponde aos resultados obtidos e discussões a respeito seguindo-se das conclusões no Capítulo 5.

## 2. FUNDAMENTO E REVISÃO DA LITERATURA

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de estimar o potencial eólico, e neste capítulo apresentar-se-á em sequência alguns estudos realizados em regiões como África, Ásia, e, também, no Brasil, em especial na região Nordeste. Cerca de 85% dos parques eólicos localizados no Brasil estão instalados na região Nordeste (NEB), devido as especificidades dos sistemas meteorológicos atuantes. Quando as águas da superfície do mar no Atlântico Norte estão anormalmente mais frias, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte (Alta Subtropical do Atlântico Norte - ASAN) e os ventos alísios de nordeste são intensificados. Se neste mesmo período a superfície do mar no Atlântico Sul estiver mais quente que o normal, o Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul (Alta Subtropical do Atlântico Sul - ASAS) e os ventos alísios de sudeste enfraquecem (FERREIRA e MELLO, 2005) e com isso a potência eólica no NEB deverá ficar reduzida.

Mariano (2017) analisou variações espaciais e temporais do vento e da potência eólica para a região do nordeste setentrional oriental do Brasil, fazendo uso do modelo *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* (BRAMS) com dados de reanálise do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), além de dados observados da velocidade do vento em três mesorregiões da Paraíba obtidos em 2010. O autor concluiu que estão presentes variações sazonais na intensidade dos ventos (ventos mais intensos no mês de setembro e fracos em março) e variações interanuais devido alterações na TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais e que as regiões analisadas são propícias para instalação de parque eólicos.

Na Paraíba merecem destaque os trabalhos de Filho et al. (1990), Lima et al. (2010), Oliveira (2013), Oliveira e Souza (2017) e Mariano et al. (2017). Filho et al. (1990) estudaram o comportamento do vento em Campina Grande-PB, partindo de dados de superfície. Esses autores identificaram intensificação da velocidade do vento ao entardecer e justificaram isso devido à penetração da brisa marítima advinda de João Pessoa-PB. Eles sugeriram que o fator determinante para esse fenômeno é o acoplamento dos alísios de sudeste à brisa marítima, somado ao efeito topográfico do Planalto da Borborema.

Oliveira e Souza (2017) avaliaram o desempenho dos modelos BRAMS e WRF em simular condições de vento na Paraíba, Brasil. Para isso, utilizaram dados de velocidade de vento em torres anemométricas, localizadas nas mesorregiões: Agreste, Borborema e Sertão,

para o mês de setembro de 2010. Os autores concluíram que para o Agreste o modelo WRF acompanha bem as variações do vento e o BRAMS para as regiões do Sertão e da Borborema, e que os resultados apresentaram correlação forte.

Lima et al. (2010) estudaram a variação da velocidade e direção do vento e determinaram a densidade de potência eólica nas estações de São Gonçalo, Monteiro, Patos, Campina Grande e João Pessoa, todas na Paraíba, com base nos dados horários da velocidade do vento em 10 metros e disponibilizados pelo INMET, para o período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. Os autores estimaram a velocidade do vento em 50 e 110 metros e utilizaram a distribuição de Weibull para determinar a densidade de potência eólica anual média, porém não fizeram referência ao Método utilizado para estimar os coeficientes de forma e escala. Eles concluíram que a direção do vento predomina para todas as estações estudadas é de leste, com variações entre nordeste e sudeste, e indicaram Campina Grande como, sendo, dentre as cidades analisadas, a de maior potencial eólico ( $50 \text{ Wm}^{-2}$ ) e São Gonçalo a de menor ( $18 \text{ Wm}^{-2}$ ).

Oliveira (2013) analisou o potencial eólico no estado da Paraíba, Brasil, tendo por base dados de torres anemométricas situadas em altitudes diferentes da região Agreste, Borborema e Sertão, para o mês de setembro de 2010. A autora realizou simulações com os modelos atmosféricos BRAMS e o WRF, com o intuito de identificar sítios com velocidades do vento satisfatórias à instalação de parques eólicos. Para tanto, foi analisado um período de 3 anos de dados. A análise foi feita tomando como base as estações do ano, e concluiu-se que no interior da Paraíba a velocidade do vento é maior na primavera. O cisalhamento do vento também foi projetado utilizando equação logarítmica proposta por Castro (2003). A densidade de potência média diária obtida ficou acima de  $100 \text{ Wm}^{-2}$  na altura de 10 metros, e observaram que a potência é proporcional à altura, como esperado. Para o Agreste e o Sertão, o modelo mais apropriado foi o WRF, enquanto para a Borborema foi o BRAMS.

Lima (2011) analisou o potencial eólico no estado da Paraíba para as cidades de São Gonçalo, Monteiro, Patos, Campina Grande e João Pessoa, utilizando dados ambientais horários do INMET, para o período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. Foram estimados a velocidade do vento a 50 m, 80 m e 120 m e os parâmetros para distribuição de Weibull. Nesse trabalho, foi concluído que a direção predominante é de leste com variações entre nordeste e sudeste, e que os menores e maiores valores de potência eólica foram obtidos em 1977 e 1981, respectivamente. O modelo *Brazilian developments on the Regional Atmospheric*

*Modelling System* (BRAMS) foi usado para simular a velocidade do vento para a região em estudo, nos períodos de chuva e estiagem. Os autores concluíram que os resultados apontam ser essas regiões propícias a geração de energia eólica, em especial Campina Grande, e apontaram que o modelo BRAMS foi capaz de reproduzir satisfatoriamente os ciclos mensais do vento nos regimes considerados, bem como a direção predominante, mas o mesmo subestimou os valores de intensidade do vento.

Mariano et al. (2017) ajustaram o modelo BRAMS através de dados observados e de reanálises provenientes do pacote de dados ERA *Interim* do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Os dados observados foram gerados em torres anemométricas situadas nas localidades de Damião, Juazeirinho e Teixeira, na Paraíba, correspondentes ao mês de outubro de 2010. Os autores concluíram que o BRAMS simulou de forma satisfatória os dados reais para essas localidades e para o período indicado.

Para região Nordeste do Brasil destacam-se os trabalhos de Silva et al. (2002a), Silva et al. (2002b), Silva et al. (2004), Lima e Filho (2010), Lira et al. (2011) e Lima et al. (2011). Silva et al. (2002a) caracterizaram o potencial eólico e a direção predominante do vento no estado da Bahia, utilizando dados da velocidade média horária e direção do vento a 10 m de altura, no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981, em 22 estações meteorológicas distribuídas por todo o estado. Para calcular a densidade de potência os autores fizeram uso do Método dos Momentos e do Método Gráfico, a fim de estimar os parâmetros da distribuição de Weibull, e apontaram que o Método dos Momentos foi aquele que proporcionou o melhor ajuste às distribuições empíricas da velocidade do vento. A densidade de potência mínima obtida foi  $1,457 \text{ Wm}^{-2}$  para o município de Caetitê (sudoeste do estado), enquanto a máxima  $26,88 \text{ Wm}^{-2}$  para o município de Remanso (norte do estado), tendo apresentado um definido ciclo anual com variações de máximas entre junho e dezembro e de mínimas entre março e maio. Observaram que a distribuição de Weibull representou adequadamente a distribuição de frequência da velocidade do vento, e que as direções da velocidade do vento predominantes são leste e sudeste.

Silva et al. (2002b) estimaram a potência eólica em 77 estações climatológicas do Nordeste através de dados horários da velocidade do vento disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a altura de 10 metros e período de 1977 a 1981. Os autores usaram a distribuição de Weibull e estimaram os coeficientes de forma e escala

utilizando o Método dos Momentos e o Método dos Mínimos Quadrados. O Método dos Momentos foi apontado como o mais representativo e os estados do Maranhão e Rio Grande do Norte apresentaram, respectivamente, o menor e maior potencial eólico. As estações que apresentaram, mensalmente, maior ( $138,302 \text{ Wm}^{-2}$ ) e menor ( $0,022 \text{ Wm}^{-2}$ ) potencial eólico, respectivamente, foram Alto Parnaíba-MA, e Acaraú-CE. Petrolina-PE destacou-se com média anual de potencial eólico corresponde a  $37,9 \text{ Wm}^{-2}$  e direção predominante nordeste e leste.

Silva et al. (2004) analisaram a variabilidade espacial e temporal do potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil. Os autores usaram dados de média horária da velocidade e direção do vento a 10 m de altura, no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981, de 77 estações pertencentes ao INMET. Eles concluíram que a direção do vento predominante no Nordeste é de leste com variações entre sudeste e nordeste. O Método dos Momentos usado para cálculo dos parâmetros de forma e escala apresentou resultados mais satisfatórios que o Método Gráfico, de acordo com a diferença entre a distribuição empírica e acumulada. O maior e o menor potencial eólico, o ocorreu em Natal-RN e Acaraú-CE, respectivamente.

Lima e Filho (2010) apresentaram uma avaliação da energia eólica e uma simulação de parques eólicos na cidade de Triunfo-PE, utilizando dados anemométricos de velocidade do vento obtidos através da Rede SONDA em 50 m, para uma série de 30 meses. Os dados foram comparados usando o programa para predição de velocidades WAsP, sendo este apontado como uma boa ferramenta para estimar recursos eólicos e produções de energia a partir de turbinas eólicas e parques eólicos. Os resultados apontam noroeste como sendo a predominante do vento. A densidade média de potência eólica estimada, a velocidade média, o parâmetro de forma e o parâmetro de escala, foram, respectivamente, iguais a  $1,672 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $11,27 \text{ m/s}$ ,  $2,0$ , e  $12,7 \text{ m/s}$ . Portanto, Triunfo foi apontada como possuidora de importante potencial para construção de parques eólicos, destacando que a precisão e quantidade de dados da Rede SONDA tornam os resultados finais muito confiáveis. O trabalho ainda ressaltou o fato do valor da temperatura média do vento (ar) ter um forte impacto no valor da densidade do ar:  $1,052 \text{ kgm}^{-3}$  em vez de  $1,225 \text{ kgm}^{-3}$  (valor padrão WAsP), o que diminui a energia final calculada na ordem de 6%.

Lira et al. (2011) analisaram a velocidade do vento em termos de recursos eólicos nos sítios de Paracuru e Camocim, na costa leste do Ceará, usando regressão linear, ou seja,

obtiveram dados anemométricos a partir de dados a 10 metros. A partir dos dados ambientais obtidos por Plataforma de Coleta de Dados (PCD) os autores estimaram a velocidade do vento a 20, 40, e 60 metros utilizando a equação do perfil logarítmico do vento. Os resultados foram comparados com dados de torres anemométricas e assim os autores formularam um modelo de regressão linear que resultou em bom desempenho. Os autores apontam as regiões estudadas como favoráveis a instalação de turbinas eólicas.

Lima et al. (2011) analisaram a velocidade do vento e determinaram a potência eólica em Jaguaruana-CE através de dados da velocidade do vento disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2006. A velocidade do vento foi estimada a 110 metros de altura com base em parâmetros da distribuição de Weibull. Os autores concluíram que a direção predominante foi leste, com variação entre nordeste e sudeste. A maior densidade de potência eólica foi detectada nos meses de julho a dezembro, com valores variando entre  $55 \text{ Wm}^{-2}$  e  $130 \text{ Wm}^{-2}$ , para vento a 10 m e cerca de  $150 \text{ Wm}^{-2}$  e  $380 \text{ Wm}^{-2}$  para vento a 110 m, apontando esta como uma região favorável a instalação de parques eólicos.

Tuchtenhagen et al. (2011) elaboraram um mapeamento e avaliaram o potencial eólico para o Brasil através do modelo de mesoescala *Weather Research and Forecasting* (WRF) e geraram dados horários para o ano de 2011. Os resultados apontaram que as regiões próximas ao litoral do Nordeste e Sul do país são favoráveis à instalação de fazendas eólicas, devido a constância da velocidade do vento local, que atingiu valores de  $12 \text{ ms}^{-1}$  à 10 metros. O modelo WRF-ARW mostrou-se com condições de prever ventos com eficiência e assim prover suporte aos requisitos básicos da indústria eólica, viabilizando previsão de hora em hora e em alturas compatíveis com as das turbinas.

Germano e Júnior (2016) utilizaram o modelo WRF e analisaram o potencial eólico no estado de Alagoas para o ano de 2009. Os resultados mostraram que a velocidade do vento aumenta no verão, e que o WRF é ferramenta eficiente no mapeamento do potencial eólico do estado, pois a velocidade do vento simulada pelo modelo foi similar a dados observados na região. As simulações realizadas indicam a existências de três áreas no estado de Alagoas que são propensas a implantação de parque eólicos. Os autores ainda destacaram que no verão a velocidade do vento é maior e assim apresenta maior potencial eólico, sendo os seus valores mais elevados entre  $600 \text{ kWm}^{-2}$  e  $800 \text{ kWm}^{-2}$ .



Rocha et al. (2018) fizeram análise de viabilidade econômica estocástica da geração de energia eólica residencial no Brasil, usando a simulação de Monte Carlo. Os cenários de velocidade do vento alta, baixa e intermediária produzem resultados de viabilidade de 22,04%, 1,51% e 15,06%, respectivamente. Os autores destacaram que é essencial subsidiar essa tecnologia e diminuir a incerteza das flutuações de preços para alavancar a geração de energia eólica residencial e sugeriram que políticas adicionais devem ser adotadas para reduzir o risco assumido pelos investidores na geração de energia eólica residencial no Brasil.

Pereira et al. (2011) estimaram a geração de energia eólica para consumo residencial na cidade de Urubici-SC utilizando dados horários de velocidade do vento, no período de 2003 a 2009, e analisaram as curvas de potência de dois modelos de aerogeradores. A produção máxima mensal de energia gerada pelos aerogeradores estudados chegaria a 173 kWh/mês. Considerando um consumo médio de 300 kWh/mês na residência, a energia eólica estimada atenderia aproximadamente a metade da demanda nos meses de maior produção, e indicaram o uso do sistema eólico como fonte complementar da geração de energia.

Além de trabalhos realizados a fim de estimar o potencial eólico de uma região outros trabalhos são propostos na perspectiva de estimar os parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull de forma mais consistente e prática, como é o caso de Akdag e Dinler (2009), que introduziram um novo Método, denominado Método da Densidade de Potência, para estimar os parâmetros da distribuição de Weibull no campo da energia eólica. Para validar esse Método, os autores compararam seus resultados com resultados obtidos em estudos anteriores. O Método Densidade de Potência mostrou ser um Método adequado para estimar os parâmetros de Weibull e apresentou melhor adequação do que outros Métodos. Por possuir formulação simples, sem categorização e sem resolução de problema linear de Mínimos Quadrados ou procedimento iterativo, os autores o consideraram como mais adequado para estimativa do potencial eólico.

Trabalhos com intuito de quantificar o potencial eólico útil também estão sendo desenvolvidos, como, por exemplo, o de Villanueva e Feijó (2010) que analisaram a relação entre a densidade de potência média e a velocidade do vento e apresentaram as características das distribuições de energia eólica. Os autores obtiveram quatro equações de relações entre a densidade de potência média e a velocidade média do vento. Considerando a potência eólica transportada por uma corrente de ar que flui com uma dada velocidade ( $v$ ), os autores

concluíram que a potência máxima por unidade de superfície pode ser extraída através da relação  $0,69\bar{v}$

Para uma análise mais precisa em termos do potencial eólico, é possível caracterizar o desempenho dos métodos de estimativa de parâmetros existentes a fim de encontrar o mais adequado para cada região e base de dados. Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas para estimar o potencial eólico por todo o mundo. Com esta visão, Chang (2011) comparou o desempenho do Método dos Momentos, Método Empírico, Método Gráfico, Método da Máxima Verossimilhança, da Método Máxima Verossimilhança Modificada e o Método do Fator Padrão de Energia, na estimativa de parâmetros de Weibull para aplicação de energia eólica. O desempenho de cada modelo foi comparado utilizando a simulação de Monte Carlo e da análise da velocidade do vento. A estatística utilizada para esta análise foi o teste de Kolmogorov-Smirnov, erro de parâmetro e erro quadrático médio. Os dados de velocidade do vento utilizados são observados a cada 10 minutos, de 2006 a 2007, em três parques eólicos com condições climáticas diferentes em Taiwan (continente Asiático): Dayuan (planície noroeste de Taiwan), Hengchun (península sul) e Penghu (ilha no Estreito de Taiwan). Os autores apontam os Métodos Gráfico, Empírico e do Fator Padrão de Energia, como os de menor desempenho quanto menor for a série de dados e os demais Métodos são ditos com desempenho satisfatório. Os autores destacam, ainda, que quanto maior a quantidade de dados mais o desempenho dos Métodos maximizam e se assemelham e concluem que caso a distribuição da velocidade do vento coincida com a função Weibull, os seis Métodos são aplicáveis.

Outro autor que analisou o potencial eólico foi Safari (2011), em Rwanda, na África, que estimou os parâmetros de forma e escala através do Método Gráfico e Método da Máxima Verossimilhança para a distribuição de Weibull e também fez uso das seguintes funções de distribuição de densidade de probabilidade: Rayleigh, lognormal, normal e gama. Fizeram uso de dados horários e diários da velocidade e direção do vento fornecidos pelo Serviço Nacional de Meteorologia local. As estações investigadas foram Gisenyi (período de observação 1981-1993), Kigali (1981-1991), Butare (1988-1993, de setembro a abril) e Kamembe (1881-1993, de abril a outubro) que apresentaram velocidade média horária mensal de 2 m/s. A análise se baseou na comparação com as distribuições empíricas. Para tanto, determinaram a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o erro absoluto médio (EAM); as magnitudes dos erros encontradas foram comparadas e indicadas como aceitáveis. Os autores concluíram que para a estação de

Gisenyi as distribuições gama, lognormal e Weibull são as mais adequadas. Para a estação de Kigali foram a gama, normal e lognormal, e para a estação de Butare Weibull foram a normal e gama. Por fim, para a estação de Kamembe foram a gama, lognormal e Weibull. Identificaram, ainda, que Rwanda possui potencial de energia eólica em algumas partes que podem oferecer possíveis soluções para geração de eletricidade, bombeamento de água e moinho de vento. Os autores enfatizaram, ainda, a importância do valor correto para densidade local, a fim de estimar com mais confiabilidade a densidade de energia pra região em estudo e destacam a estimação da potência com a altura para a estação de Gisenyi, que apresentou valores superiores a  $300 \text{ Wm}^{-2}$  a 100 metros de altura.

Tem sido proposto avaliar as distribuições de velocidade do vento em locais como Golfo da Guiné (SALAMI et al., 2016), Lituânia (KATINAS et al., 2017), costa de Marocco's (ALLOUHI et al. 2017), China (JIANG et al., 2017), Sul da Coréia (ALI et al., 2018) e Egito (AHMED, 2018).

Dentre os trabalhos desenvolvidos para estimar o potencial eólico em regiões do Brasil, em especial da região Nordeste, se destacam as pesquisas de Filho et al. (1990), Oliveira e Souza (2017), Lima et al. (2010), Oliveira (2013), Mariano et al. (2017), Lira et al. (2011), Lima et al. (2011), Lima e Filho (2010), Sansigolo (2005), Silva et al. (2002), Silva et al. (2004), Silva et al. (2002) e Tuchtenhagen et al. (2011).

Usando a distribuição de Weibull e a equação Logarítmica proposta por Justus (Mendwell, 2002) alguns estudos são realizados para determinar o potencial eólico através de dados estimados com a altura em vários sítios, como para o Estado da Paraíba no Brasil (Lima et al. 2010; Oliveira e Souza, 2016), Paracuru e Camocim na costa Leste do Ceará (Lira et al. 2011) e em Baburband no Paquistão (SHOAIB ET AL., 2017).

Chellali et al. (2012) estudaram seis regiões da Argélia, África, para fazer uma comparação entre as distribuições de velocidade do vento derivadas do Princípio da Máxima Entropia (PME) e a distribuição de Weibull, com o intuito de dimensionar o quanto a distribuição de probabilidade da velocidade do vento permite um uso eficiente da energia eólica. Eles concluíram que o princípio de máxima entropia se ajusta mais a velocidade do vento do que o Método tradicional em termos de erro quadrático médio, apontando algumas limitações para aplicação. Destacaram que um bom ajuste da densidade de probabilidade não implica necessariamente em um bom ajuste da densidade de potência.

Salami et al. (2016) avaliaram o potencial eólico em Lomé, Accra e Cotonou (África) para escolher o local mais apropriado a instalação de um gerador de turbina eólica ideal. Para isso, foram utilizados dados horários (média dos últimos 10 minutos de cada hora) de vento a uma altura de 10 m. O período analisado compreendeu janeiro de 2000 a outubro de 2012 para Lomé, e de janeiro de 2000 a dezembro de 2012 para Accra e para Cotonou. A velocidade média anual calculada foi de  $3,52 \text{ ms}^{-1}$  para Lomé,  $3,99 \text{ ms}^{-1}$  para Cotonou e  $4 \text{ ms}^{-1}$  para Accra. Esses estudos também mostraram que uma velocidade média mensal superior a  $4 \text{ ms}^{-1}$  foi observada nos locais Cotonou e Accra durante os meses de fevereiro, março, abril, julho, agosto e setembro e durante os meses de julho, agosto e setembro no site de Lomé. A análise foi baseada na distribuição de Weibull híbrida. Os autores concluíram que estes três locais apresentam um baixo potencial eólico, pois a distribuição mensal do vento não é uniforme.

Allouhi et al. (2017) fizeram uma análise da evolução da energia potencial para o período de 2011 a 2015 e para a região costeira de Marrocos, África (Al Hoceima, Tetouane, Assila, Essouira, Laayoune e Dakhla). Eles fizeram uma análise estatística de dados horários de velocidade do vento. A distribuição de Weibull se mostrou eficaz na representação dos dados reais do vento. Dakhla ( $7,0 \text{ ms}^{-1}$ , Noroeste a 50 m) e Laayoune ( $6,5 \text{ ms}^{-1}$ , Noroeste a 50m) foram os locais mais adequados para o aproveitamento da energia eólica. Os parâmetros de forma (k) e escala (c) foram estimados como sendo entre  $1,992$  e  $4,357 \text{ ms}^{-1}$  e entre  $4,271$  a  $8,686 \text{ ms}^{-1}$ , respectivamente, a 50 m de altura. As densidades máximas de potência em Dakhla e Laayoune no mês de julho foram de  $532 \text{ Wm}^{-2}$  e  $494 \text{ Wm}^{-2}$  a 50 m de altura, e  $633 \text{ Wm}^{-2}$  e  $588 \text{ Wm}^{-2}$  a 75 m de altura, respectivamente.

Saleh et al. (2012) avaliaram diferentes Métodos para estimar parâmetros da distribuição de Weibull, sendo eles: Método Empírico, Gráfico, Método dos Momentos, Método da Máxima Verossimilhança, Método da Máxima Verossimilhança Modificada, Método Densidade de Potência, fazendo uso de dados cujo período de coleta foi de 10 min do parque eólico de Zafarana, Egito, no período de julho de 2010 a junho de 2011. Os autores concluíram que Método Empírico e o Método da Máxima Verossimilhança são os mais recomendados para estimar a distribuição da velocidade do vento para o sítio em estudo.

O oeste do deserto egípcio foi estudado por Ahmed (2018) que fez uma análise sobre as características da energia eólica e instalação de parques eólicos em Shark El-Ouinat, para o período de cinco anos, através de dados fornecidos pela estação meteorológica local. A

velocidade média anual do vento é  $6,5 \text{ ms}^{-1}$ , obtida em uma altura de 10 m (máxima de  $7,4$  e mínima de  $5,4 \text{ ms}^{-1}$ ), sendo a média anual dos parâmetros Weibull de forma  $k$  e escala  $c$   $2,1$  e  $7,4 \text{ ms}^{-1}$ , respectivamente. O autor concluiu que o potencial de energia eólica do vento corresponde a  $582 \text{ kWm}^{-2}$  por ano a 100 m de altura.

Arslan et al. (2014) realizaram um estudo comparativo entre Métodos numéricos para determinação dos parâmetros de Weibull, dentre eles, o Método dos Momentos, Método dos Momentos-L, Método da Máxima Verossimilhança, usando a Simulação de Monte Carlo. Os autores destacam que a distribuição de frequência é inclinada para direita ou é simétrica, e concluem que o Método da Máxima Verossimilhança é preferível para a estimativa do parâmetro de forma ( $k$ ) em comparação aos outros Métodos.

Irwanto et al. (2014) avaliaram o potencial de geração de energia eólica em Perlis, na Malásia (Ásia), apresentando uma análise das características da velocidade do vento em Chuping e Kangar, em termos da velocidade média diária, mensal e anual do vento. Também analisaram o potencial eólico em função da altura da torre. Os autores apontam que a média mensal de energia eólica e densidade de energia de janeiro a março e em dezembro são maiores que para o meio do ano. Concluíram que quanto maior a altura da torre, maior a produção de energia eólica e de densidade de energia, por isso a importância de saber a altitude da localidade em que a torre será instalada e a altura desta, para melhor escolher a turbina eólica. Para a altura de 50 metros, a densidade de potência eólica foi de  $2,13 \text{ Wm}^{-2}$  e  $19,62 \text{ Wm}^{-2}$  em Chuping e Kangar, respectivamente. Destacaram, ainda, a importância dessas informações para escolher uma turbina eólica adequada para uma instalação de parque eólico.

A Ásia também foi objeto do estudo de Komleh e Sefeedpari (2015) os quais analisaram a velocidade do vento e a densidade de potência em Firouzkooh, no Irã, usando as funções de distribuição de Weibull e Rayleigh, no período de 2001 a 2010, e cujo intervalo das medições era de 3 horas. As funções se ajustaram bem aos valores reais de acordo o coeficiente de determinação, e a direção predominante do vento foi entre  $180^\circ$  e  $207^\circ$  no sentido horário a partir do Norte, e para o intervalo das 6 às 15 horas, os ventos se intensificam. Os autores estimam que a densidade de potência média calculada por ano foi entre  $203$  e  $248 \text{ Wm}^{-2}$ , que corresponde a  $1780$  e  $2177 \text{ KWhm}^{-2}\text{ano}^{-1}$  de energia, respectivamente, e assim concluíram que a região em Firouzkooh é favorável a instalação de turbinas eólicas.

Ko et al. (2015) estudaram o potencial energético eólico na estação de Micronesia, Oceania, para o ano de 2013. A distribuição de Weibull e Rayleigh foram usados para ajustar a distribuição de dados de velocidade do vento. A densidade anual média de energia eólica foi de  $157,08 \text{ Wm}^{-2}$ , enquanto a maior densidade de energia eólica ocorreu em fevereiro ( $345,91 \text{ Wm}^{-2}$ ) e a menor em setembro ( $21,39 \text{ Wm}^{-2}$ ).

Katinas et al. (2017) fizeram uma análise estatística das características do vento com base na distribuição de Weibull para estimar a geração de energia e os coeficientes de forma e escala na Lituânia, sul da Europa, no período de 1995 a 2002, para a região costeira, e de 2012 a 2013, para o interior do país. A distribuição da densidade da velocidade do vento no local através do valor da função Gamma varia e para o cálculo desta função por meio da aproximação dos dados foi obtida uma função polinomial de regressão. Foram calculados o Erro Quadrático Médio, o Coeficiente de Determinação, o teste do Qui-quadrado e o Erro Relativo. Os autores concluíram que na Lituânia, a península de Nida e a região de Klaipeda são as mais promissoras para a exploração da energia eólica.

Mohammadi et al. (2016) estudaram a eficácia de seis métodos numéricos para estimativa dos parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull a fim de aferir o potencial eólico em quatro estações distribuídas na província de Alberta, no Canadá, a saber: Edmonton City Centre Awos, Grande Prairie A, Lethbridge A e Waterton Park Gate. Os Métodos analisados foram o Método Gráfico, Método Empírico de Justus, Método Empírico de Lysen, Método Densidade de Potência, Método da Máxima Verossimilhança e Método da Máxima Verossimilhança Modificada. Segundo os autores os métodos se mostram precisos para estimativa da potência eólica, exceto o Método Gráfico que ficou aquém dos demais. No entanto, verificou-se que o método mais eficaz não é semelhante entre as estações devido à diferença nas características do vento.

Mohammadi et al. (2017) analisaram a aplicação da distribuição de dois parâmetros Birnbaum-Saunders (BS) para caracterizar as distribuições de velocidade e densidade de energia eólica. Para isso, usaram dados de velocidade do vento medidos em dez estações distribuídas na província de Ontário, no Canadá. Segundo os autores a distribuição da BS teve um desempenho muito favorável em todas as estações selecionadas e superou as demais contribuições em seis estações, enquanto nas quatro estações restantes ficaram em terceiro ou quarto. A distribuição Weibull foi a segunda melhor função para estimar a distribuição da

densidade da energia eólica, mas não foi capaz de fornecer uma descrição adequada da frequência dos dados de velocidade do vento em todos os locais. E, assim, foi verificado uma boa capacidade de generalização, precisão e eficácia da distribuição BS para caracterizar a velocidade e distribuição de energia eólica.

Shoaib et al. (2017) avaliaram o potencial de energia eólica em Baburband (Paquistão) usando a função de distribuição Weibull e os Métodos: Momentos, Máxima Verossimilhança, Fator Padrão de Energia e Densidade de Potência, para o período de maio de 2008 a abril de 2011, com dados medidos em intervalos de 10 min em 10, 30, 60, 80 e 81,5 metros. A comparação dos Métodos de estimativa mostrou a consistência da estimativa dos parâmetros forma e escala do modelo. Foram obtidos valores da velocidade média e da densidade de potência de Weibull entre 6,78 a 4,89 m/s e 309,10 a 138,45  $\text{Wm}^{-2}$ , cujos testes estatísticos apontaram a confiabilidade da função de distribuição ajustada e a precisão dos Métodos de estimativa. O estudo revelou que o site da Baburband é viável para a instalação de um parque eólico para a geração de energia elétrica.

Wais (2017) avaliou o desempenho da distribuição de Weibull com dois e três parâmetros comparando as técnicas de avaliação de energia eólica disponíveis na Polônia. O autor concluiu que a distribuição Weibull de três parâmetros fornece melhores resultados em comparação com a distribuição Weibull de dois parâmetros, para a maior probabilidade de vento nulo, e pode ser proposta como uma alternativa à técnica de estimativa da energia eólica.

Gugliani et al. (2018) estudaram o Método do Fator Padrão de Energia Modificado para estimar os parâmetros Weibull de dados com dados de vento de três regiões da Índia, e estimaram a produção de energia eólica pra região. O estudo foi baseado na comparação dos resultados obtidos com seis métodos populares de estimação de parâmetros, através da simulação de Monte Carlo. A análise realizada sugeriu o Método do Fator Padrão de Energia Modificado como uma boa alternativa para estimar os parâmetros da distribuição de Weibull, considerando-o melhor que o Método Densidade de Potência e apresentando resultados tão consistentes quanto os demais métodos, cuja densidade de potência possuiu média de 261,78  $\text{Wm}^{-2}$ , 231,27  $\text{Wm}^{-2}$  e 204,56  $\text{Wm}^{-2}$ , para as localidades de Ahmedabad, Trivandrun e Calcutta, respectivamente.

Soulouknga et al. (2018) analisaram o potencial de energia eólica em Faya-Largeau, Chade, através da distribuição de Weibull, e de dados mensais de velocidade do vento no

período de 1960 e 1978, medidos a 10 m de altura. Os valores anuais dos parâmetros  $k$  e  $c$  de Weibull foram calculados usando o Método do Fator Padrão de Energia, respectivamente: 3,75 e 3,60 ( $\text{ms}^{-1}$ ), enquanto que a densidade de potência e a energia disponível foram, respectivamente, iguais a  $343,31 \text{ Wm}^{-2}$  e  $249,87 \text{ kWhm}^{-2}$ .

Ali et al. (2018) analisaram as características do vento em Deokjeok Island, Incheon, na Coreia do Sul, usando a função de densidade de probabilidade de Weibull com dois parâmetros, a fim de estimar o potencial de energia eólica. Para tanto, foram utilizados dados de direção e velocidade do vento a 10 metros da superfície, para o período de 2000 a 2016. Os autores verificaram que a direção dos ventos é, em geral, leste-sul ou sudoeste com magnitude máxima abaixo de 8 m/s durante a primavera, com moda entre 2 e 3 m/s nas demais estações, concluindo que a região possui um baixo potencial eólico, entretanto sugerem a elaboração de um plano de energia sustentável para região. Os valores máximos estimados dos parâmetros de forma e escala de Weibull foram 6,96 (outono) e 3,49 (primavera), enquanto os valores mínimos foram de 5,71 (inverno) e 2,70 (outono), respectivamente.

Kantar et al. (2018) analisaram a velocidade do vento na Turquia usando uma extensão da distribuição generalizada “Lindley” como alternativa de distribuição da velocidade do vento, por ser flexível o suficiente a baixos valores. Os resultados das análises indicam que essa distribuição é adequada para a maioria dos dados de velocidade do vento em comparação a distribuição de Weibull, de acordo com os testes de qualidade de ajuste.

Akdag e Dinler (2009) introduziram um novo Método, denominado Método da Densidade de Potência, para estimar os parâmetros da distribuição de Weibull no campo na energia eólica. O Método Densidade de Potência apresentou-se adequado para estimar os parâmetros de Weibull e possuiu melhor ajuste do que outros Métodos. Os autores concluíram que esse Método facilita a estimativa do potencial eólico, por ter formulação simples e não requerer categorização, e resolução de problema linear de Mínimos Quadrados ou procedimento iterativo.

Chaurasiya et al. (2017) analisaram a eficácia de nove Métodos numéricos para a estimativa dos parâmetros da distribuição Weibull em três alturas distintas: 80 m, 100 m e 120 m, em Kayathar, Tamil Nadu, Índia. Para estimar a densidade da energia eólica usando o instrumento Doppler SODAR (*Sound Detection and Ranging*), que é uma técnica de sensoriamento remoto usando o princípio Doppler. O desempenho dos Métodos selecionados



foi analisado com base na Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error*, RMSE), Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Erro Médio Absoluto Percentual (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE) e Teste do Qui-quadrado (*Chi-square Test*,  $\chi^2$ ). O SODAR forneceu uma boa concordância com a observação em todas as alturas e foi indicado pelos autores como uma alternativa à medição da velocidade em alturas mais elevadas. A análise estatística mostrou que o Método da Máxima Verossimilhança e o Método da Máxima Verossimilhança Modificada apresentaram um bom desempenho, enquanto o Método Gráfico e Método Alternativo de máxima Verossimilhança apresentaram desempenho ruim. O fator de escala (c) mostrou-se altamente sensível; e o Método Densidade de Potência surgiu como o terceiro Método mais eficiente para calcular a densidade de energia eólica. Os autores observaram ainda que o Método de estimativa dos parâmetros menos apropriado não era o mesmo entre todas as alturas.

Comumente, as pesquisas realizadas para estimar o potencial eólico ou observar o comportamento do vento de uma região usam a média horária da velocidade do vento. Em outros casos, os autores tomam por base dados com bom período de medições, 1 ou 10 minutos, por exemplo, mas as pesquisas se detêm a um curto período de dados a fim de validação de modelo atmosférico impossibilitando uma análise completa do potencial ao longo do ano, tendo em vista que as variáveis como pressão, temperatura e velocidade do vento oscilam bastante a depender da estação do ano e pode expressar uma diferença significativa no valor da potência. Quanto maior a quantidade de dados, melhor a estimativa do potencial eólico, tendo em vista que esse é proporcional ao cubo da velocidade.

Algumas limitações são apresentadas para a estimativa correta do potencial eólico, um deles é a base de dados. Em geral, a base de dados de velocidade do vento disponível corresponde ao padrão exigido pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), ou seja, à média dos 10 últimos minutos de cada hora, na altura de 10 m, como é o caso dos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dados das estações automáticas também são disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Outra base de dados bastante utilizada é a do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (SINDA) que disponibiliza dados coletados nos horários sinóticos 00, 06, 12 e 18 horas, para algumas estações apenas dados de três desses horários estão disponíveis, e por isso não é favorável a estimativa do potencial eólico.

Nesse sentido, o Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA) foi iniciado dispondo de dados a 10 m, 25 m e 50 m de altura, com intervalo de medição de 1 minuto (ambientais), e 10 minutos (anemométricos). Essa base de dados possibilita análise detalhada sobre as variações diárias de variáveis meteorológicas e, por isso, este trabalho utiliza a velocidade instantânea dos dados ambientais e faz uma análise das diferenças obtidas ao usar a média a cada minuto, a média horária, e a média dos últimos dez minutos de cada hora, na perspectiva do cálculo do potencial eólico.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as técnicas e os materiais empregados na pesquisa. A localização das estações cujos dados foram coletados, os tipos de dados e o período de observação são apresentados inicialmente. Uma descrição das equações que, em geral, são usadas no cálculo da densidade de potência e energia e se apresenta as equações usadas para a projeção da velocidade com altura. Em seguida, foi exposta a distribuição de Weibull e os Métodos de estimativa dos seus parâmetros. Por último, propõe-se métricas estatísticas para certificar os resultados obtidos.

#### 3.1 Área de Estudo

Foram selecionados para esta pesquisa dados ambientais e anemométricos de estações localizadas no Nordeste, pertencentes à rede SONDA (Tabela 1) e distribuídas conforme apresentado na Figura 1.

Tabela 1 - Características de estações localizadas na região Nordeste do Brasil pertencentes à Rede SONDA

Estação (SIGLA)	Tipo	UF	ID	Latitude	Longitude	Alt.(m)	Período
<u>Belo Jardim (BJD)</u>	A	PE	22	08° 22' 03" S	36° 25' 46" O	718	07-12/2004 01-06/2005
<u>Natal (NAT)</u>	S	RN	17	05° 50' 12" S	35° 12' 23" O	58	2010- 2011
<u>Petrolina (PTR)</u>	SA	PE	11	09° 04' 08" S	40° 19' 11" O	387	2010-2016
<u>São Luiz (SLZ)</u>	S	MA	16	02° 35' 36" S	44° 12' 44" O	40	2016
<u>São João do Cariri (SCR)</u>	A	PB	25	07° 22' 54" S	36° 31' 38" O	486	2006-2008
<u>Triunfo (TRI)</u>	A	PE	23	07° 49' 38" S	38° 07' 20" O	1123	2006

A Rede SONDA é um sistema de coleta de dados operado e gerenciado pelo INPE. Conforme descrito no site da instituição (<http://www.ccst.inpe.br/projetos/primeiro-projeto/>) esta Rede tem como objetivo principal um sistema de coleta de dados ambientais de alta confiabilidade que contemple as necessidades dos setores da sociedade envolvidos na pesquisa, desenvolvimento, planejamento e investimentos no uso e aplicações de energias renováveis, principalmente, as energias solar e eólica (MARTINS et al., 2005).

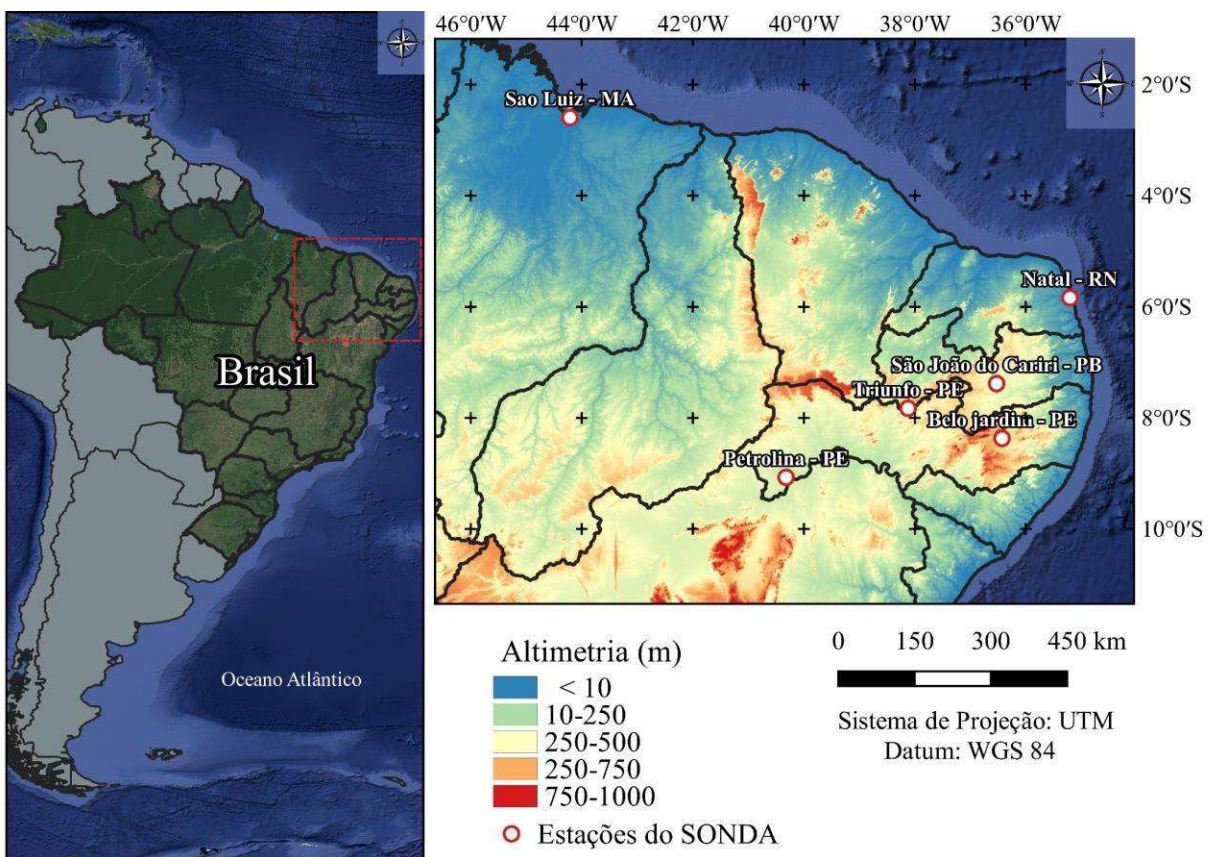


Figura 1 - Localização das estações selecionadas para a pesquisa: Petrolina-PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE e São Luiz-MA, Brasil, pertencente à Rede SONDA

A Rede SONDA é composta por vinte estações de coleta de dados com medidores instalados em 15 estados brasileiros, sendo 14 estações próprias e 6 em parceiras. Os intervalos de medição dos dados são dispostos conforme Tabela 2, sendo de 1 e 10 minutos, com varreduras dos sinais a cada 5 segundos.

Tabela 2 - Características dos dados disponíveis nas estações da rede SONDA

Dados	Altura acima do solo	Intervalo de medições
Ambientais	10 metros	1 minuto
Anemométricos	25 e 50 metros	10 minutos

Os dados ambientais podem ser classificados em dois tipos: os radiométricos (que consistem de dados de radiação) e os meteorológicos (apresentam variáveis do ar atmosférico), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis ambientais disponíveis nos arquivos de dados das estações da rede SONDA

Dados Ambientais	
Radiométricos	Meteorológicos
Radiação Solar ( $Wm^{-2}$ )	Temperatura do Ar ( $^{\circ}C$ )
Radiação Direta Normal ( $Wm^{-2}$ )	Umidade Relativa do Ar (%)
Radiação Difusa ( $Wm^{-2}$ )	Pressão do Ar (hPa)
Radiação de Onda Longa Atmosférica ( $Wm^{-2}$ )	Precipitação Pluviométrica (mm)
Radiação Fotossinteticamente Ativa-PAR( $\mu molss^{-1}m^{-2}$ )	Velocidade do Vento a 10m (m/s)
Iluminância (kLux)	Direção do Vento a 10m ( $^{\circ}$ )

Os dados anemométricos são obtidos em dois níveis distintos a partir da superfície: 25 50 metros. As variáveis obtidas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Variáveis anemométricas disponíveis nos arquivos das estações da rede SONDA

Dados Anemométricos	
25 m	50 m
Velocidade do Vento (m/s)	Velocidade do Vento (m/s)
Direção do Vento ( $^{\circ}$ )	Direção do Vento ( $^{\circ}$ )
Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )	Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )

As variáveis ambientais utilizadas nessa pesquisa foram temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), pressão atmosférica (hPa), umidade relativa (%) e velocidade do vento ( $ms^{-1}$ ), esta última obtida a 10 metros, ou seja, variáveis ambientais meteorológicas. No caso dos dados anemométricos foram utilizados apenas os dados de velocidade do vento a 25 e 50 metros.

A variável anemométrica utilizada nessa pesquisa foi a velocidade do vento medida a 25 e 50 metros, com registro dessas medições realizado a cada 5 segundos e extraídas médias a cada 10 minutos. Considerou-se todos os registros de velocidade do vento inferiores a  $20 ms^{-1}$  até o mínimo de  $0,2 ms^{-1}$ , por ser esse o erro aproximado do anemômetro que faz as medições. Os demais valores foram descartados e contabilizado o tempo das medições. Analisou-se a consistência dos dados de velocidade do vento com base na inspeção do ciclo médio diário. Para cada mês selecionado, considerou-se a quantidade de medições por hora, o intervalo de medições (10), as 24 horas diárias e a quantidade de dias no mês. Por exemplo, para um mês com 30 dias, foram usados os dados anemométricos ( $10 \times 6 \times 24 \times 30$ ) totalizando 43200 minutos.

Nesses dados disponíveis, foi feita uma classificação com base em Feitosa et al. (2003), que pode ser visualizada na Tabela 5 que mostra a classificação das velocidades de vento

considerando uma região de campo aberto. Os valores correspondem à velocidade média anual do vento a 50 m de altura em m/s ( $v_m$ ) e à densidade média de potência em  $W/m^2$  ( $Pot_m$ ).

Tabela 5 - Definição das classes de potência

Campo aberto		
Classe	$v_m$ (m/s)	$Pot_m$ ( $W/m^2$ )
4	> 7	> 300
3	6 – 7	200 – 300
2	4,5 – 6	80 – 200
1	< 4,5	< 80

Fonte: Adaptada de Feitosa et al. (2003)

### 3.2 Programas Computacionais

Inicialmente, foi utilizado o Microsoft Excel como ferramenta para executar os cálculos, mas devido à grande quantidade de dados por mês e ano fez-se necessário trabalhar com um *software* prático para análise e processamento de dados. Nesse sentido, a opção escolhida foi o *Python* e as bibliotecas *Jupyter Notebook* e *Pandas*, através da ferramenta *Anaconda*.

Para tratamento do banco de dados utilizou-se o software *Anaconda*, uma iniciativa que tem como objetivo agregar todas as ferramentas para análise de dados em um único arquivo. Suas premissas baseiam-se num arquivo que instala no computador todas as bibliotecas e recursos necessários para começar projetos de *Data Science* e *Machine Learning*, como o *Python*, *Jupyter Notebook*, *IDE Spyder*, além das seguintes bibliotecas: *NumPy*, *Pandas*, *Scikit-learn* etc.



Figura 2 – Ícones dos softwares utilizados na pesquisa.

O *software Anaconda* foi escolhido para desenvolvimento desta pesquisa por sua praticidade e inovação na área de pesquisa, além de ser uma das formas mais rápidas e eficazes para tratamento de dados e cálculos. É um *software* de acesso livre e o processo de instalação é fácil e pode ser obtido para instalação através do site oficial: [www.anaconda.com/download/](http://www.anaconda.com/download/).

Dentre as bibliotecas e recursos disponíveis no *Anaconda* destaca-se o *Jupyter Notebook*, que é uma ferramenta muito importante e útil, uma aplicação de código aberto que permite criar e compartilhar documentos com códigos dinâmicos, visualizações de Gráficos, limpeza de dados e até textos explicativos, além de possuir suporte e elementos HTML (*Hypertext Markup Language*). Devido à riqueza de detalhes que se pode inserir nos notebooks, o *Jupyter Notebook* se torna a ferramenta ideal para uma descrição de análise e resultados e processamento de dados em tempo real e por isso foi usado neste trabalho. No Anexo III apresenta-se parte da programação para estimativa do potencial eólico.

### 3.3 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é comumente utilizada para sintetizar a distribuição de dados de velocidade do vento e para estimar o potencial eólico. A função de densidade de probabilidade de Weibull e a função de distribuição acumulativa são obtidas através das seguintes equações, em que  $v$  é a velocidade do vento em  $\text{ms}^{-1}$ , considerando uma variável aleatória, contínua e independente.

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

$$F(v) = P(v \leq v_0) = \int_0^{\infty} f(v)dv = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

As principais variáveis que a expressam são os dois parâmetros de modelagem, quais sejam, o parâmetro de forma  $k$  (adimensional) e o parâmetro de escala  $c$  (m/s). O parâmetro de escala é o fator característico da distribuição que apresenta a mesma unidade de medida da grandeza analisada, e controla a escala abscissa de um Gráfico de distribuição de dados. O parâmetro de forma descreve a largura da distribuição de dados, ou seja, a forma da distribuição, quanto maior o parâmetro da forma, menor a distribuição e maior o valor do pico. Esses parâmetros permitem um ajuste de curva mais refinado para diferentes características do vento.

Alguns métodos podem ser usados pra estimativa dos parâmetro  $k$  e  $c$ , como por exemplo o Método dos Mínimos Quadrados, Método dos Momentos, Método da Máxima

Verossimilhança, Método da Máxima Verossimilhança Modificada, Método Empírico de Justus, Método Empírico de Lysen, Método Densidade de Potência, Método do Fator Padrão de Energia e para a pesquisa foram selecionados cinco métodos, apresentados abaixo.

### 3.4 Método Gráfico (MG)

A princípio, inicia-se com uma abordagem para estimar os parâmetros para uma distribuição Weibull, que é baseada em regressão linear. Observa-se que a função de distribuição cumulativa de uma distribuição Weibull pode ser expressa conforme a Equação 2:

$$1 - F(v) = \exp \left[ - \left( \frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (3)$$

Tomando o log natural em ambos os lados resulta na seguinte equação.

$$\ln(1 - F(v)) = - \left( \frac{v}{c} \right)^k \quad (4)$$

Este Método é uma abordagem analítica que usa a transformação logarítmica dupla de Weibull através da acumulada da função densidade de probabilidade. A probabilidade total é difícil de diferenciar, então simplifica-se tomando o logaritmo da expressão, pois o logaritmo é uma função monotônica crescente. Multiplicando os dois lados da equação por (-1) e depois aplicar, novamente, nos dois lados da equação, o log neperiano, matematicamente se obtêm:

$$\ln(-\ln(1 - F(v))) = k \ln v - k \ln c \quad (5)$$

Que pode ser reescrita como equação linear:

$$y = kx' + a \quad (6)$$

em que  $y = \ln(-\ln(1 - F(v)))$ ,  $x' = \ln v$  e  $a = -k \ln c$ . Assim, pode-se encontrar os coeficientes por meio de regressão linear.

A reta de regressão obtida através do Método dos Mínimos Quadrados  $\ln\{-\ln[1 - F(v)]\}$  versus  $\ln(v)$  fornece o declive  $a = k_{rl}$  e um intercepto  $a_0$  em  $y - k \ln(c)$ . O valor do parâmetro de escala "c" é determinado através da equação:



$$c = c_{rl} = e^{\frac{-a_0}{k_{rl}}} \quad (7)$$

### 3.5 Método da Máxima Verossimilhança (MLE)

O estimador de máxima verossimilhança (MLE) trata os parâmetros como valores desconhecidos e determina a densidade conjunta de todas as observações de um conjunto de dados, que são assumidos como independentes e identicamente distribuídos. Quando a função de verossimilhança é definida, o máximo dessa função é encontrado, e é necessário um notável número de interações através de Métodos numéricos (NIELSEN, 2011).

A função de verossimilhança para uma amostra derivada  $V_i = v_i$ , se torna:

$$L(c, k) = \frac{k}{c^k} \prod_{i=1}^n v_i^{k-1} \exp\left(-\frac{1}{c^k} v_i^k\right) \quad (8)$$

A função de log-verossimilhança negativa consiste em aplicar a função logaritmo, geralmente o logaritmo natural ou neperiano, e transformando o sinal. A probabilidade total também é difícil de diferenciar (assim como no Método Gráfico), então simplifica-se tomando o logaritmo da expressão, o que é muito útil, pois o logaritmo é uma função monotônica crescente. Logo, o log da função de verossimilhança para distribuição de Weibull, pode ser escrito como:

$$\ln L(c, k) = \ln \left[ k \frac{v_i^{k-1}}{c^k} \exp\left(-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k\right) \right] \quad (9)$$

Da propriedade matemática  $\log(z \cdot w) = \log z + \log w$ , temos:

$$\ln L(c, k) = \ln \left( k \frac{v_i^{k-1}}{c^k} \right) + \left( -\left(\frac{v_i}{c}\right)^k \right) \quad (10)$$

Após algumas operações matemáticas:

$$\ln L(c, k) = \ln k + (k - 1) \ln v_i - k \ln c - \left(\frac{v_i}{c}\right)^k \quad (11)$$

Lembrando que  $i = 1, \dots, n$ ; logo:

$$\ln L(c, k) = n \ln k - n k \ln c + (k - 1) \sum_{i=1}^n \ln v_i - c^{-k} \sum_{i=1}^n (v_i)^k \quad (12)$$

Para obter a estimativa de máxima verossimilhança (maximum likelihood estimates-MLE) deriva-se a função de verossimilhança, e iguala-se a zero, com relação ao parâmetro desejado. Derivando a Equação 5 com relação ao parâmetro de escala, obtém-se:

$$\frac{\partial(\ln L(0, c, k))}{\partial c} = \frac{-nk}{c} - kc^{-k-1} \sum_{i=1}^n (v_i)^k = 0 \quad (13)$$

$$c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (v_i)^k}{n} \right]^{1/k} = c_{mmv} \quad (14)$$

Em relação ao parâmetro de forma:

$$\frac{\partial(\ln L(0, c, k))}{\partial k} = \frac{n}{k} - n \ln c + \sum_{i=1}^n \ln v_i - \sum_{i=1}^n \left( \frac{v_i}{c} \right)^k \ln \left( \frac{v_i}{c} \right) = 0 \quad (15)$$

Substituindo a Equação 6 na Equação 7 resulta:

$$k = \left( \frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right)^{-1} = k_{mmv} \quad (16)$$

Os parâmetros de forma e de escala,  $k_{mmv}$  e  $c_{mmv}$ , respectivamente, são obtidos usando as equações, onde  $v_i$  é a velocidade do vento no tempo  $i$  e  $n$  é o número de elementos diferentes de zero.

### 3.6 Método dos Momentos (MM)

Para estimar os parâmetros de forma e escala com base nos Momentos, seja  $E(v)$  o primeiro momento centrado na origem e  $E(v^2)$  o segundo momento centrado na origem, conforme as equações abaixo:

$$E(v) = \int_0^{\infty} v f(v) dv = c \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k_{rl}} \right) \quad (17)$$

$$E(v^2) = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv = c^2 \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k_{rl}} \right) \quad (18)$$

Seja os dados de velocidade do vento ajustáveis a distribuição de Weibull, pode-se estimar a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ), pelas expressões:

$$\mu = c \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k_{rl}} \right) \quad (19)$$

$$\sigma^2 = c^2 \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k_{rl}} \right) - \mu^2 \quad (20)$$

Estimando  $\mu$  por  $\bar{x}$  e  $\sigma$  por  $S$ , aplicando o logaritmo nas equações acima, segue:

$$\ln \bar{x} = \ln c + \ln \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k_{rl}} \right) \quad (21)$$

$$\ln (S^2 + \bar{x}^2) = 2 \ln c + \ln \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k_{rl}} \right) \quad (22)$$

Usando álgebra, agora podemos eliminar  $c$  para obter:

$$2 \ln \bar{x} - 2 \ln \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k_{rl}} \right) = \ln (S^2 + \bar{x}^2) - \ln \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k_{rl}} \right) \quad (23)$$

A partir do qual segue:

$$\ln \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k_{rl}} \right) - 2 \ln \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k_{rl}} \right) - \ln (S^2 + \bar{x}^2) + 2 \ln \bar{x} = 0 \quad (24)$$

O valor de  $k_{mm}$  e  $c_{mm}$  são determinados por meio de uma resolução iterativa das expressões abaixo, respectivamente.

$$c_{mm} = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1 + \frac{1}{k_{mm}})} \quad (25)$$

$$f(k)_{mm} = \sigma^2 - \bar{v}^2 \left[ \frac{\Gamma(1 + \frac{2}{k_{rl}})}{\Gamma^2(1 + \frac{1}{k_{rl}})} - 1 \right] \quad (26)$$

Este Método é geralmente usado como uma alternativa do Método da Máxima Verossimilhança (MLE).

### 3.7 Método Empírico (ME)

Justus (1995) propôs o Método Empírico para encontrar os parâmetros da distribuição de Weibull se a velocidade média do vento  $v_m$  e o desvio padrão  $\sigma_v$  estão disponíveis, que constitui um caso particular do Método dos Momentos, em que o fator de forma  $k_{me}$  deve assumir valores entre um e dez (MANWELL ET AL., 2009). Conhecendo o valor de  $k_{me}$  pode-se estimar o parâmetro de escala  $c_{me}$ , conforme as seguintes expressões:

$$k_{me} = \left( \frac{\sigma_v}{v_m} \right)^{-1,086} \quad (27)$$

$$c_{me} = \frac{v_m}{\Gamma(1 + \frac{1}{k})} \quad (28)$$

### 3.8 Método Densidade de Potência (MDP)

Sugerido por Akdag e Dinler (2009) o Método Densidade de Potência foi proposto para estimar os parâmetros de forma e escala, a distribuição de Weibull, e é considerado simples e de fácil incorporação. O coeficiente  $k_{mdp}$ , pode ser determinado partindo da equação do  $c_{mdp}$  selecionando a  $\bar{v}$  e obtendo o fator padrão de energia  $Epf(\bar{v}^3)$ , logo:

$$c_{mdp} = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1 + 1/k)} \quad (29)$$

$$k_{mdp} = 1 + \frac{3,69}{Epf^2} \quad (30)$$

### 3.9 Parâmetros estatísticos empregados nas avaliações

Foram elaboradas rotinas computacionais em *Python* com a finalidade de aferir os coeficientes de forma e escala para aplicar a distribuição de Weibull, e observar qual dos Métodos analisados se ajusta melhor aos dados observados. As métricas estatísticas foram o Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Relativo Médio (ERM) e Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), quais sejam:

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |v_{reali} - v_{estimadoi}| \quad (31)$$

$$ERM = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|v_{reali} - v_{estimadoi}|}{v_{reali}}}{n} \quad (32)$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{reali} - v_{estimadoi})^2}{n}} \quad (33)$$

em que  $v_{reali}$  ( $m/s$ ) é a velocidade do vento média diária real do dia  $i$ ,  $v_{estimadoi}$  ( $m/s$ ) representa a velocidade do vento média do dia  $i$  do ano obtida por algum dos seis modelos incluídos na pesquisa,  $v_{realm}$  ( $m/s$ ) é a média anual da  $v_{reali}$  e  $n$  é igual ao número de instantes com dados no mês avaliado.

### 3.10 Densidade de Potência e Energia Eólica

A energia cinética contida no vento é diretamente proporcional à intensidade de sua velocidade, e pode ser transformada em energia elétrica através de turbinas eólicas pelo

Princípio da Conservação de Energia mecânica. A energia total disponível por unidade de tempo é proporcional à terceira potência da velocidade do vento (MANWELL et al., 2009).

A densidade de potência eólica, pode ser calculada conforme a seguinte expressão:

$$P = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (34)$$

em que  $k$  e  $c$  representam os parâmetros de forma e escala, respectivamente, e  $\rho$  é a massa específica do ar úmido. A densidade de energia (DE) eólica ( $\text{Jm}^{-2}$ ) pode ser calculada integrando-se a potência no tempo, conforme:

$$E = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k}\right) \cdot \Delta t \quad (35)$$

A densidade de potência (DP) eólica foi obtida tomando a densidade do ar local ( $\rho$ ) igual a  $1,225 \text{ kgm}^{-3}$  para a estimativa a 25 e 50 metros; já para os dados ambientais o seu valor foi calculado com base no cálculo da densidade do ar. Nesta pesquisa consideramos a densidade de potência média mensal (DPMM), densidade de energia média mensal (DEMM), densidade de potência média anual (DPMA) e a densidade de energia média anual (DEMA).

### 3.11 Densidade do ar

A densidade do ar mede o grau de concentração do fluído em determinado volume. Para os dados ambientais que dispunham das variáveis temperatura do ar, pressão atmosférica e umidade relativa à densidade, foi usada a equação:

$$\rho = \frac{P}{R_d T} \left(1 - \frac{0,378e}{P}\right) \quad (36)$$

em que a pressão atmosférica- $P$  é dada em pascal,  $R_d$  é a constante do ar seco ( $287,04 \text{ Jkg}^{-1}\text{k}^{-1}$ ), e a temperatura em Kelvin e a pressão de vapor  $e$ , foi calculada através da equação:

$$e = e_s \frac{U_r}{100} \quad (37)$$

em que  $U_r$  é a umidade relativa e a pressão de vapor de saturação do vapor d'água foi obtida por:

$$e_s = a. \exp\left(\frac{bT}{T + c}\right) \quad (38)$$

Neste caso a temperatura é dada em °C, as constantes utilizadas são sugeridas por Buck (1981) e para obter o resultado em Pascal, temos:  $a = 611,21$ ,  $b = 17,502$  e  $c = 240,97$  (HATFIELD E BACKER, 2005).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Distribuição de Weibull**

Neste estudo foi avaliado o desempenho de cinco métodos de estimativa dos parâmetros da distribuição de Weibull, que são usados para calcular a densidade de energia eólica em Petrolina-PE, Belo Jardim-PE, Triunfo-PE, São João do Cariri-PB, Natal-RN e São Luiz-MA, Brasil. Os valores de energia eólica calculados por todos os cinco foram comparados com aqueles computados usando dados medidos. Para avaliar a adequação dos métodos, várias análises estatísticas e comparações foram realizadas em bases instantânea e mensais e os principais resultados alcançados neste estudo foram apresentados a seguir.

### **4.2 Densidade de Potência e Energia em Petrolina-PE**

O histograma da velocidade do vento em Petrolina - PE para 2010 a 10 m, 25 m e 50 m é apresentado na Figura 2, em março e setembro, meses com menor e maior média da velocidade do vento e conseqüentemente menor e maior média do potencial eólico, respectivamente.

Observou-se que em março a maior concentração dos dados à 10 m indica valores abaixo de  $4 \text{ ms}^{-1}$ , enquanto em setembro na mesma altura, os valores estão centrados entre 2 e  $6 \text{ ms}^{-1}$  (distribuição maior). Em março, a 25 m, os valores estão centrados entre 2 e  $4 \text{ ms}^{-1}$ , em setembro entre 4 e  $6 \text{ ms}^{-1}$ , enquanto que em 50 metros a média da velocidade aumenta, e assim, os dados concentram-se entre 2 e  $6 \text{ ms}^{-1}$  em março e entre 5 e  $9 \text{ ms}^{-1}$  em setembro.



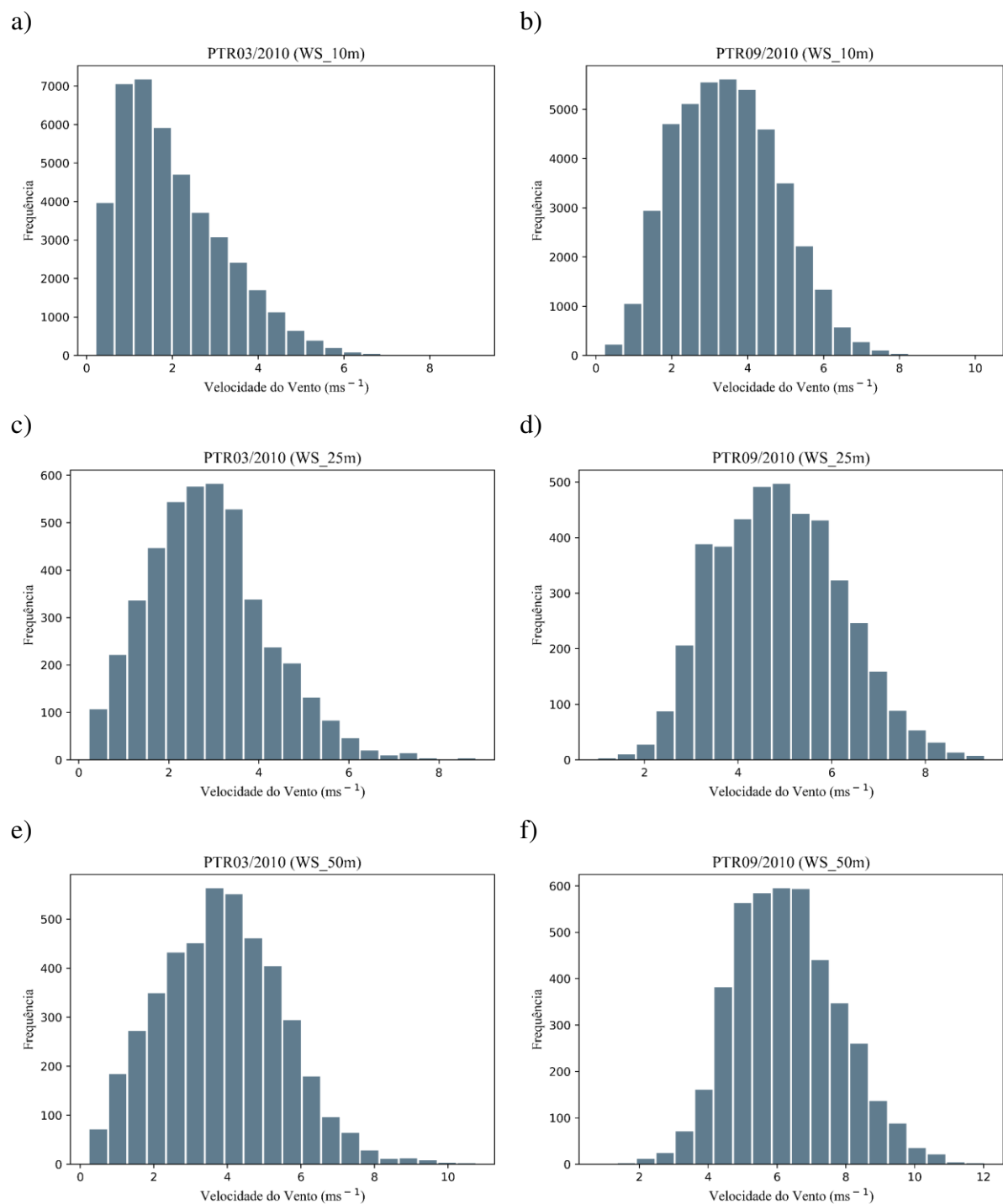


Figura 3 - Histograma da velocidade do vento em Petrolina - PE para 2010 a 10 m, 25 m e 50 m, em março e setembro.

Na Figura 3 foi representada a regressão linear do logaritmo natural da velocidade do vento com a dupla logarítmica da função de distribuição Kimball. Observou-se que há uma maior concordância entre os dados no mês de março e menor em setembro. Para baixas velocidades a 25 m e 50 m, o ajuste não foi tão preciso, e fica evidenciado que a Kimball se apresenta bem inferior a reta de regressão.

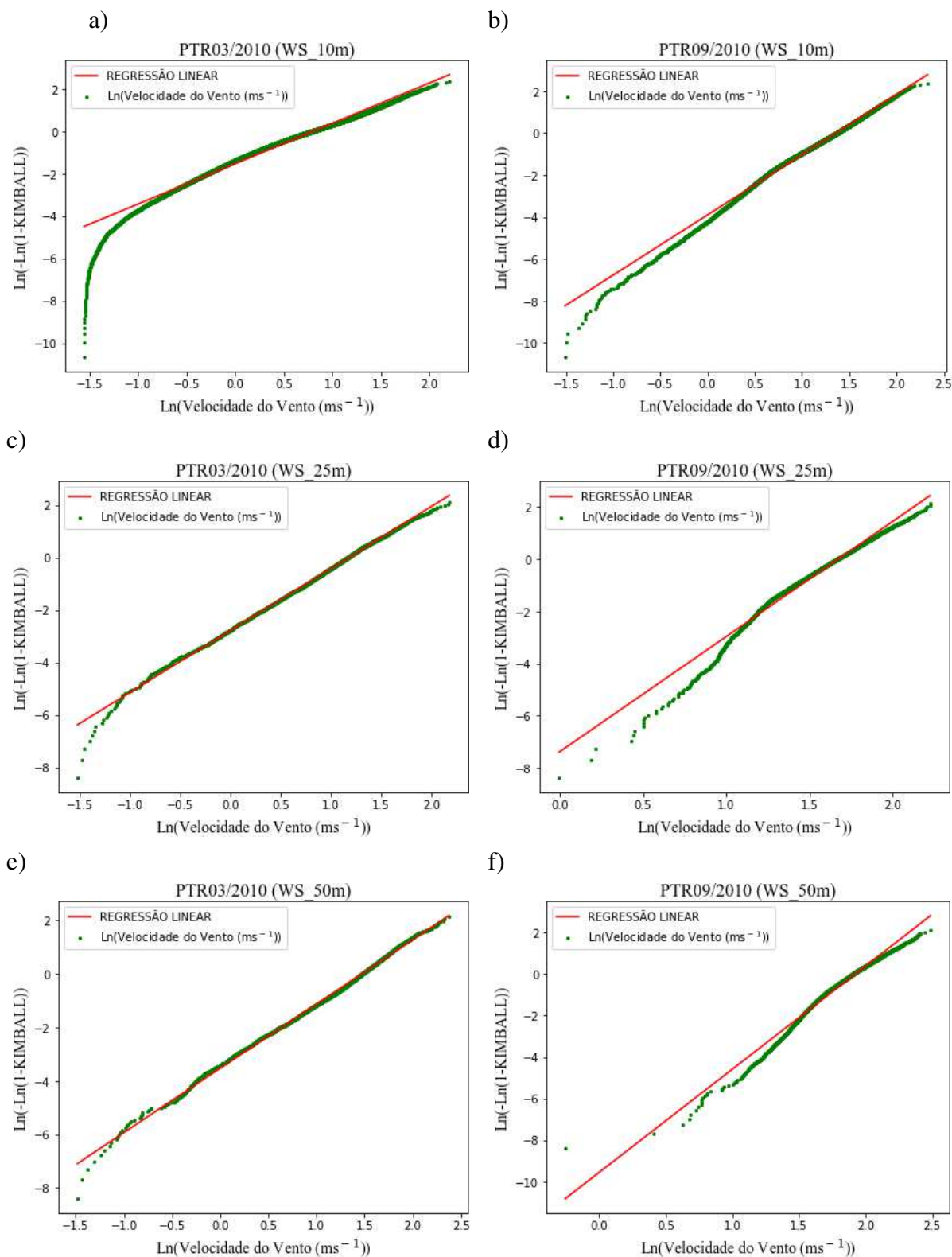


Figura 4 - Regressão linear a 10 m, 25 m e 50 m, em março e setembro (Petrolina - PE em 2010).

O ajuste da distribuição de Weibull para os Métodos MRL, MM, MLE, ME e MDP foi apresentado em forma da distribuição de frequência acumulada na Figura 4 para os meses de março (mês com velocidade média menor) e setembro (que apresenta segunda maior média e

maior discordância entre os Métodos e os dados medidos) a 10 m, 25 m, e 50 m. Os demais meses apresentaram comportamento semelhante de acordo com a média da velocidade.

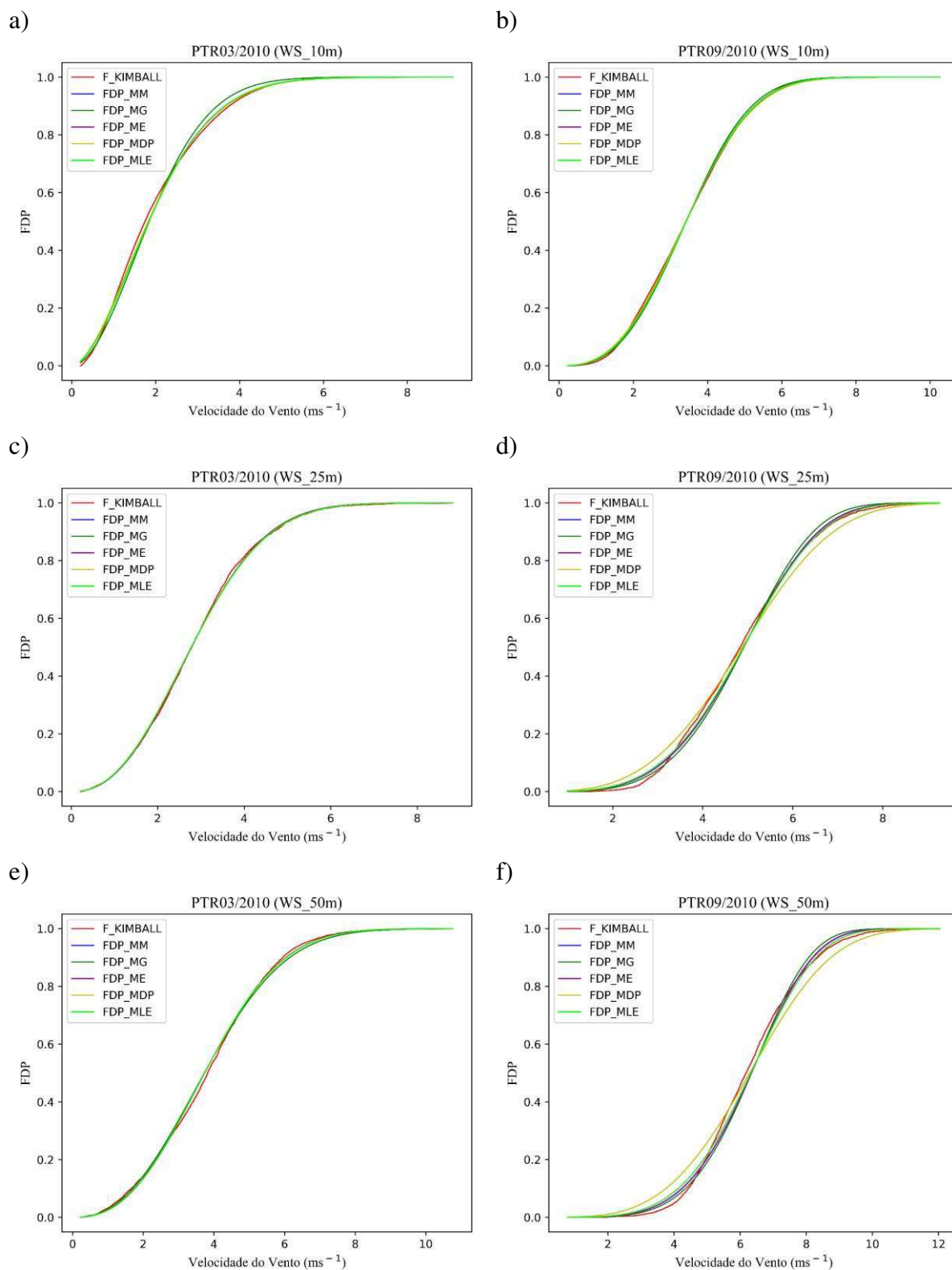


Figura 5 - Função de distribuição de probabilidade associada a cada Método empregado, mais a frequência de Kimball a 10 m, 25 m e 50 m, em março e setembro (Petrolina-2010).

A distribuição de Weibull, usando os coeficientes de forma e escala calculados por cada método, apresenta ajuste semelhante a 25 m (Figura 4, letras *a* e *c*), mas a 50 m o ajuste não é bem definido (Figura 4, letras *d* e *e*). Para o mês de setembro a representatividade não é tão significativa; observa-se que as curvas obtidas se afastam da curva gerada pelos dados medidos entre as velocidades, subestimando o valor entre 5 e 7  $\text{ms}^{-1}$  e superestimando entre 2 e 5  $\text{ms}^{-1}$  e acima de 7  $\text{ms}^{-1}$  (Figura 4, letra *e*).

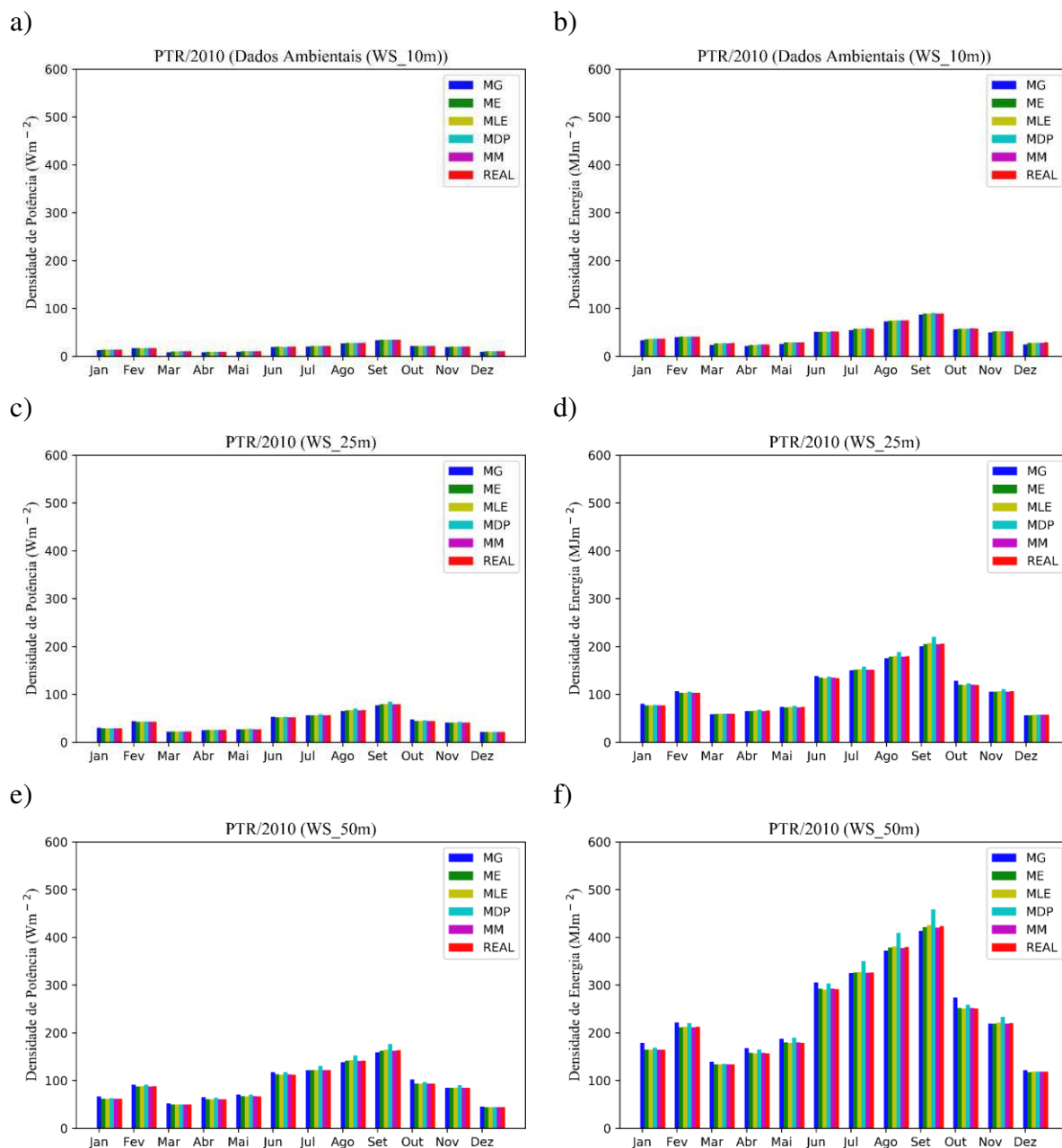


Figura 6 - Densidade de potência média mensal ( $\text{Wm}^{-2}$ ) e densidade de energia eólica média mensal ( $\text{MJm}^{-2}$ ) a 10 m, 25 m e 50 m (Petrolina –PB, em 2010).

Com base nos resultados representados na Figura 5 conclui-se que para o ano de 2010 os meses com maior potencial eólico associado à DP, a 10 m (letras *a* e *b*), são julho, agosto e setembro em Petrolina-PE, com densidade de potência média mensal-DPMM, respectivamente, iguais a  $21,673 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $27,825 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $34,441 \text{ Wm}^{-2}$  que resultam numa densidade de energia eólica de  $58,049 \text{ MJm}^{-2}$ ,  $74,527 \text{ MJm}^{-2}$ ,  $89,269 \text{ MJm}^{-2}$ , respectivamente. Os de menor potencial eólico foram os meses de março, abril e dezembro, com DPMM iguais a  $10,253 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $9,507 \text{ Wm}^{-2}$  e  $10,672 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente.

O MDP tem por base o cubo da velocidade média e a média da velocidade cúbica, em 50 metros a velocidade do vento, em geral, é alta e isso acarreta numa superestimação da velocidade do vento pelo modelo e por isso pode-se observar na Figura 5, letras *c*, *d* e *e* que o MDP sobressai os demais métodos.

O período com DPMM e DEMM máximos e mínimos em 25 m e 50 m correspondem aos mesmos meses que a 10 m. Em 25 m (Figura 5, letras *c* e *d*), os máximos da DP e DE são, respectivamente,  $56,747 \text{ Wm}^{-2}$  ( $166,242 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $66,965 \text{ Wm}^{-2}$  ( $196,174 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $79,551 \text{ Wm}^{-2}$  ( $225,527 \text{ MJm}^{-2}$ ), e os mínimos  $22,369 \text{ Wm}^{-2}$  ( $65,529 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $25,500 \text{ Wm}^{-2}$  ( $72,293 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $21,474 \text{ Wm}^{-2}$  ( $62,908 \text{ MJm}^{-2}$ ).

A 50 m (Figura 5, letras *e* e *f*) a DPMM e DEMM máximas são, em sequência,  $121,910 \text{ Wm}^{-2}$  ( $357,136 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $141,691 \text{ Wm}^{-2}$  ( $415,082 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $163,211 \text{ Wm}^{-2}$  ( $462,703 \text{ MJm}^{-2}$ ), e os mínimos  $49,954 \text{ Wm}^{-2}$  ( $146,340 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $60,680 \text{ Wm}^{-2}$  ( $172,026 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $44,171 \text{ Wm}^{-2}$  ( $129,39 \text{ MJm}^{-2}$ ). A DPMA (e a DEMA) estimadas para o ano de 2010 a 10 m, 25 m e 50 m foram, respectivamente,  $18,31 \text{ Wm}^{-2}$  ( $47,58 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $42,43 \text{ Wm}^{-2}$  ( $121,74 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $90,71 \text{ Wm}^{-2}$  ( $260,36 \text{ MJm}^{-2}$ ).

Tabela 6 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Petrolina-PE

PETROLINA-PE 2010											
Alt (m)	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$\uparrow DPMM$	$\uparrow DEMM$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Dens. ar	mês $\uparrow$	mês $\downarrow$
10	18,13	47,6	2,576	1,27	34,44	89,27	9,5	24,64	1,112	09	04
25	42,43	121,74	3,71	1,32	79,56	225,53	21,47	62,91	1,12	09	12
50	90,71	260,36	4,89	1,55	163,21	462,7	44,17	129,4	1,12	09	12

Nas Figura 6 e Figura 7 são apresentados os valores da Densidade de Potência Média Mensal (DPMM) de todos os meses e anos estudados a 10 m, em Petrolina-PE. Como pode ser observado, a maior potência eólica foi estimada para o ano de 2012, com média anual de 23,40

$\text{Wm}^{-2}$  e  $61,38 \text{ MJm}^{-2}$  de DE. Ademais, a DPMM nesse mesmo ano chegou a atingir, no mês de abril,  $15,02 \text{ Wm}^{-2}$ , e em outubro  $33,76 \text{ Wm}^{-2}$ , menor e maior valores registrados, respectivamente, para o referido ano.

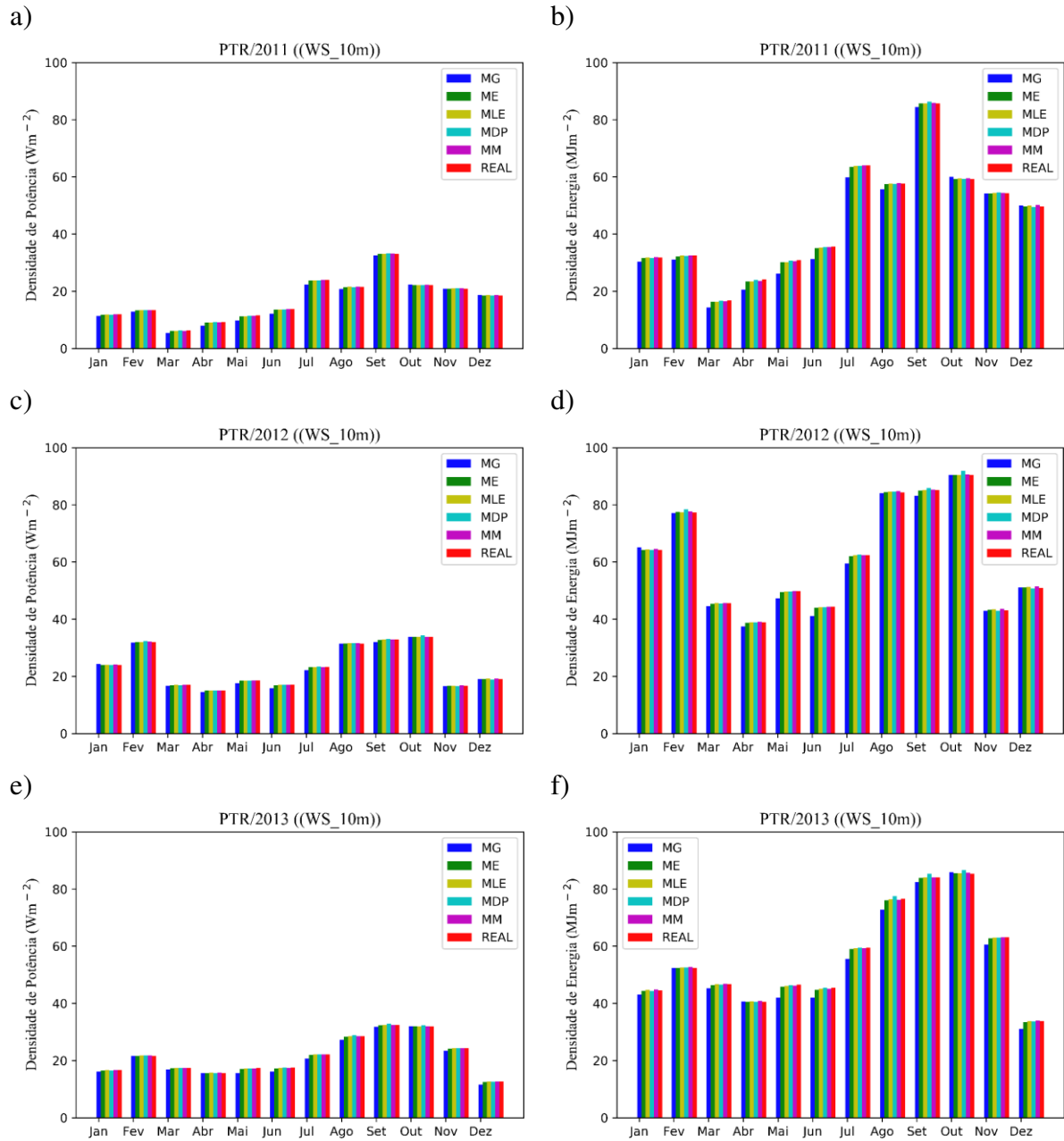


Figura 7 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m (Petrolina –PE em 2011, 2012 e 2013).

É importante destacar que o ano de 2012 foi um ano que apresentou Dipolo do Atlântico forte, e esse deve ser o principal fator da intensificação da velocidade do vento. Para a média anual, o menor valor da DPMA e da DEMA foi observado em 2011, com valores de  $17,18 \text{ Wm}^{-2}$  e  $45,18 \text{ MJm}^{-2}$ , fornecendo menor DPM (DEM) no mês de março ( $6,260 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $16,767 \text{ MJm}^{-2}$ ) e maior no mês de setembro ( $33,06 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $85,712 \text{ MJm}^{-2}$ ).

A diferença na DP, se comparados aos demais anos, fica ainda mais evidente quando analisou-se os meses iniciais do ano, quando os fenômenos se formam, tanto La Nina, quanto El Nino. A DPMA e a DEMA, respectivamente, estimadas para o ano de 2013 foram iguais a  $21,53 \text{ Wm}^{-2}$  e  $56,55 \text{ MJm}^{-2}$ ; a DPM e a DEM, por sua vez, apresentaram valores máximos e mínimos, respectivamente nos meses de setembro e dezembro ( $32,421 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $33,853 \text{ MJm}^{-2}$ ;  $12,639 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $84,035 \text{ MJm}^{-2}$ ).

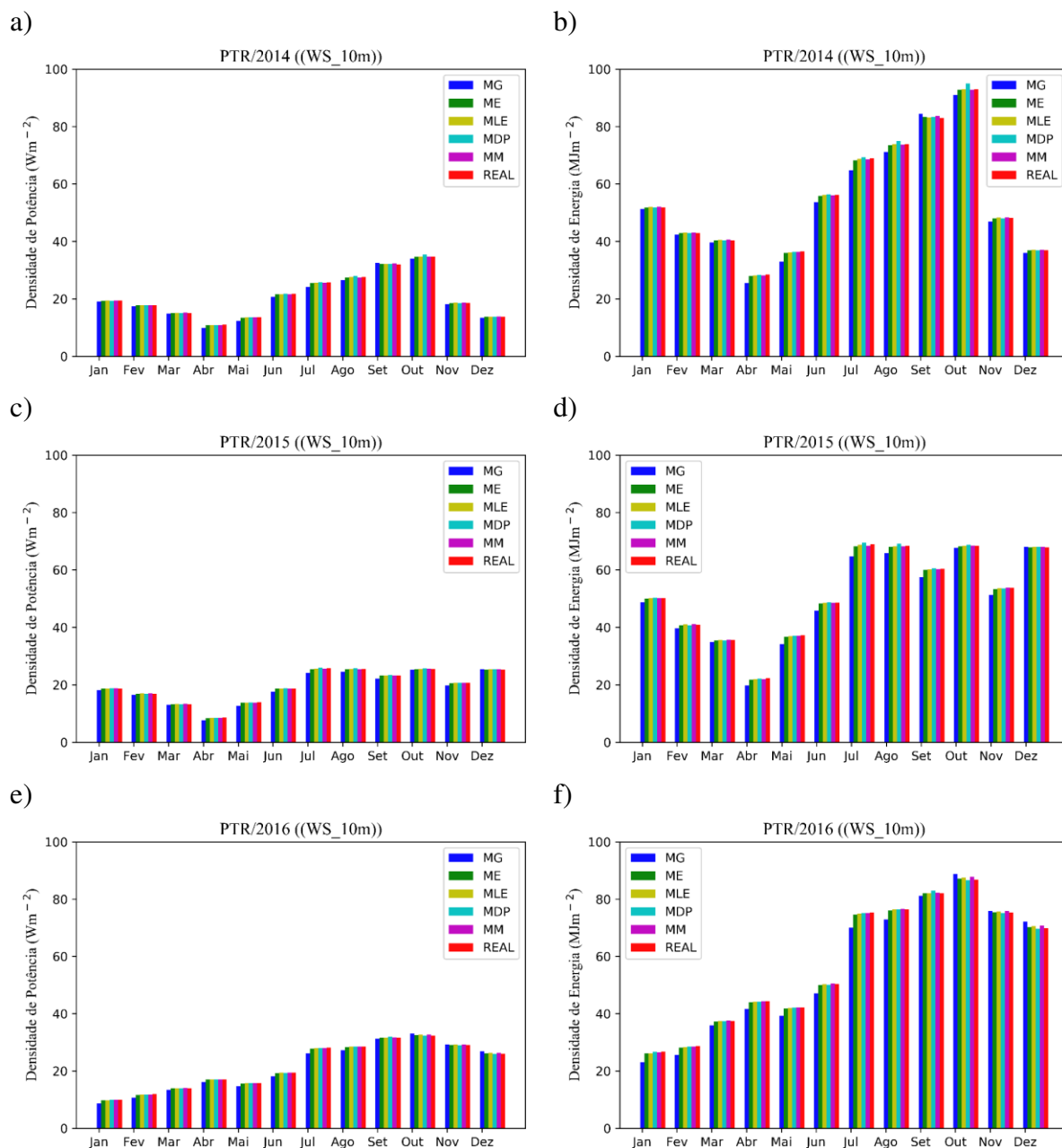


Figura 8 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m (Petrolina - PE em 2014, 2015 e 2016).

Com base nos resultados conclui-se que para o ano de 2014, Figura 7, os meses com maior potencial eólico associado à DP são agosto, setembro e outubro em Petrolina-PE, com

DPMM respectivamente iguais a  $27,586 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $31,981 \text{ Wm}^{-2}$  e  $34,701 \text{ Wm}^{-2}$ , que resultaram numa densidade de energia eólica de  $73,888 \text{ MJm}^{-2}$ ;  $82,894 \text{ MJm}^{-2}$ ;  $92,944 \text{ MJm}^{-2}$ . Os de menor DP (e DE) foram os meses de abril, maio e dezembro, respectivamente, com valores de  $10,972 \text{ Wm}^{-2}$  ( $28,441 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $13,665 \text{ Wm}^{-2}$  ( $36,968 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $13,802 \text{ Wm}^{-2}$  ( $73,888 \text{ MJm}^{-2}$ ), respectivamente.

Para os anos 2015 e 2016 o período em que ocorreu os máximos e mínimos de DP e DE diferenciou-se de 2014, sendo março ( $13,292 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $35,600 \text{ MJm}^{-2}$ ), abril ( $8,593 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $22,279 \text{ MJm}^{-2}$ ) e maio ( $13,922 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $37,287 \text{ MJm}^{-2}$ ) meses com menor potencial em 2015 e julho ( $25,740 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $68,942 \text{ MJm}^{-2}$ ), agosto ( $25,528 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $68,375 \text{ MJm}^{-2}$ ) e outubro ( $25,505 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $68,313 \text{ MJm}^{-2}$ ) os meses que apresentam maior potencial, ainda que esses valores sejam relativamente mais baixos do que os obtidos para os demais anos.

Já em 2016, o menor potencial relacionado a DP apresentou-se no primeiro trimestre, janeiro ( $9,995 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $26,769 \text{ MJm}^{-2}$ ), fevereiro ( $11,886 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $28,755 \text{ MJm}^{-2}$ ) e março ( $14,006 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $37,513 \text{ MJm}^{-2}$ ). Os maiores potenciais ocorreram nos meses de setembro ( $31,639 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $82,009 \text{ MJm}^{-2}$ ), outubro ( $32,400 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $86,780 \text{ MJm}^{-2}$ ) e novembro ( $26,059 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $69,796 \text{ MJm}^{-2}$ ). A DPMA e a DEMA estimadas para os anos de 2014, 2015 e 2016 foram respectivamente iguais a  $20,91 \text{ Wm}^{-2}$  ( $55,03 \text{ MJm}^{-2}$ );  $19,69 \text{ Wm}^{-2}$  ( $51,87 \text{ MJm}^{-2}$ );  $22,00 \text{ Wm}^{-2}$  ( $57,96 \text{ MJm}^{-2}$ ).

Para o período analisado (2010-2016), a DMP e a DME relativas aos dados ambientais, foi de  $20,41 \text{ Wm}^{-2}$  e  $53,65 \text{ MJm}^{-2}$ , conforme apresenta a Tabela abaixo, assim como os meses em que dispõe-se de maior e menor potencial eólico, a densidade do ar, velocidade e desvio padrão.

Tabela 7 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Petrolina-PE, 2011 a 2016, a 10 m.

PETROLINA-PE 10 m											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Den. ar	mês t	mês ↓
2011	17,18	45,18	2,53	1,24	33,07	85,72	6,26	16,77	1,113	09	03
2012	23,40	61,39	2,92	1,31	33,76	90,42	15,02	38,94	1,110	10	04
2013	21,53	56,55	2,83	1,28	32,42	84,03	12,64	33,85	1,110	09	12
2014	20,91	55,03	2,81	1,25	34,7	92,94	10,97	28,44	1,111	10	04
2015	19,69	51,87	2,75	1,25	25,74	68,94	8,59	28,28	1,108	07	04
2016	21,98	57,96	2,79	1,34	32,4	86,78	9,99	26,77	1,108	10	01



Para os dados ambientais o MG foi o que menos representou a DPM, apresentando os maiores erros (ERM = 0,0486 %), (EAM = 0,8053 m/s), (REQM = 0,9462 m/s), em todos os anos analisados, a 10 m. E o método que apresentou menores erros, foi o MLE (ERM = 0,0048 %), (EAM = 0,0726 m/s), (REQM = 0,1003 m/s) , seguido do MM (ERM = 0,0047 %), (EAM = 0,0873 m/s), (REQM = 0,1126 m/s), MDP (ERM = 0,0050), (EAM = 1,1151), (REQM = 0,1819) e ME (ERM = 0,0077), (EAM = 0,1227), (REQM = 0,1450), conforme Tabela abaixo.

Tabela 8 - Erro Relativo médio, Erro Absoluto Médio e Erro Quadrado Médio em Petrolina-PE, a 10 m, nos anos 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016.

Erros (Petrolina-PE, 10 m)									
	ERM	EAM	RMSE	ERM	EAM	RMSE	ERM	EAM	RMSE
	2011			2012			2013		
MDP	0,0045	0,0782	0,0964	0,0026	0,0539	0,0709	0,0028	0,0518	0,0640
MM	0,0061	0,0827	0,1004	0,0035	0,0715	0,0859	0,0041	0,0810	0,0941
MLE	0,0088	0,1014	0,1349	0,0041	0,0906	0,1125	0,0054	0,1414	0,2222
ME	0,0114	0,1360	0,1675	0,0053	0,1444	0,2171	0,0063	0,1222	0,1458
MG	0,0660	0,8414	1,0184	0,0240	0,4836	0,6494	0,0410	0,8037	0,9766
	2014			2015			2016		
MDP	0,0036	0,0601	0,0779	0,0037	0,0545	0,0683	0,0036	0,0805	0,1184
MM	0,0048	0,0958	0,1155	0,0043	0,0746	0,0908	0,0061	0,1141	0,1481
MLE	0,0065	0,1182	0,1396	0,0048	0,0984	0,1237	0,0053	0,1228	0,1741
ME	0,0060	0,1539	0,2594	0,0076	0,1269	0,1473	0,0084	0,1470	0,1655
MG	0,0404	0,7519	0,8629	0,0450	0,7913	0,9039	0,0562	1,0102	1,1126

Já para os dados anemométricos da velocidade do vento a 25 m e 50 m, em Petrolina-PE, para o ano de 2010, o MDP seguido do MG apresentaram os maiores erros ERM = 0,0373 %), EAM = 3,1789 m/s, REQM = 4,6999 m/s; ERM = 0,0330 %), EAM = 3,1789 m/s, REQM = 4,6999 m/s, respectivamente. E o potencial obtido usando o MLE destacou-se pelos baixos erros (ERM = 0,0019 %), EAM = 0,1478 m/s, REQM = 0,2567 m/s), seguido do MM e ME, respectivamente, ERM = 0,0041 %), EAM = 0,2727 m/s, REQM = 0,3521 m/s; ERM = 0,0041 %), EAM = 0,2306 m/s, REQM = 0,2829 m/s, conforme Tabela abaixo.

Tabela 9 - Erro Relativo médio, Erro Absoluto Médio e Erro Quadrado Médio em Petrolina-PE, em 2010, a 10 m, 25 m e 50 m.

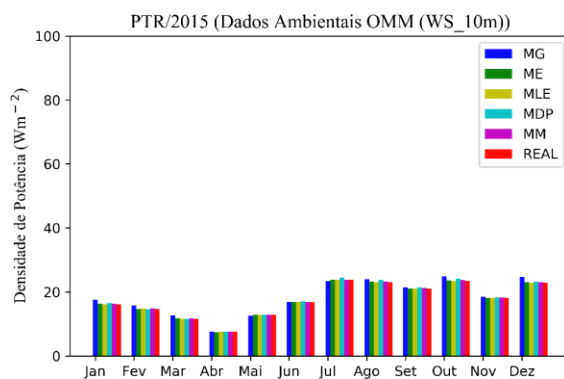
ERROS – Petrolina-PE (2010)									
	10 m			25 m			50 m		
	ERM	EAM	RMSE	ERM	EAM	RMSE	ERM	EAM	RMSE
MM	0,0043	0,0634	0,0728	0,0017	0,0718	0,1148	0,0020	0,2237	0,3444
MDP	0,0052	0,1086	0,1706	0,0046	0,1872	0,2216	0,0031	0,2863	0,3483
MLE	0,0063	0,0723	0,1022	0,0052	0,1749	0,1969	0,0035	0,3582	0,4459
ME	0,01	0,1368	0,1483	0,0229	1,0370	1,3707	0,0455	4,8664	6,3095
MG	0,0678	0,9549	1,0272	0,0290	1,4915	2,0903	0,0430	3,5050	4,1719

### 4.3 DP e DE com Dados Amostrados em Petrolina-PE

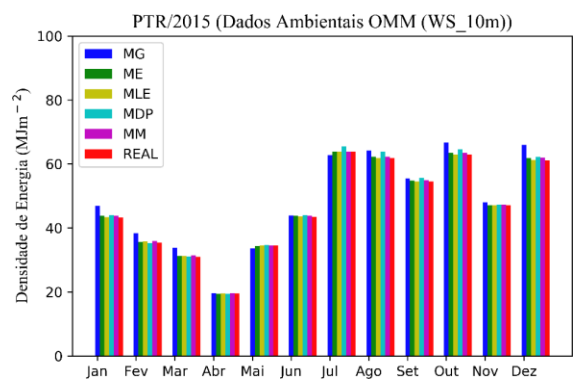
Considerando erros relativos percentuais menores que 5 como ótimo, entre 5 e 10, sendo bom, entre 10 e 20 como regular, e maiores que 20 como ruim, as amostragens a 10 min e padrão OMM apresentaram erros de bons a regulares, e para média horária os erros foram mais regulares, apresentando consideráveis valores ruins. Como fica evidenciado, o melhor desempenho foi obtido usando dados calculados segundo as normas da OMM, seguido da média a cada 10 minutos.

Na Figura 8 estão representados os resultados do cálculo da potência e da energia obtidos com os valores amostrados, ou seja, a média da velocidade no tempo apresentado usando por base os dados ambientais da velocidade do vento, valores a cada minuto.

a)



b)



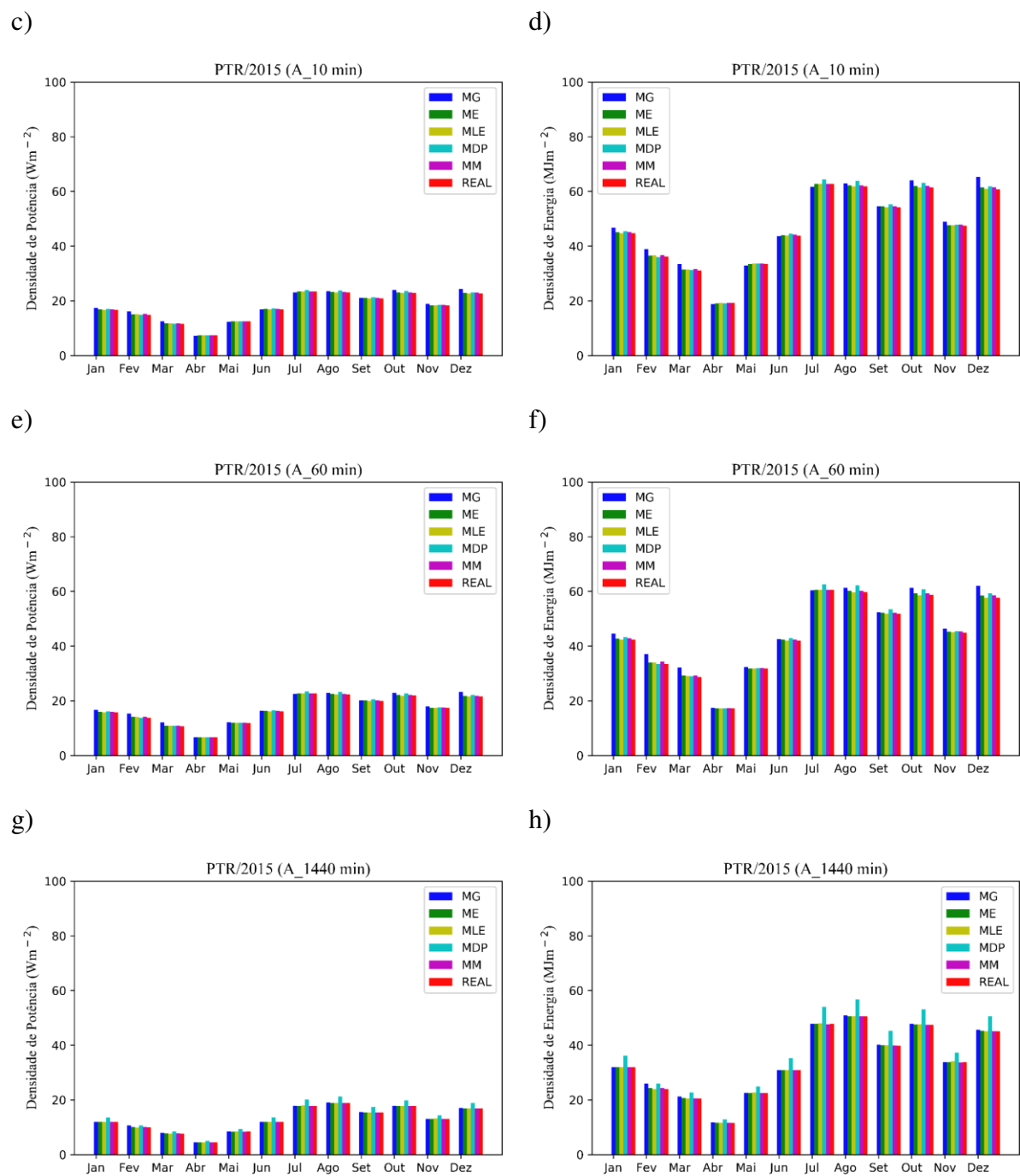


Figura 9 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m para dados amostrados a 10 min, padrão OMM, 1 hora e diária (Petrolina – PE em 2015).

Foram apresentadas na Figura 9 métricas estatísticas considerando a base de dados de velocidade do vento ambientais da rede SONDA como mais precisa para estimativa do cálculo da Densidade de Potência e Densidade de Energia. Em relação aos resultados obtidos e representados na Figura 9 quando feito uso de amostragens, e assim é possível destacar que o menor erro relativo percentual (1,25 %) foi obtido usando o Método Gráfico com dados no

padrão da OMM, e o maior erro (47,78 %) usando os dados observados da velocidade do vento para amostragem de 24 horas, um valor por dia. Para ambos os Métodos os piores resultados, maiores erros, foram observados usando a amostragem diária, e o Método Gráfico se destacou por ser o único a apresentar valores ótimos, ou seja, erros abaixo de 5 %.

Tabela 10 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Petrolina-PE, dados amostrados conforme OMM, a 10 min, 1 hora e um dia.

PETROLINA-PE 10 m 2015											
	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Den.	mês t	mês ↓
OMM	17,66	46,54	2,74	1,107	23,85	63,88	7,525	19,5	1,108	07	04
10 M	17,63	46,43	2,74	1,109	23,44	62,76	7,41	19,2	1,108	07	04
1 H	16,73	44,08	2,72	1,05	22,63	60,61	6,62	17,16	1,108	07	04
1 D	12,83	33,83	2,72	0,49	18,84	50,46	4,49	11,64	1,108	07	04

Chama-se atenção especial para os erros cometidos ao se estimar a densidade de potência eólica com base nas velocidades do vento obtidas com intervalo de medição superior a 10 min, ainda muito em uso no Brasil e no mundo, e por essa razão dever-se-ia usar o intervalo de medição de 1 minuto nas programações dos anemômetros.

Destaca-se a DPMA com dados amostrados em 10 minutos (6 valores por hora) o erro relativo é inferior as demais amostragens (OMM, horário e diário). Destaca-se a estimativa usado o Método Gráfico que apresenta valores inferiores a 5% de erro.

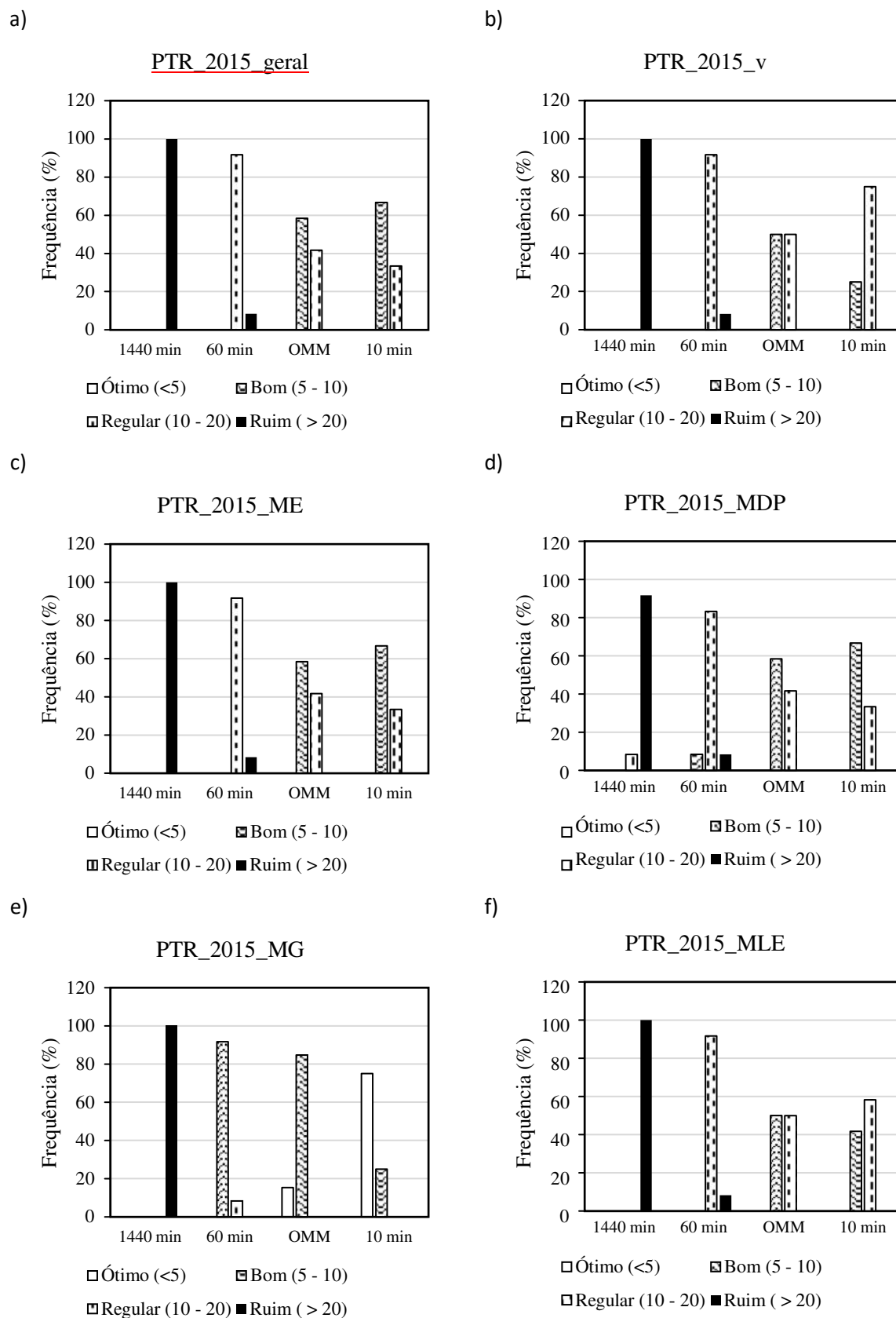


Figura 10 - Erro relativo médio percentual da densidade de potência estimada a 10 m para dados amostrados a 10 min, padrão OMM, 1 hora e diária (Petrolina – PE em 2015).

#### 4.4 Densidade de Potência e Energia em Natal-RN

Na Figura 10 estão representados os resultados de Densidade de Potência e Densidade de Energia para a estação de Natal-RN, nos anos de 2010 e 2011. A densidade potência média anual foi de  $70,885 \text{ Wm}^{-2}$  em 2010 e  $63,077 \text{ Wm}^{-2}$  em 2011.

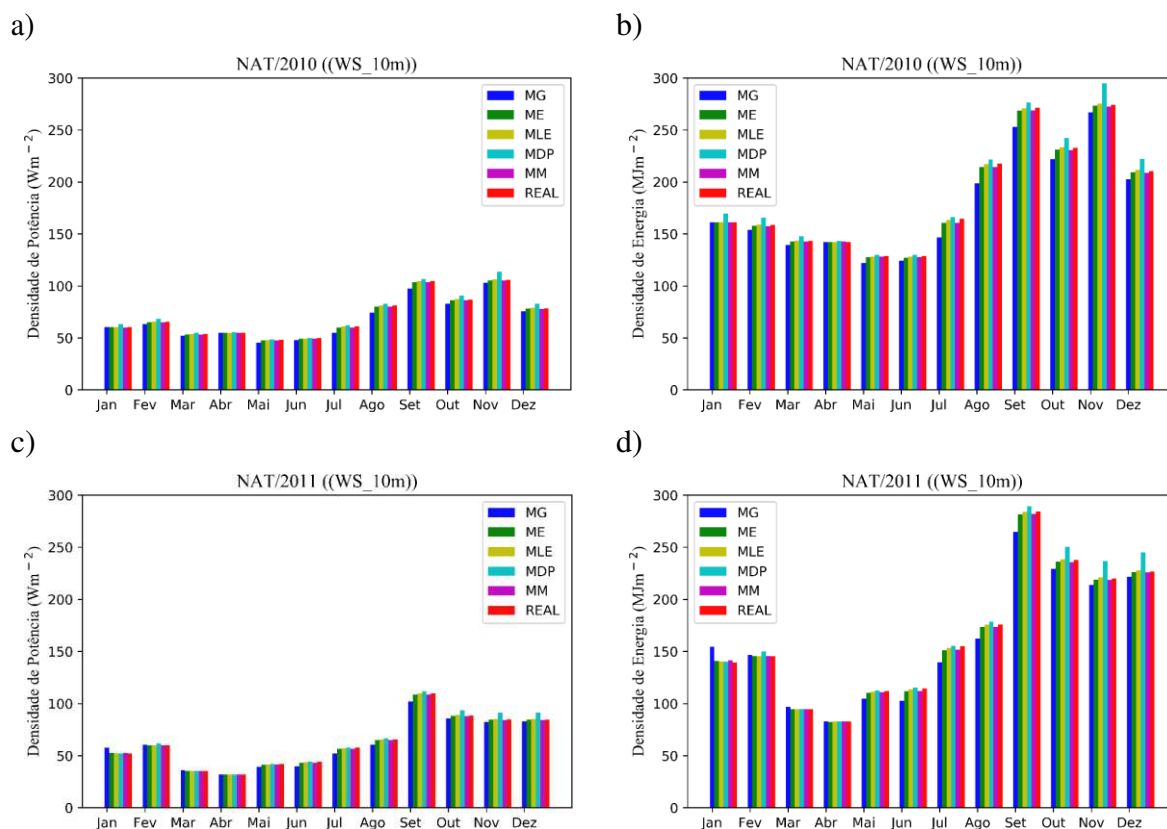


Figura 11 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m em Natal-RN (2010 e 2011).

Na tabela abaixo são apresentados os valores da Densidade de Potência Média Anual (DPMA) em  $\text{Wm}^{-2}$ , Densidade de Energia Média Anual (DEMA) em  $\text{MJm}^{-2}$ , velocidade ( $v$ ) em  $\text{ms}^{-1}$ , desvio padrão ( $dp$ ) em  $\text{ms}^{-1}$ , Maior ( $t_{DPMM}$ ) e Menor ( $\downarrow DPMM$ ) Densidade de Potência Média Mensal em  $\text{Wm}^{-2}$ , Maior ( $t_{DEMM}$ ) e Menor ( $\downarrow DEMM$ ) Densidade de Energia Média Mensal em  $\text{MJm}^{-2}$ , Densidade do ar em  $\text{kgm}^{-3}$ , mês com maior ( $mês\ t$ ) e menor ( $mês\ \downarrow$ ) densidade de potência e energia.

Tabela 11 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Natal-RN

ANÁLISE DETALHADA A 10 m – NATAL											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	$mês\ t$	$mês\ \downarrow$
2010	70,885	186,176	4,43	1,54	105,806	274,248	48,012	128,595	1,15	11	05
2011	63,077	165,7	4,178	1,523	109,7	284,306	31,87	82,61	1,16	09	04

O MLE foi o método que apresentou os menores erros, (ERM = 0,0036 %), (EAM = 0,2349 m/s), (REQM = 0,2948 m/s), portanto melhor representou a Densidade de Potência local, seguido do ME (ERM = 0,0090 %), (EAM = 0,5811 m/s), (REQM = 0,7350 m/s) e do MM (ERM = 0,0091 %), (EAM = 0,6005 m/s), (REQM = 0,7079 m/s), o MG foi o que menos representou a DPMM, apresentando os maiores erros (ERM = 0,0488 %), (EAM = 3,2884 m/s), (REQM = 4,0307 m/s), e o MDP é o seguinte apresentando erros (ERM = 0,0281 %), (EAM = 2,2111 m/s), (REQM = 3,1805 m/s).

Tabela 12 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em Natal-RN

ERROS – NAT (2010, 2011) a 10 m			
	ERM	EAM	RMSE
MLE	0,0036	0,2349	0,2948
ME	0,0090	0,5811	0,7350
MM	0,0091	0,6005	0,7079
MDP	0,0281	2,2111	3,1805
MG	0,0488	3,2884	4,0307

#### 4.5 Densidade de Potência e Energia em São Luiz-MA

A Figura 11 apresenta os resultados de Densidade de Potência e Densidade de Energia em São Luiz-MA, 2016. A densidade potência média anual foi de  $28,002 \text{ Wm}^{-2}$ , corresponde a menos de 50% do valor estimado para Natal-RN.

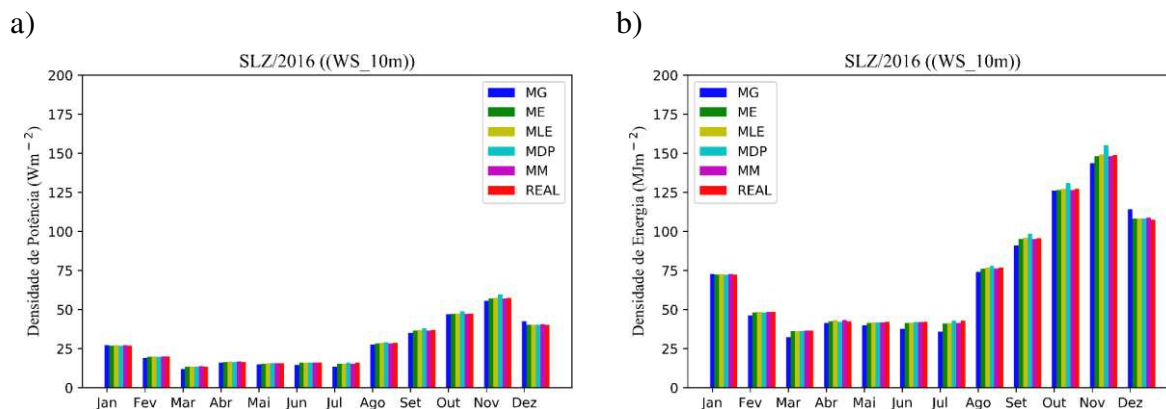


Figura 12 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 10 m em São Luiz-MA (2016).

O método que apresentou os menores erros foi o MLE, (ERM = 0,0087 %), (EAM = 0,1663 m/s), (REQM = 0,2333 m/s), portanto melhor representou a Densidade de Potência local, seguido do MM (ERM = 0,0100 %), (EAM = 0,2431 m/s), (REQM = 0,2926 m/s) e do ME (ERM = 0,0117 %), (EAM = 0,2539 m/s), (REQM = 0,3038 m/s), o MG foi o que menos representou a DPMM, apresentando os maiores erros (ERM = 0,0575 %), (EAM = 1,3066 m/s), (REQM = 1,5306 m/s), e o MDP é o seguinte apresentando erros (ERM = 0,0575 %), (EAM = 1,3066 m/s), (REQM = 1,5306 m/s).

Tabela 13 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em São Luiz-MA

ANÁLISE DETALHADA A 10 m – SLZ											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t DPMM$	$t DEMM$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	mês t	mês ↓
2016	28,002	73,652	2,913	1,302	57,449	148,907	13,640	36,534	1,26	11	03

Tabela 14 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em São Luiz-MA

ERROS – SLZ (2016) a 10 m			
	ERM	EAM	RMSE
MLE	0,0087	0,1663	0,2333
MM	0,0100	0,2431	0,2926
ME	0,0117	0,2539	0,3038
MDP	0,0120	0,4900	0,8631
MG	0,0575	1,3066	1,5306

#### 4.6 Densidade de Potência e Energia em São João do Cariri-PB

A Figura 12 apresenta uma síntese dos resultados de Densidade de Potência e Densidade de Energia para a estação de São João do Cariri-PB no ano de 2006 e a Figura 13 para o ano de 2007 e Figura 14 para o ano de 2008. Alguns destaques são apresentados na Tabela abaixo.

Como não havia dados suficientes para estimativa da densidade do ar, esta foi fixada em  $1,12 \text{ kg m}^{-3}$ . Os meses de maior e menor potencial foram 10/11 e 03/04, respectivamente, e a maior DPMA foi obtida em 2007 a 50 metros de altura ( $152,577 \text{ W m}^{-2}$ ). A DPMA em São João do Cariri é maior do que em São Luiz-MA, e em Natal-RN para os anos analisados sexta pesquisa.



Tabela 15 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em São João do Cariri-PB

ANÁLISE DETALHADA A 25 m – SCR											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	mês t	mês ↓
2006	89,844	236,429	4,614	1,919	136,026	352,579	39,337	101,962	1,12	11	04
2007	109,611	288,550	5,036	1,973	165,522	429,034	60,257	161,391	1,12	11	03
2008	91,478	240,298	4,588	1,918	164,710	441,160	29,286	75,909	1,12	10	04
ANÁLISE DETALHADA A 50 m – SCR											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	mês t	mês ↓
2006	130,108	342,398	5,310	2,064	190,570	493,958	58,205	150,866	1,12	11	04
2007	152,577	401,654	5,709	2,081	225,160	583,615	88,357	236,655	1,12	11	03
2008	129,768	340,911	5,249	2,048	230,685	617,867	44,057	114,196	1,12	10	04

O método que apresentou os menores erros foi o MLE, (ERM = 0,0035 %), (EAM = 0,8808 m/s), (REQM = 0,3957 m/s), portanto melhor representou a Densidade de Potência local, seguido do ME (ERM = 0,0061 %), (EAM = 0,6347 m/s), (REQM = 0,8566 m/s) e do MM (ERM = 0,0072 %), (EAM = 2,1576 m/s), (REQM = 0,9397 m/s), o MG foi o que menos representou a DPMM, apresentando os maiores erros (ERM = 0,0388 %), (EAM = 3,9430 m/s), (REQM = 5,5288 m/s), e o MDP é o seguinte apresentando erros (ERM = 0,0227 %), (EAM = 3,2124 m/s), (REQM = 4,8183 m/s).

Tabela 16 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em São João do Cariri-PB

ERROS – SCR (2006-2008) a 25 m e 50 m			
	ERM	EAM	RMSE
MLE	0,0035	0,8808	0,3957
ME	0,0061	0,6347	0,8566
MM	0,0072	2,1576	0,9397
MDP	0,0227	3,2124	4,8183
MG	0,0388	3,9430	5,5288

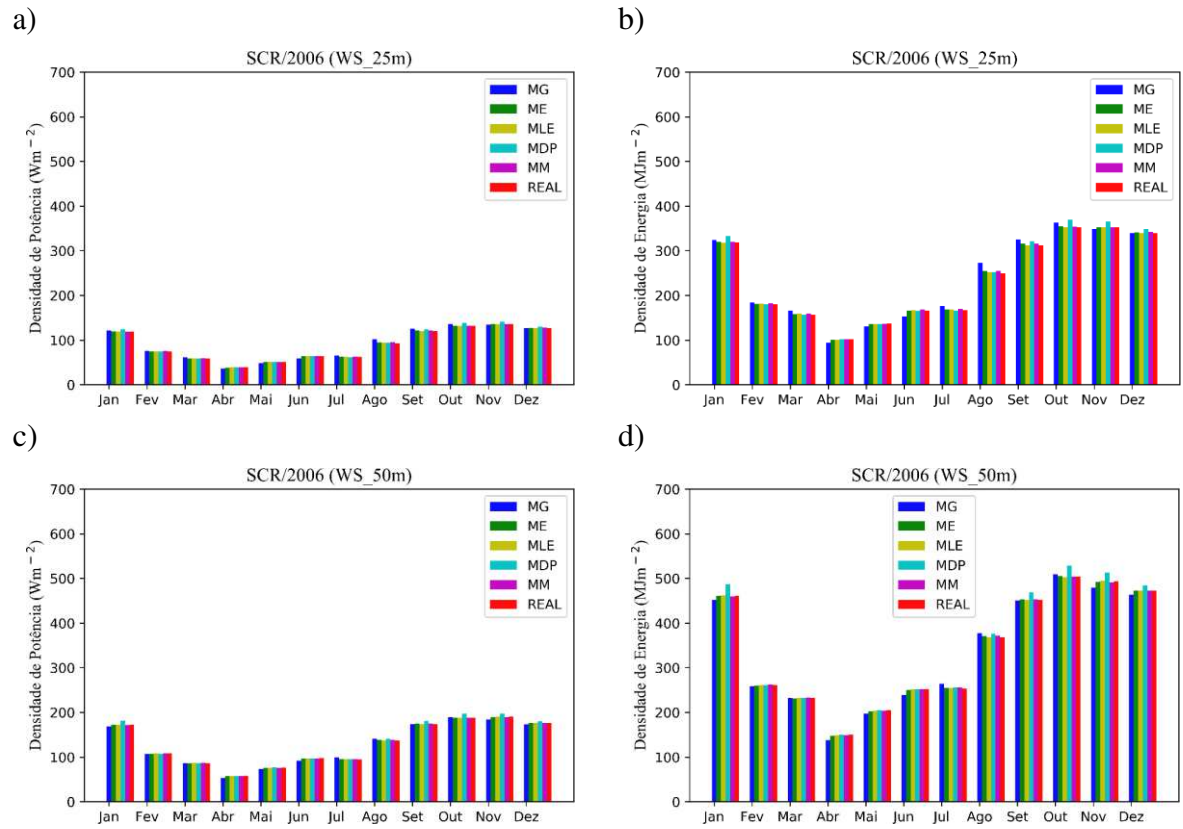
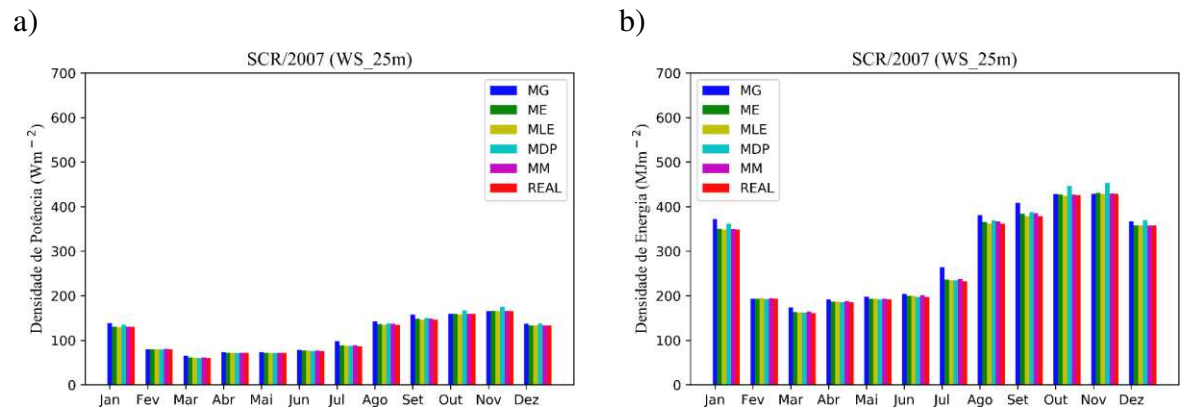


Figura 13 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em São João do Cariri-PB, em 2006.



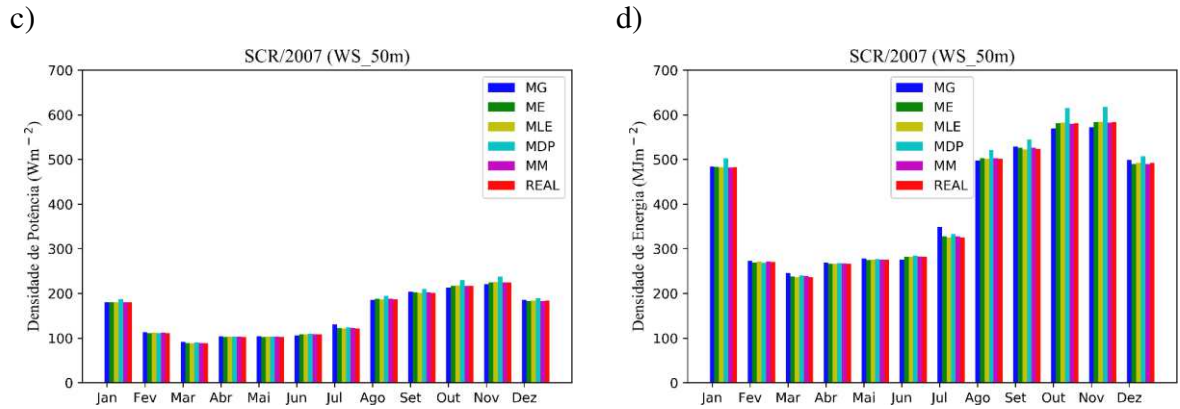


Figura 14 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em São João do Cariri-PB, em 2007.

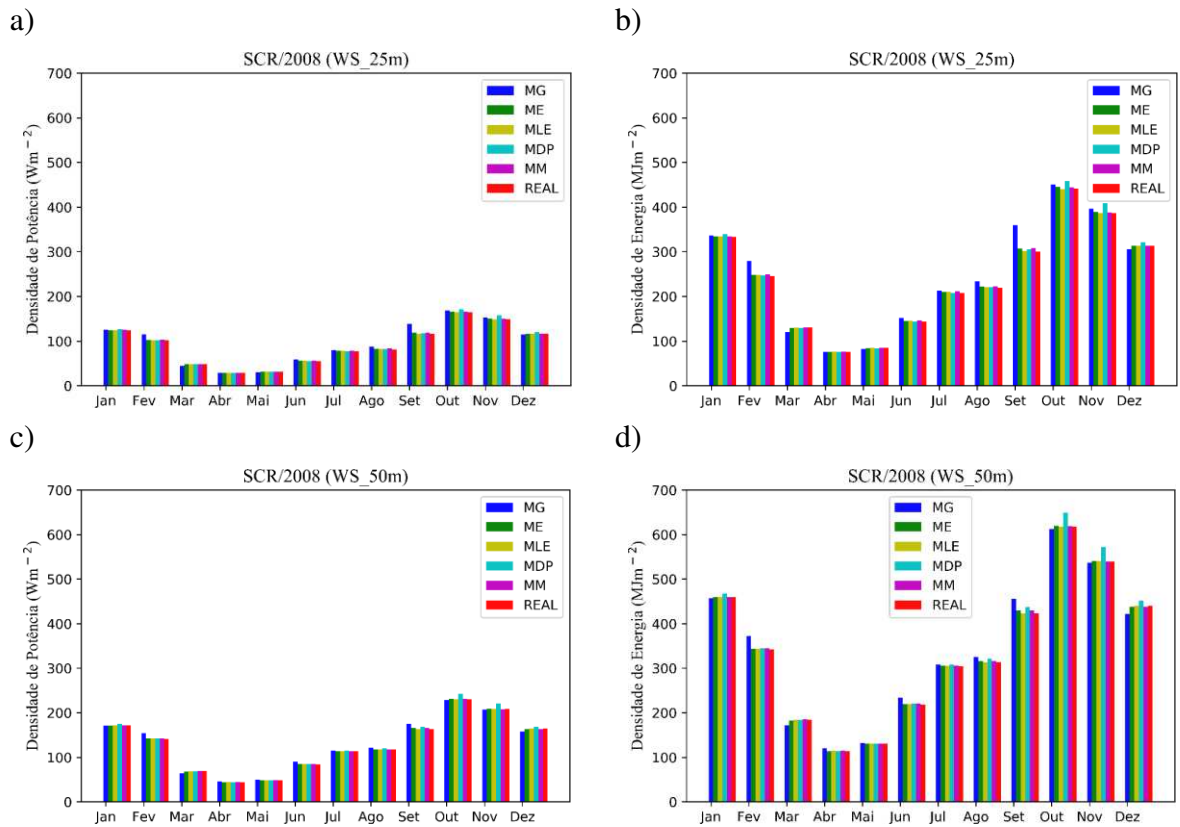


Figura 15 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em São João do Cariri-PB, em 2008.

#### 4.7 Densidade de Potência e Energia em Belo Jardim-PE

A Figura 15 apresenta os resultados de Densidade de Potência e Densidade de Energia para a estação de Belo Jardim-PE para os meses de julho a dezembro de 2004 e janeiro a junho

de 2005, a 25 m e 50 m. A DPMA a 25 e 50 metros supera Natal-RN e São Luiz-MA, sendo o mês de novembro que apresenta maior potencial.

Tabela 17 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Belo Jardim-PE

ANÁLISE DETALHADA A 25 m - BJD											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	mês t	mês ↓
2004	95,339	250,069	4,86	1,821	147,644	382,694	57,748	149,683	1,12	11	06
ANÁLISE DETALHADA A 50 m - BJD											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t_{DPMM}$	$t_{DEMM}$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	mês t	mês ↓
2004	103,330	270,948	5,03	1,826	153,982	399,121	67,281	180,206	1,12	11	05

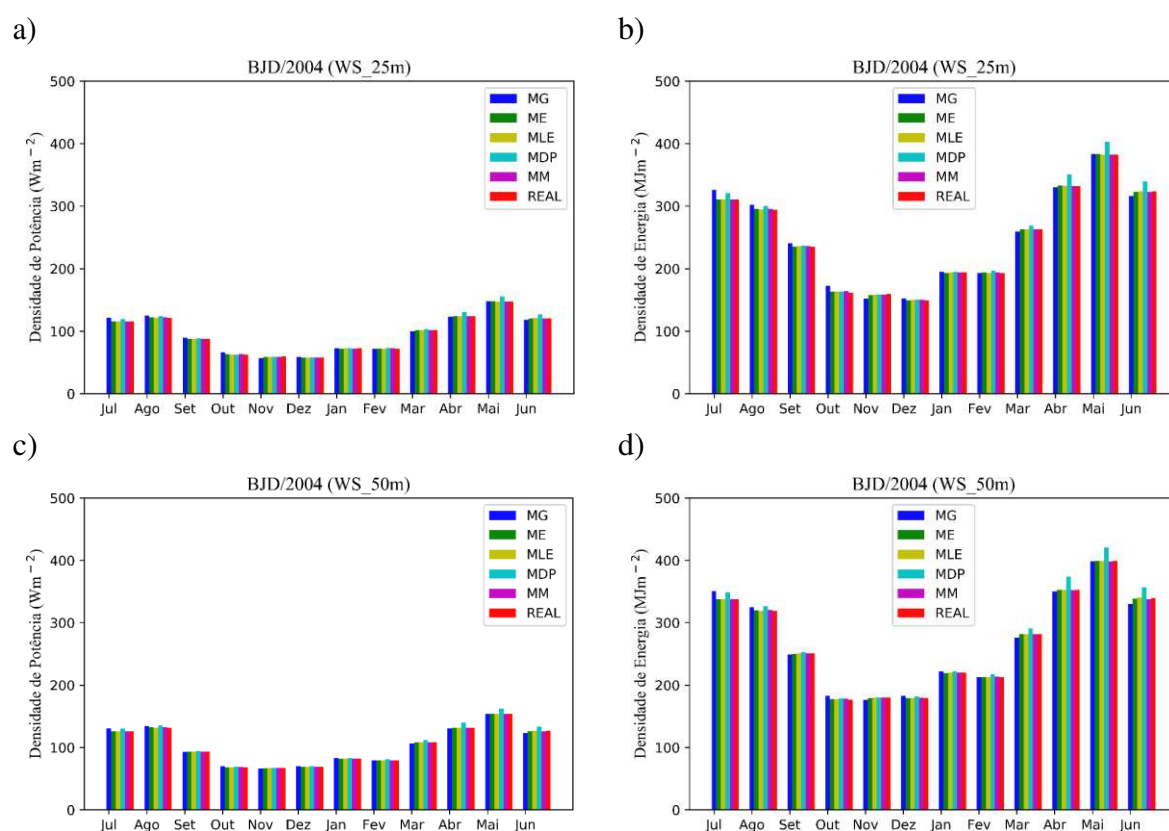


Figura 16 - Densidade de potência e densidade de energia eólica a 25 m e 50 m em Belo Jardim-PE, no período de julho a dezembro de 2004 e janeiro a agosto de 2005.

Assim como nas demais estações o MLE foi o método que apresentou os menores erros (ERM = 0,0012 %), (EAM = 0,0991 m/s), (REQM = 0,1379 m/s), portanto melhor representou a Densidade de Potência local, seguido do ME (ERM = 0,0030 %), (EAM = 0,2549 m/s), (REQM = 0,3230 m/s) e do MM (ERM = 0,0029 %), (EAM = 2,2593 m/s), (REQM = 0,3350 m/s).

Tabela 18 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em Belo Jardim-PE

ERROS – BJD (2004/2005), a 25 m e 50 m			
	ERM	EAM	RMSE
MLE	0,0012	0,0991	0,1379
ME	0,0030	0,2549	0,3230
MM	0,0029	0,2593	0,3350
MG	0,0200	1,8725	2,4212
MDP	0,0245	2,9294	4,0477

Já para essa estação o MDP foi o que menos representou a DPMM, apresentando os maiores erros (ERM = 0,0245 %), (EAM = 2,9294 m/s), (REQM = 4,0477 m/s), seguido do MG apresentando erros (ERM = 0,0200 %), (EAM = 1,8725 m/s), (REQM = 2,4212 m/s).

#### 4.8 Densidade de Potência e Energia em Triunfo-PE

A Figura 15 apresenta os resultados de Densidade de Potência e Densidade de Energia para a estação de Triunfo-PE para o ano de 2006 a 50 m.

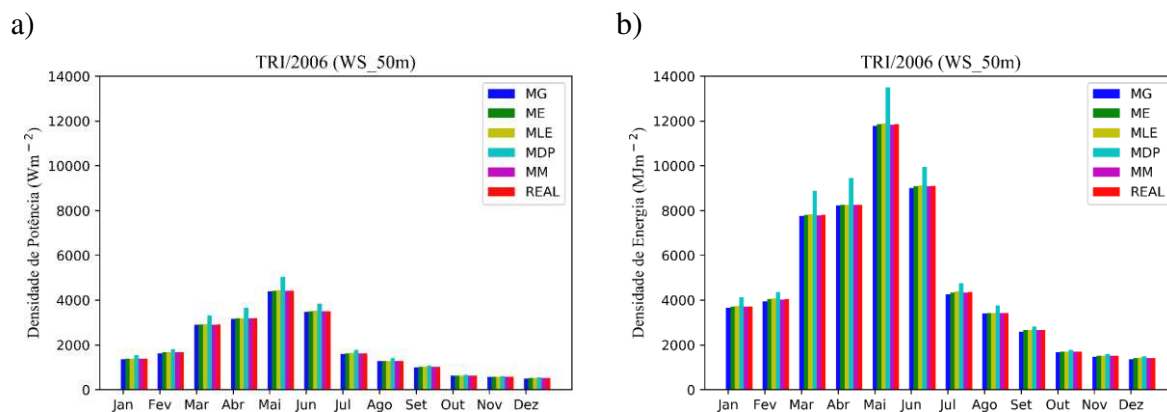


Figura 17 - Densidade de potência e densidade de energia eólica 50 m em Triunfo-PE, em 2006

Esta foi a estação que apresentou maior DPMA e DPMM, e contrário as demais estações o mês que apresenta maior DPMM está no primeiro semestre do ano e o de menor DPMM do segundo.

Tabela 19 - Densidade da Potência e da Energia Eólica em Triunfo-PE

ANÁLISE DETALHADA A 50 m – TRI											
ANO	DPMA	DEMA	$v$	$dp$	$t DPMM$	$t DEMM$	$\downarrow DPMM$	$\downarrow DEMM$	Densidade do ar	mês t	mês ↓
2006	1899,45	4991,47	13,654	2,91	4428,06	11860,12	531,481	1423,52	1,12	05	12

O ME foi o método que apresentou os menores erros (ERM = 0,0024 %), (EAM = 3,3612 m/s), (REQM = 4,1383 m/s), portanto melhor representou a Densidade de Potência local, seguido do MLE (ERM = 0,0028 %), (EAM = 4,8406 m/s), (REQM = 6,0953 m/s) e do MM (ERM = 0,0037 %), (EAM = 5,6742 m/s), (REQM = 6,5923 m/s). E a menor representatividade foi obtida pelo MDP apresentando os maiores erros (ERM = 0,0921 %), (EAM = 208,5226 m/s), (REQM = 279,2099 m/s), seguido do MG apresentando erros (ERM = 0,0175 %), (EAM = 23,5884 m/s), (REQM = 26,7459 m/s).

Tabela 20 - Erro Absoluto Médio, Erro Relativo Médio e Raíz do Erro Quadrático Médio em Triunfo-PE

ERROS – TRI (2006) a 50 m			
	ERM	EAM	RMSE
ME	0,0024	3,3612	4,1383
MLE	0,0028	4,8406	6,0953
MM	0,0037	5,6742	6,5923
MG	0,0175	23,5884	26,7459
MDP	0,0921	208,5226	279,2099

A DP e a DE são bem maiores em Triunfo do que nas demais localidades estudadas, estes valores podem ser devido à altitude da cidade que é de 1123 metros.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma análise detalhada das características da velocidade do vento e do potencial de energia eólica em Petrolina - PE, São João do Cariri-PB, Triunfo-PE, Natal-RN, Belo Jardim-PE e São Luiz-MA, Brasil. Pode-se sugerir que os métodos empregados na pesquisa apresentaram boa concordância com os dados medidos em ambas as alturas e entre si e que a Distribuição de Weibull se adequa bem aos dados de velocidade de vento.

A densidade de potência e energia obteve valores máximo e mínimo, em média, no segundo semestre do ano e no primeiro semestre, respectivamente a 10 m, 25 m e 50 m, exceto em Triunfo-PE cujo comportamento é inverso. Os resultados indicam que o melhor desempenho foi obtido pelo MLE seguido do MM em ambas alturas, embora as métricas utilizadas não expressem uma elevada diferença entre os Métodos, e o Método que apresentou maiores erros foi o Método MG a 10 metros, e o MDP a 25 m e 50 m seguido do ME. Portanto, presando por maior confiabilidade, indica-se o uso do MLE e do MM.

A densidade de potência média para o período-DP e a densidade de energia-DE, em Petrolina-PE, a 10 m apresentou valor médio  $20,41 \text{ Wm}^{-2}$  e de  $53,65 \text{ MJm}^{-2}$ , respectivamente. A 25 e 50 metros obteve-se densidade de potência e energia média iguais a  $42,43 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $121,74 \text{ MJm}^{-2}$  e  $90,71 \text{ Wm}^{-2}$  e  $260,36 \text{ MJm}^{-2}$ , respectivamente, para o mesmo período.

A DPMA (DEMA) em Natal-RN foi  $70,885 \text{ Wm}^{-2}$  ( $186,176 \text{ MJm}^{-2}$ ) em 2010 e  $63,077 \text{ Wm}^{-2}$  ( $165,7 \text{ MJm}^{-2}$ ) em 2011, em São Luiz-MA, 2016,  $28,002 \text{ Wm}^{-2}$  ( $73,652 \text{ MJm}^{-2}$ ). Na cidade de São João do Cariri, os valores da DPMA (DEMA) a 25 metros para os anos 2006, 2007 e 2008 foram, respectivamente,  $89,844 \text{ Wm}^{-2}$  ( $236,429 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $109,611 \text{ Wm}^{-2}$   $288,550 \text{ (MJm}^{-2})$  e  $91,478 \text{ Wm}^{-2}$  ( $240,298 \text{ MJm}^{-2}$ ) já a 50 metros para os mesmos anos, obteve-se  $130,108 \text{ Wm}^{-2}$  ( $342,398 \text{ MJm}^{-2}$ ),  $152,577 \text{ Wm}^{-2}$  ( $401,654 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $129,768 \text{ Wm}^{-2}$  ( $340,911 \text{ MJm}^{-2}$ ).

Para Belo Jardim-PE, 2004, a 25 e 50 metros os valores estimados da DPMA e da DEMA foi, respectivamente,  $95,339 \text{ Wm}^{-2}$  ( $250,069 \text{ MJm}^{-2}$ ) e  $103,330 \text{ Wm}^{-2}$  ( $270,948 \text{ MJm}^{-2}$ ). Triunfo foi a estação que apresentou maior valor da velocidade média anual ( $13,654 \text{ ms}^{-1}$ ) e assim, também, a maior Densidade de Potência e de Energia Média Anual  $1899,450 \text{ Wm}^{-2}$  ( $4991,466 \text{ MJm}^{-2}$ ), provavelmente devido a altitude local.



Considerando as DPMA e DEMA obtidas os recursos eólicos em ambas as estações são favoráveis a instalação de parques eólicos e podem ser associada a outras fontes como hidráulica ou solar.

Deve-se dar atenção especial para os erros cometidos ao se estimar a densidade de potência eólica com base nas velocidades do vento obtidas com intervalo de medição superior a 10 min, ainda muito em uso no Brasil e no mundo. Estimando-se a DPMA com dados amostrados em 10 minutos (6 valores por hora) o erro relativo é inferior as demais amostragens (OMM, horário e diário). Por essa razão dever-se-ia usar o intervalo de medição de 1 minuto nas programações dos anemômetros.

## 6. REFERENCIAL LITERÁRIO

Ahmed, S.A. 2018. Wind energy characteristics and wind park installation in Shark El-Quinat. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82: 734–742.

Akdagç, S.A; Dinler, A. 2009. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications, **Energy Conversion and Management**, 50: 1761–1766.

Ali, S.; Sang-Moon Lee; Choon-Man Jang. 2018. Statistical analysis of wind characteristics using Weibull and Rayleigh distributions in Deokjeok-do Island e Incheon, South Korea. **Renewable Energy**, 123: 652-663.

Allouhi, A.; O. Zamzouma; M.R. Islamb; R. Saidurc; T. Kousksoud; A. Jamila; 2017. A. Derouichl. Evaluation of wind energy potential in Morocco's coastal regions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 72:311–324.

Arslan, T.; Bulut, Y.; Yavuz, A. 2014. Comparative study of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 40: 820–825.

Chang, T. 2011. Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application. **Applied Energy** 88: 272–282.

Chellali, F.; A. Khellafb; A. Belouchranic; R. Khanniche. 2012. A comparison between wind speed distributions derived from the maximum entropy principle and Weibull distribution. Case of study; six regions of Algeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16: 379 – 385.

D. Villanueva; A. Feijó. 2010. Wind power distributions: A review of their applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14: 1490 –1495.

G.K. Gugliani; A. Sarkar; C. Ley; S. Mandal. 2018. New Methods to Assess Wind Resources in Terms of Wind Speed, Load, Power and Direction. **Renewable Energy**, 146.

Germano, A.; Silva Junior, R. 2016. Estimativa Do Potencial Eólico Do Estado De Alagoas Utilizando O Modelo Atmosférico Wrf. **Revista Eletrônica de Energia**, 6: 18-26.

Irwanto, M.; N.Gomesh; M.R.Mamat; Y.M.Yusoff. 2014. Assessment of wind power generation potential in Perlis, Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 38: 296 –308.

Jiang, H.; Wangb, J.; Wuc, J.; Genga, W. 2017. Comparison of numerical methods and metaheuristic optimization algorithms for estimating parameters for wind energy potential assessment in low wind regions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 69: 1199 – 1217.

Kantar, Y.; Usta, I.; Arik, I.; Yenilmez, I. 2018. Wind speed analysis using the Extended Generalized Lindley Distribution. **Renewable Energy**, 118: 1024-1030.

- Katinas, V.; Marciukaitis, M.; Gecevicius, G.; Markevicius, A. 2017. Statistical analysis of wind characteristics based on Weibull methods for estimation of power generation in Lithuania. **Renewable Energy**, 113: 190-201.
- Ko D. H; Jeong, S. T; Kim, Y. C. 2015. Assessment of wind energy for small-scale wind power in Chuuk State, Micronesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**.
- Komleh, S.H. P; Keyhani A; Sefeedpari P. 2015. Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (a case study: Firouzkooh county of Iran). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**.
- Lima, F.; Cavalcanti, E.; Souza, E. 2010. Avaliação Do Potencial Eólico Em Cinco Regiões Do Estado Da Paraíba. **Revista de Geografia**, 27: 138-153.
- Lima, F.; Guedes, R.; Silva, A.; Silva, E. 2011. Avaliação do potencial eólico no município de Jaguaruana, litoral cearense. **Ciência e Natura**, 33:101-115.
- Lima, L.; Bezerra Filho, C. 2010. Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo e Pernambuco, Brazil. **Renewable Energy**, 35: 2705-2713.
- Lira; M. A. T; Alves, J. M. B; Silva, E. M. 2011. Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3: 349 – 366.
- M.H. Soulouknga ; S.Y. Doka; N.Revanna; N.Djongyang; T.C.Kofane. 2018. Analysis of wind speed data and wind energy potential in Faya-Largeau, Chad, using Weibull distribution. **Renewable Energy**, 121: 1- 8.
- Manwell, J.F; McGowan, J.G; Rogers, A.L. 2009. **Wind Energy Explained Theory, Design and application**, Wiley, segunda edição.
- Mariano, E.; Cavalcanti, E.; Beserra, E. 2017. Análise Comparativa da Velocidade do Vento Simulado Pelo BRAMS com Dados Observados e de Reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32: 269-276.
- Martins, F.; Pereira, E.; Pereira, C.; Mantelli Neto, S. 2005. **Base de dados climático-ambientais aplicados ao setor energético - Projeto SONDA**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, p.16-21.
- MARTINS, E.S.P.R.; Júnior, F. C.V. 2017. **O clima da Região Nordeste entre 2009 e 2017: monitoramento e previsão**, Parc. Estrat., Brasília-DF, v. 22, 44: 63-80.
- Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Educação, Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, **CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 2005. 160 p.
- Mohammadi K; Alavi O; McGowan J.G. 2017. Use of Birnbaum-Saunders distribution for estimating wind speed and wind power probability distributions. **A review, Energy Conversion and Management**, 143: 109 – 122.

Oliveira, S. e Souza, E. 2017. Análise de Modelos de Mesoescala para Caracterização do Potencial Eólico do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32: 277-291.

Pereira, C.; Fontes, G.; Ferreira, R.; Enedir Ghisi, E. 2011. **Análise Do Potencial De Geração De Energia Eólica Em Residência Na Cidade De Urubici – SC**. Encontro Nacional de conforto no ambiente construído.

Rocha, L. C. S.; Aquilab G.; Junior, P.; Paiva, A.; Pamplona, E.; Balestrassi, P. 2018. A stochastic economic viability analysis of residential wind power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90: 412–419.

Safari, B. 2011. Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15: 925–935.

Salamia, A.; Ajavona, A.; Kodjoa, M.; Bédja K. 2016. Evaluation of Wind Potential for an Optimum Choice of Wind Turbine Generator on the Sites of Lomé, Accra, and Cotonou Located in the Gulf of Guinea, Int. **Journal of Renewable Energy Development**, 5 (3): 211-223.

Saleh, H; A. Aly; Abdel-Hady S. 2012. Assessment of different methods used to estimate Weibull distribution parameters for wind speed in Zafarana wind farm, Suez Gulf, Egypt, **Energy** 44: 710-719.

Shoaib, M.; Siddiquib, I.; Amirc, Y.; Rehman, S. 2017. Evaluation of wind power potential in Baburband (Pakistan) using Weibull distribution function, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 70: 1343–1351.

Silva, B.; Alves, J.; Cavalcanti, E. 2002. **Caracterização Do Potencial Eólico Da Direção Predominante Do Vento No Estado Da Bahia**. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR.

Silva, B.; Alves, J.; Cavalcanti, E.; Dantas, R. 2002. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6: 431-439.

Silva, B.B; Alves, J.; Cavalcanti, E.; Ventura, E. 2004. Variabilidade Espacial E Temporal Do Potencial Eólico Da Direção Predominante Do Vento No Nordeste Do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 19: 189-202.

Sonda – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades, 2015. Disponível em:  
<<http://www.ccst.inpe.br/projetos/primeiro-projeto/>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

Tuchtenhagen, P.; Basso, J.; Yamasaki, Y. 2014. Avaliação do potencial eólico no Brasil em 2011. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, 36: 390-401.

Wair, P. 2017. A review of Weibull functions in wind sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 70: 1099–1107.f

Wais P., 2017. Two and three-parameter Weibull distribution in available power analysis, **Renewable Energy** 103:15 - 29.

Wais, P. 2017. Two and three-parameter Weibull distribution in available wind power analysis. **Renewable Energy**, 103: 15-29.

## **7. ANEXO I**

# ANEMOMÉTRICOS *PETROLINA*

2010 (25m)	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.66978	3.66453	52.10205	29.17715	78.14808
ME	1		2.74009	3.66126	51.23246	28.69018	76.84377
MG	1	0.99354	2.60971	3.68283	53.58514	30.00768	80.37256
MLE	1		2.70648	3.65686	51.38668	28.77654	77.07509
MM	1		2.73162	3.66167	51.33353	28.74678	76.99537
REAL	1				51.38861	28.77762	84.30404
MDP	2		2.79493	4.22724	78.05247	43.70938	105.74174
ME	2		2.90848	4.22057	76.21309	42.67933	103.24983
MG	2	0.99398	2.81181	4.23916	78.47791	43.94763	106.31810
MLE	2		2.87299	4.21673	76.43904	42.80586	103.55594
MM	2		2.90435	4.22082	76.27604	42.71458	103.33512
REAL	2				76.45433	42.81443	113.28697
MDP	3		2.32309	3.25188	39.91446	22.35210	59.86786
ME	3		2.35411	3.25126	39.49276	22.11595	59.23535
MG	3	0.99784	2.36555	3.24895	39.26694	21.98949	58.89665
MLE	3		2.33170	3.25165	39.79295	22.28405	59.68561
MM	3		2.33671	3.25162	39.72703	22.24713	59.58673
REAL	3				39.94457	22.36896	65.52986
MDP	4		2.91038	3.58804	46.81205	26.21475	67.94862
ME	4		3.09588	3.57829	45.23524	25.33173	65.65985
MG	4	0.99606	3.14379	3.57577	44.87532	25.13018	65.13743
MLE	4		3.03766	3.57743	45.54669	25.50615	66.11194
MM	4		3.09674	3.57825	45.22863	25.32803	65.65026
REAL	4				45.53640	25.50038	72.29359
MDP	5		3.10834	3.72414	50.91550	28.51268	76.36836
ME	5		3.40850	3.70722	48.66365	27.25165	72.99081
MG	5	0.99157	3.40123	3.71275	48.91316	27.39137	73.36504
MLE	5		3.32177	3.70495	48.96704	27.42154	73.44585
MM	5		3.41773	3.70670	48.60364	27.21804	72.90080
REAL	5				48.89238	27.37974	80.20893
MDP	6		2.78817	4.50023	94.28682	52.80062	136.85921
ME	6		2.86102	4.49574	92.82165	51.98012	134.73247
MG	6	0.99705	2.76188	4.51136	95.44991	53.45195	138.54746
MLE	6		2.88408	4.49541	92.45146	51.77282	134.19514
MM	6		2.85565	4.49607	92.92564	52.03836	134.88343
REAL	6				92.39230	51.73969	146.68202
MDP	7		3.04928	4.72996	105.10977	58.86147	157.65456
ME	7		3.28041	4.71351	101.24664	56.69812	151.86024
MG	7	0.99501	3.33447	4.70856	100.38913	56.21791	150.57406
MLE	7		3.28241	4.71583	101.37566	56.77037	152.05376
MM	7		3.28622	4.71310	101.15999	56.64960	151.73028
REAL	7				101.33475	56.74746	166.24169
MDP	8		3.24220	5.05914	125.69166	70.38733	188.52543
ME	8		3.63226	5.02931	119.39080	66.85885	179.07474
MG	8	0.99537	3.76804	5.01454	117.31443	65.69608	175.96038

MLE	8		3.60834	5.03190	119.77598	67.07455	179.65247	
MM	8		3.64739	5.02817	119.18610	66.74422	178.76772	
REAL	8				119.58014	66.96488	196.17361	
MDP	9		3.44765	5.41998	151.55822	84.87260	219.98979	
ME	9		4.10018	5.36833	141.56254	79.27502	205.48086	
MG	9	0.97870	4.39747	5.34034	137.89307	77.22012	200.15454	
MLE	9		3.99892	5.37415	142.65765	79.88828	207.07043	
MM	9		4.12692	5.36633	141.24924	79.09958	205.02610	
REAL	9				142.05547	79.55106	225.52727	
MDP	10		2.83471	4.30625	81.93581	45.88405	122.89584	
ME	10		2.94189	4.29973	80.16864	44.89444	120.24526	
MG	10	0.98842	2.72652	4.33832	85.46008	47.85764	128.18191	
MLE	10		2.91476	4.29235	80.08924	44.84998	120.12617	
MM	10		2.93864	4.29993	80.21925	44.92278	120.32117	
REAL	10				80.07098	44.83975	131.35805	
MDP	11		3.11570	4.26392	76.34901	42.75545	110.82212	
ME	11		3.44191	4.24286	72.74047	40.73466	105.58425	
MG	11	0.98460	3.46594	4.24796	72.85560	40.79914	105.75137	
MLE	11		3.32174	4.24096	73.44262	41.12787	106.60343	
MM	11		3.45204	4.24221	72.64458	40.68096	105.44505	
REAL	11				73.27856	41.03600	116.33705	
MDP	12		2.25449	3.18059	38.24659	21.41809	57.36621	
ME	12		2.28541	3.18020	37.81366	21.17565	56.71686	
MG	12	0.99698	2.27725	3.18092	37.94788	21.25081	56.91818	
MLE	12		2.25928	3.17953	38.14197	21.35950	57.20929	
MM	12		2.26666	3.18045	38.07381	21.32134	57.10707	
REAL	12				38.34674	21.47418	62.90860	
		MÍN	0.97870	2.25449	3.17953	37.81366	21.17565	56.71686
		MÁX	0.99784	4.39747	5.41998	151.55822	84.87260	225.52727
		MÉD	0.99243	3.03756	4.14915	76.19381	42.66853	113.65869

2010 (50m)	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.89892	4.80538	112.65584	63.08727	168.97295
ME	1		3.04195	4.79539	109.63956	61.39815	164.44881
MG	1	0.97837	2.75167	4.85641	119.29864	66.80724	178.93650
MLE	1		2.98799	4.78384	109.66547	61.41267	164.48768
MM	1		3.04136	4.79544	109.65106	61.40460	164.46607
REAL	1				109.66386	61.41176	179.90576
MDP	2		3.03069	5.46479	162.50820	91.00459	220.15831
ME	2		3.26652	5.44543	156.33806	87.54931	211.79930
MG	2	0.97876	3.08054	5.49066	163.74511	91.69726	221.83401
MLE	2		3.18922	5.43729	156.94721	87.89044	212.62454
MM	2		3.27196	5.44498	156.21149	87.47843	211.62782
REAL	2				156.86458	87.84416	232.43566
MDP	3		2.49210	4.33082	89.68382	50.22294	134.51712
ME	3		2.50941	4.33008	89.23406	49.97107	133.84252
MG	3	0.99719	2.40337	4.34618	92.92209	52.03637	139.37421
MLE	3		2.49358	4.32713	89.42027	50.07535	134.12182
MM	3		2.49537	4.33068	89.59819	50.17499	134.38868
REAL	3				89.20341	49.95391	146.33998
MDP	4		3.21565	4.88788	113.68058	63.66113	165.00964
ME	4		3.53143	4.86448	108.83151	60.94564	157.97111
MG	4	0.97996	3.20826	4.91760	115.86163	64.88251	168.17547
MLE	4		3.51643	4.85313	108.19735	60.59051	157.05061
MM	4		3.54392	4.86356	108.66582	60.85286	157.73061
REAL	4				108.35597	60.67935	172.02595
MDP	5		3.32123	5.07902	126.15896	70.64902	189.22633
ME	5		3.73299	5.04758	119.90318	67.14578	179.84326
MG	5	0.98456	3.46326	5.08949	125.32602	70.18257	187.97700
MLE	5		3.74667	5.03810	119.12890	66.71218	178.68191
MM	5		3.75071	5.04625	119.67881	67.02013	179.50673
REAL	5				119.34786	66.83480	195.79254
MDP	6		3.15356	5.97672	209.30676	117.21179	303.81295
ME	6		3.41096	5.95339	201.49192	112.83547	292.46955
MG	6	0.98951	3.19232	5.99782	210.58753	117.92902	305.67201
MLE	6		3.45876	5.94679	199.99937	111.99965	290.30308
MM	6		3.42026	5.95255	201.24216	112.69561	292.10701
REAL	6				200.36839	112.20630	318.10485
MDP	7		3.50667	6.26803	233.28151	130.63765	349.89987
ME	7		4.20548	6.20482	217.67998	121.90079	326.49908
MG	7	0.99488	4.25594	6.20192	216.97912	121.50830	325.44784
MLE	7		4.14507	6.20393	218.09169	122.13135	327.11660
MM	7		4.23467	6.20235	217.18793	121.62524	325.76104
REAL	7				217.69663	121.91011	357.13568
MDP	8		3.58766	6.61712	272.78766	152.76109	409.15530
ME	8		4.46056	6.53610	252.34371	141.31248	378.49134
MG	8	0.98989	4.71098	6.51059	247.87242	138.80856	371.78483



MLE	8		4.29607	6.54044	254.13239	142.31414	381.17418	
MM	8		4.49534	6.53315	251.76098	140.98615	377.61729	
REAL	8				253.01877	141.69051	415.08235	
MDP	9		3.64744	6.95669	315.64651	176.76205	458.16723	
ME	9		4.65555	6.86060	290.38981	162.61829	421.50661	
MG	9	0.97893	4.97862	6.82922	284.68057	159.42112	413.21954	
MLE	9		4.42428	6.86799	293.07454	164.12174	425.40355	
MM	9		4.69428	6.85730	289.72226	162.24447	420.53766	
REAL	9				291.44822	163.21100	462.70320	
MDP	10		2.98793	5.56523	172.66021	96.68972	258.97373	
ME	10		3.14878	5.55192	167.86895	94.00661	251.78731	
MG	10	0.98045	2.82752	5.62178	182.53131	102.21753	273.77944	
MLE	10		3.12933	5.53838	167.03293	93.53844	250.53336	
MM	10		3.15106	5.55173	167.80650	93.97164	251.69365	
REAL	10				167.13023	93.59293	274.18048	
MDP	11		3.33417	5.50833	160.72853	90.00798	233.30068	
ME	11		3.84256	5.46650	151.33181	84.74582	219.66115	
MG	11	0.99159	3.89103	5.46580	150.88143	84.49360	219.00741	
MLE	11		3.69849	5.46347	152.38193	85.33388	221.18542	
MM	11		3.86305	5.46487	151.02804	84.57570	219.22023	
REAL	11				151.90876	85.06891	241.17035	
MDP	12		2.41670	4.12381	79.06559	44.27673	118.59079	
ME	12		2.43784	4.12308	78.54485	43.98512	117.80974	
MG	12	0.99791	2.36198	4.13409	80.98853	45.35358	121.47502	
MLE	12		2.41487	4.12051	78.91807	44.19412	118.36953	
MM	12		2.42220	4.12362	78.92861	44.20002	118.38534	
REAL	12				78.87720	44.17123	129.39962	
		MÍN	0.97837	2.36198	4.12051	78.54485	43.98512	117.80974
		MÁX	0.99791	4.97862	6.95669	315.64651	176.76205	462.70320
		MÉD	0.98683	3.41412	5.44187	164.10822	91.90060	244.87457

## **8. ANEXO II**

### **AMBIENTAIS PETROLINA**

<b>2010</b>	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		1.955833	2.617032	24.40782	13.52264	36.21903
ME	1		1.960295	2.617174	24.35059	13.49093	36.13411
MG	1	0.983272	2.059071	2.598178	22.63083	12.53814	33.58214
MLE	1		1.962023	2.623809	24.51256	13.58066	36.37445
MM	1		1.936826	2.616385	24.65669	13.66052	36.58834
REAL	1				24.54699	13.59974	36.42556
MDP	2		2.213989	2.94625	30.8648	17.00639	41.14185
ME	2		2.215133	2.946243	30.851	16.99878	41.12345
MG	2	0.994861	2.232324	2.938333	30.40393	16.75245	40.52752
MLE	2		2.206489	2.948812	31.03541	17.10039	41.36926
MM	2		2.195116	2.946339	31.0959	17.13372	41.44989
REAL	2				30.97382	17.06645	41.28716
MDP	3		1.713958	2.258767	18.54028	10.23136	27.40367
ME	3		1.740541	2.260939	18.19397	10.04025	26.8918
MG	3	0.973433	1.90381	2.239056	15.76083	8.69753	23.29546
MLE	3		1.755785	2.270719	18.21069	10.04947	26.91651
MM	3		1.716109	2.258951	18.51154	10.2155	27.36119
REAL	3				18.57942	10.25296	27.46152
MDP	4		1.966285	2.324357	17.00078	9.452729	24.50147
ME	4		2.004834	2.325264	16.67056	9.269118	24.02555
MG	4	0.981806	2.204249	2.304067	14.81771	8.238905	21.35524
MLE	4		2.01362	2.332802	16.75648	9.316893	24.14939
MM	4		1.981814	2.324751	16.86512	9.377298	24.30596
REAL	4				17.09842	9.507016	24.64219
MDP	5		2.047919	2.473377	19.63002	10.90033	29.19545
ME	5		2.076683	2.47375	19.36952	10.75568	28.80801
MG	5	0.984135	2.254531	2.452932	17.54358	9.741758	26.09232
MLE	5		2.082391	2.480895	19.48572	10.82021	28.98084
MM	5		2.054536	2.473473	19.569	10.86645	29.1047
REAL	5				19.7416	10.96229	29.3614
MDP	6		2.149113	3.049887	35.14622	19.7534	51.2008
ME	6		2.144367	3.049875	35.2166	19.79296	51.30334
MG	6	0.993958	2.158418	3.040577	34.68952	19.49672	50.53549
MLE	6		2.135375	3.052775	35.45347	19.92609	51.64841
MM	6		2.123194	3.049779	35.53701	19.97304	51.77011
REAL	6				35.31094	19.84598	51.44078
MDP	7		2.161201	3.141908	38.23029	21.57606	57.78932
ME	7		2.165819	3.14191	38.15732	21.53488	57.67902
MG	7	0.989634	2.257272	3.123571	36.1896	20.42436	54.7046
MLE	7		2.167149	3.148259	38.36809	21.65383	57.99762
MM	7		2.144983	3.141878	38.49067	21.72302	58.18292
REAL	7				38.40237	21.67318	58.04945
MDP	8		2.440672	3.537756	49.57787	27.91698	74.77283
ME	8		2.462975	3.537056	49.2418	27.72774	74.26597
MG	8	0.99607	2.515473	3.526036	48.10897	27.08985	72.55745

MLE	8		2.462333	3.540913	49.41179	27.82346	74.52235
MM	8		2.447891	3.537533	49.46802	27.85512	74.60716
REAL	8				49.4149	27.82521	74.52703
MDP	9		2.702145	3.904085	62.58365	34.97861	90.66455
ME	9		2.781145	3.900061	61.44926	34.34458	89.02116
MG	9	0.994664	2.873302	3.886254	59.8356	33.44269	86.68346
MLE	9		2.785096	3.904127	61.59713	34.42723	89.23539
MM	9		2.773718	3.900449	61.55163	34.4018	89.16947
REAL	9				61.6209	34.44052	89.26983
MDP	10		2.152305	3.159017	39.00304	21.53978	57.69216
ME	10		2.154498	3.159021	38.96727	21.52003	57.63925
MG	10	0.994449	2.188266	3.147843	38.02572	21.00005	56.24653
MLE	10		2.146454	3.162519	39.22974	21.66498	58.02748
MM	10		2.133482	3.158954	39.3151	21.71212	58.15375
REAL	10				39.18398	21.63971	57.9598
MDP	11		2.206608	3.110132	36.41099	19.99026	51.81475
ME	11		2.21256	3.110098	36.32591	19.94355	51.69368
MG	11	0.993849	2.266412	3.09729	35.16782	19.30774	50.04565
MLE	11		2.207608	3.114201	36.5399	20.06103	51.99819
MM	11		2.192499	3.110193	36.61574	20.10267	52.10613
REAL	11				36.54509	20.06388	52.00558
MDP	12		1.772035	2.321426	19.2166	10.63686	28.48978
ME	12		1.79323	2.322851	18.9504	10.48952	28.09512
MG	12	0.978698	1.926241	2.302569	16.91074	9.360515	25.0712
MLE	12		1.801031	2.330693	19.03468	10.53617	28.22008
MM	12		1.768815	2.321198	19.25804	10.6598	28.55121
REAL	12				19.2808	10.6724	28.58497
	MÍN	0.973433	1.713958	2.239056	14.81771	8.238905	21.35524
	MÁX	0.99607	2.873302	3.904127	62.58365	34.97861	90.66455
	MÉD	0.988236	2.153797	2.901589	32.21821	17.94021	47.0843

2011	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.067404	2.551109	21.3376	11.81934	31.65691
ME	1		2.074543	2.551195	21.26768	11.78061	31.55318
MG	1	0.990815	2.131748	2.539137	20.43215	11.31779	30.31358
MLE	1		2.067667	2.554811	21.42794	11.86938	31.79095
MM	1		2.052368	2.550903	21.48755	11.9024	31.87939
REAL	1				21.45647	11.88518	31.83327
MDP	2		2.046188	2.649376	24.14627	13.35891	32.31787
ME	2		2.053483	2.649491	24.0634	13.31306	32.20695
MG	2	0.990892	2.098763	2.637764	23.24477	12.86015	31.11128
MLE	2		2.044386	2.652705	24.25893	13.42124	32.46867
MM	2		2.031035	2.649109	24.32162	13.45592	32.55257
REAL	2				24.28372	13.43496	32.50184
MDP	3		1.793114	1.951114	11.23153	6.236793	16.70463
ME	3		1.832497	1.953073	10.95522	6.083361	16.29367
MG	3	0.976116	2.004439	1.935781	9.620369	5.342127	14.30835
MLE	3		1.845246	1.960284	10.9815	6.097952	16.33275
MM	3		1.808189	1.951903	11.12326	6.176671	16.5436
REAL	3				11.27363	6.260169	16.76724
MDP	4		1.864029	2.260041	16.6208	9.247346	23.96912
ME	4		1.908438	2.261858	16.20147	9.014042	23.3644
MG	4	0.982471	2.098168	2.241792	14.27319	7.941204	20.5836
MLE	4		1.919196	2.269501	16.2605	9.046885	23.44953
MM	4		1.884543	2.260931	16.42282	9.137199	23.68362
REAL	4				16.702	9.292526	24.08623
MDP	5		1.853793	2.417364	20.47634	11.47209	30.72686
ME	5		1.890541	2.419087	20.04031	11.2278	30.07255
MG	5	0.977117	2.093622	2.395401	17.44905	9.776024	26.1841
MLE	5		1.906047	2.428781	20.08887	11.25501	30.14543
MM	5		1.866525	2.417996	20.32187	11.38555	30.49507
REAL	5				20.57353	11.52655	30.8727
MDP	6		1.930404	2.600247	24.29422	13.65755	35.40036
ME	6		1.948097	2.600871	24.0639	13.52806	35.06474
MG	6	0.977759	2.116827	2.577219	21.50549	12.0898	31.33676
MLE	6		1.959666	2.610256	24.16654	13.58576	35.2143
MM	6		1.924517	2.600024	24.37248	13.70154	35.51439
REAL	6				24.42923	13.73344	35.59708
MDP	7		2.143109	3.241851	42.31686	23.81543	63.78724
ME	7		2.155864	3.241882	42.09064	23.68812	63.44625
MG	7	0.990989	2.256802	3.22257	39.74759	22.36947	59.91439
MLE	7		2.154593	3.248099	42.35578	23.83733	63.8459
MM	7		2.134869	3.241818	42.46539	23.89902	64.01112
REAL	7				42.51887	23.92912	64.09175
MDP	8		2.283183	3.194249	38.34683	21.48879	57.55557
ME	8		2.290063	3.194149	38.25153	21.43539	57.41255
MG	8	0.993769	2.348399	3.181211	37.062	20.7688	55.62715

MLE	8		2.288598	3.198614	38.43168	21.53634	57.68293
MM	8		2.271406	3.194408	38.51214	21.58143	57.80369
REAL	8				38.41915	21.52932	57.66413
MDP	9		2.537166	3.79315	59.56447	33.31121	86.34266
ME	9		2.567224	3.791929	59.07177	33.03567	85.62846
MG	9	0.995681	2.597865	3.783589	58.26208	32.58285	84.45476
MLE	9		2.571155	3.795158	59.16725	33.08907	85.76686
MM	9		2.554525	3.792451	59.27769	33.15083	85.92695
REAL	9				59.12933	33.06786	85.71188
MDP	10		2.383127	3.276972	40.07368	22.13025	59.27366
ME	10		2.385854	3.276906	40.03802	22.11055	59.22091
MG	10	0.997363	2.344924	3.277787	40.58612	22.41324	60.03161
MLE	10		2.377612	3.277568	40.16334	22.17976	59.40626
MM	10		2.36911	3.277299	40.25909	22.23264	59.5479
REAL	10				40.02626	22.10406	59.20352
MDP	11		2.482167	3.25421	38.14939	21.04731	54.55462
ME	11		2.504476	3.253506	37.90113	20.91034	54.1996
MG	11	0.998079	2.500369	3.251186	37.8606	20.88798	54.14164
MLE	11		2.500043	3.255084	38.00017	20.96498	54.34123
MM	11		2.490324	3.253956	38.0578	20.99678	54.42364
REAL	11				37.96079	20.94326	54.28492
MDP	12		2.202409	3.025128	33.56137	18.44907	49.414
ME	12		2.187581	3.025183	33.76075	18.55868	49.70756
MG	12	0.993373	2.164396	3.020062	33.9078	18.63951	49.92406
MLE	12		2.178556	3.027105	33.94826	18.66175	49.98364
MM	12		2.167098	3.025213	34.04361	18.71417	50.12403
REAL	12				33.68778	18.51856	49.60012
MÍN		0.976116	1.793114	1.935781	9.620369	5.342127	14.30835
MÁX		0.998079	2.597865	3.795158	59.56447	33.31121	86.34266
MÉD		0.988702	2.158472	2.849857	30.58546	17.02518	44.76326

2012	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.332496	3.3543	43.67061	23.97516	64.21506
ME	1		2.335484	3.35424	43.62575	23.95053	64.1491
MG	1	0.99687	2.294592	3.355073	44.25988	24.29866	65.08154
MLE	1		2.322176	3.35444	43.82467	24.05973	64.44159
MM	1		2.317711	3.354584	43.89539	24.09856	64.54558
REAL	1				43.69109	23.9864	64.24517
MDP	2		2.659746	3.812585	58.80046	32.40773	78.40077
ME	2		2.708538	3.810265	58.10458	32.02419	77.47293
MG	2	0.98829	2.718416	3.806204	57.80517	31.85917	77.07371
MLE	2		2.721869	3.812759	58.06471	32.00222	77.41977
MM	2		2.699276	3.810713	58.23365	32.09533	77.64503
REAL	2				58.02555	31.98064	77.36756
MDP	3		2.221436	2.946438	30.78272	16.94609	45.38841
ME	3		2.223279	2.946425	30.76075	16.93399	45.35601
MG	3	0.994904	2.249242	2.937572	30.19024	16.61992	44.51479
MLE	3		2.216022	2.949358	30.93838	17.03178	45.61791
MM	3		2.203403	2.946539	31.00102	17.06626	45.71027
REAL	3				30.88661	17.00328	45.54159
MDP	4		2.253916	2.83963	27.22354	14.982	38.83333
ME	4		2.258043	2.839589	27.18158	14.95891	38.77348
MG	4	0.992033	2.323933	2.8267	26.20866	14.42348	37.38565
MLE	4		2.25815	2.844108	27.3105	15.02985	38.95737
MM	4		2.238789	2.839767	27.37949	15.06782	39.05579
REAL	4				27.29521	15.02144	38.93556
MDP	5		2.232847	3.029972	33.33167	18.51582	49.59278
ME	5		2.24205	3.029892	33.21491	18.45096	49.41905
MG	5	0.991899	2.328326	3.014154	31.73025	17.62623	47.21009
MLE	5		2.241825	3.035182	33.39199	18.54933	49.68252
MM	5		2.222507	3.03005	33.46474	18.58975	49.79077
REAL	5				33.43582	18.57368	49.74774
MDP	6		2.182647	2.922866	30.51012	17.04226	44.17353
ME	6		2.195927	2.922828	30.34767	16.95152	43.93834
MG	6	0.987052	2.326497	2.902893	28.36166	15.84218	41.06293
MLE	6		2.199973	2.929744	30.51493	17.04494	44.18049
MM	6		2.175584	2.922877	30.59784	17.09126	44.30054
REAL	6				30.63638	17.11278	44.35634
MDP	7		2.41957	3.330484	41.61517	23.3663	62.58431
ME	7		2.448746	3.329659	41.23997	23.15563	62.02004
MG	7	0.993021	2.556671	3.312998	39.49737	22.17719	59.39939
MLE	7		2.449042	3.334929	41.43267	23.26383	62.30985
MM	7		2.433348	3.330102	41.43619	23.26581	62.31514
REAL	7				41.51159	23.30815	62.42854
MDP	8		2.425042	3.681155	56.10404	31.57013	84.55744
ME	8		2.43038	3.680991	56.01056	31.51753	84.41654
MG	8	0.996686	2.428265	3.675656	55.80119	31.39971	84.10099

MLE	8		2.432449	3.683929	56.11155	31.57435	84.56875
MM	8		2.414582	3.68147	56.28918	31.67431	84.83646
REAL	8				55.95295	31.48511	84.32972
MDP	9		2.544106	3.790517	59.33837	33.11824	85.84248
ME	9		2.581406	3.788979	58.73602	32.78206	84.97109
MG	9	0.995523	2.638617	3.777635	57.45956	32.06963	83.12448
MLE	9		2.583946	3.792835	58.88038	32.86263	85.17993
MM	9		2.569042	3.789498	58.93262	32.89178	85.2555
REAL	9				58.88643	32.866	85.18868
MDP	10		2.706187	3.892089	61.95805	34.29355	91.85183
ME	10		2.772085	3.888748	61.01779	33.77311	90.45791
MG	10	0.999134	2.769105	3.887109	60.97439	33.74909	90.39357
MLE	10		2.778005	3.890117	61.01556	33.77188	90.45461
MM	10		2.764427	3.889144	61.12348	33.83161	90.61459
REAL	10				60.99165	33.75864	90.41915
MDP	11		2.190708	2.916781	30.22223	16.58062	42.97696
ME	11		2.178184	2.91681	30.37558	16.66475	43.19503
MG	11	0.992123	2.17189	2.909718	30.23196	16.58595	42.99079
MLE	11		2.170734	2.919305	30.54624	16.75838	43.43772
MM	11		2.157547	2.916814	30.63474	16.80693	43.56356
REAL	11				30.34285	16.64679	43.14849
MDP	12		2.19749	3.051219	34.50387	18.93141	50.70588
ME	12		2.179887	3.05127	34.74905	19.06594	51.0662
MG	12	0.990133	2.160979	3.044751	34.79547	19.0914	51.13441
MLE	12		2.173016	3.053722	34.93028	19.16537	51.33253
MM	12		2.159278	3.051279	35.04456	19.22807	51.50046
REAL	12				34.63714	19.00453	50.90173
	MÍN	0.987052	2.157547	2.8267	26.20866	14.42348	37.38565
	MÁX	0.999134	2.778005	3.892089	61.95805	34.29355	91.85183
	MÉD	0.993139	2.379824	3.295691	42.11151	23.35098	61.26608



2013	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.048616	2.849681	30.01168	16.53147	44.27788
ME	1		2.044798	2.849614	30.06593	16.56135	44.35792
MG	1	0.99082	2.075178	2.837266	29.2455	16.10943	43.1475
MLE	1		2.036169	2.853143	30.3072	16.69425	44.71388
MM	1		2.022242	2.849167	30.39351	16.74179	44.84122
REAL	1				30.18217	16.62538	44.52942
MDP	2		2.422121	3.276702	39.60216	21.73069	52.57088
ME	2		2.430269	3.276479	39.50132	21.67535	52.43701
MG	2	0.996753	2.419846	3.273132	39.49892	21.67404	52.43383
MLE	2		2.42804	3.278369	39.595	21.72676	52.56138
MM	2		2.414469	3.276906	39.69786	21.7832	52.69793
REAL	2				39.49983	21.67454	52.43504
MDP	3		2.125035	2.936078	31.68315	17.36834	46.51936
ME	3		2.132212	2.936115	31.58547	17.31479	46.37594
MG	3	0.99404	2.165321	2.926126	30.82941	16.90033	45.26585
MLE	3		2.121323	2.938859	31.82507	17.44614	46.72774
MM	3		2.110854	2.935984	31.87944	17.47595	46.80758
REAL	3				31.84204	17.45544	46.75266
MDP	4		2.315955	2.898849	28.34226	15.65261	40.57157
ME	4		2.317409	2.898826	28.32783	15.64464	40.55091
MG	4	0.996035	2.302156	2.89593	28.38858	15.67819	40.63788
MLE	4		2.308461	2.900188	28.45308	15.71382	40.73021
MM	4		2.299279	2.899101	28.50991	15.7452	40.81157
REAL	4				28.36964	15.66773	40.61077
MDP	5		2.244037	2.964452	31.08609	17.2975	46.32962
ME	5		2.275256	2.964115	30.7269	17.09763	45.7943
MG	5	0.980312	2.475322	2.939873	28.17962	15.68023	41.99792
MLE	5		2.280601	2.972346	30.92532	17.20804	46.09002
MM	5		2.25632	2.964332	30.94282	17.21778	46.11609
REAL	5				31.17525	17.34711	46.4625
MDP	6		2.370323	3.016343	31.37577	17.52929	45.43592
ME	6		2.413597	3.015362	30.93889	17.28521	44.80327
MG	6	0.990178	2.580688	2.995504	29.02825	16.21776	42.03644
MLE	6		2.407465	3.020957	31.16756	17.41297	45.13442
MM	6		2.397438	3.015745	31.09905	17.37469	45.03521
REAL	6				31.35232	17.51619	45.40197
MDP	7		2.362277	3.255983	39.56298	22.22124	59.51738
ME	7		2.388506	3.255376	39.22246	22.02999	59.00511
MG	7	0.985668	2.53568	3.234395	36.94257	20.74944	55.57531
MLE	7		2.393446	3.262442	39.41958	22.1407	59.30166
MM	7		2.371817	3.255769	39.43771	22.15089	59.32894
REAL	7				39.54401	22.21059	59.48884
MDP	8		2.625978	3.641819	51.62587	28.91998	77.45927
ME	8		2.699085	3.638565	50.69471	28.39836	76.06216
MG	8	0.989976	2.845687	3.619218	48.55211	27.19811	72.84742

MLE	8		2.694785	3.643634	50.95138	28.54214	76.44727
MM	8		2.689587	3.639	50.81122	28.46363	76.23697
REAL	8				51.03304	28.58789	76.56979
MDP	9		2.701762	3.83227	59.19776	32.92694	85.34664
ME	9		2.774134	3.828661	58.21077	32.37796	83.92368
MG	9	0.996821	2.829751	3.819291	57.21315	31.82307	82.48539
MLE	9		2.780201	3.831716	58.28507	32.41929	84.0308
MM	9		2.766528	3.829049	58.31072	32.43356	84.06778
REAL	9				58.2883	32.42108	84.03545
MDP	10		2.672198	3.808828	58.47277	32.33479	86.6055
ME	10		2.722499	3.806412	57.76806	31.94509	85.56173
MG	10	0.997811	2.703984	3.806293	57.97607	32.06012	85.86982
MLE	10		2.732761	3.80781	57.71574	31.91616	85.48424
MM	10		2.713587	3.806847	57.88995	32.0125	85.74227
REAL	10				57.66481	31.888	85.40882
MDP	11		2.305031	3.353241	44.03007	24.30954	63.01034
ME	11		2.319186	3.352987	43.81121	24.18871	62.69714
MG	11	0.994585	2.387563	3.339139	42.34079	23.37687	60.59285
MLE	11		2.315875	3.357469	44.03572	24.31266	63.01842
MM	11		2.301092	3.353308	44.09175	24.3436	63.09861
REAL	11				44.08653	24.34072	63.09114
MDP	12		1.830144	2.49139	22.77685	12.58389	33.7047
ME	12		1.84047	2.491983	22.63287	12.50435	33.49164
MG	12	0.982775	1.920866	2.474107	21.0458	11.62751	31.14313
MLE	12		1.837806	2.497475	22.82408	12.60999	33.77459
MM	12		1.816193	2.490545	22.97596	12.6939	33.99934
REAL	12				22.87687	12.63915	33.8527
MÍN		0.980312	1.816193	2.474107	21.0458	11.62751	31.14313
MÁX		0.997811	2.845687	3.83227	59.19776	32.92694	86.6055
MÉD		0.991315	2.368655	3.191343	38.5827	21.39553	56.19278

2014	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.28507	3.099402	35.00828	19.33859	51.79647
ME	1		2.287827	3.099364	34.9734	19.31932	51.74485
MG	1	0.994372	2.29872	3.092147	34.59947	19.11276	51.1916
MLE	1		2.280913	3.101782	35.14004	19.41137	51.99141
MM	1		2.269127	3.099612	35.21279	19.45156	52.09905
REAL	1				35.07254	19.37408	51.89154
MDP	2		2.342847	3.031404	32.12602	17.75762	42.95924
ME	2		2.347941	3.031307	32.07044	17.7269	42.8849
MG	2	0.995481	2.367613	3.023957	31.64062	17.48931	42.31015
MLE	2		2.345055	3.034149	32.19047	17.79325	43.04542
MM	2		2.330418	3.031633	32.26329	17.8335	43.1428
REAL	2				32.13074	17.76023	42.96555
MDP	3		2.248937	2.839931	27.28179	15.04616	40.29963
ME	3		2.246834	2.839951	27.30344	15.05809	40.3316
MG	3	0.993714	2.26731	2.831666	26.86498	14.81629	39.68394
MLE	3		2.242208	2.842936	27.43644	15.13145	40.52807
MM	3		2.227376	2.840108	27.50683	15.17027	40.63205
REAL	3				27.35688	15.08757	40.41055
MDP	4		1.991452	2.451726	19.67988	10.90921	28.27668
ME	4		2.01895	2.452317	19.41279	10.76116	27.89292
MG	4	0.987326	2.161869	2.433956	17.76825	9.849532	25.52999
MLE	4		2.021071	2.458435	19.53722	10.83013	28.0717
MM	4		1.996087	2.451834	19.63397	10.88377	28.21072
REAL	4				19.79396	10.97245	28.44059
MDP	5		2.120378	2.688855	24.38461	13.59631	36.41635
ME	5		2.150232	2.688969	24.07571	13.42407	35.95503
MG	5	0.987611	2.318881	2.668196	22.07938	12.31096	32.97368
MLE	5		2.151825	2.695643	24.23914	13.51519	36.19909
MM	5		2.129149	2.6889	24.29236	13.54487	36.27857
REAL	5				24.50829	13.66527	36.60105
MDP	6		2.429094	3.258523	38.86851	21.75603	56.39162
ME	6		2.460243	3.257638	38.4984	21.54886	55.85465
MG	6	0.994459	2.558089	3.24271	37.02369	20.72342	53.7151
MLE	6		2.457967	3.262185	38.68408	21.65279	56.12404
MM	6		2.445098	3.258077	38.67647	21.64853	56.113
REAL	6				38.75791	21.69412	56.23116
MDP	7		2.489404	3.464602	45.94882	25.85992	69.26321
ME	7		2.53789	3.462912	45.31408	25.50269	68.3064
MG	7	0.989275	2.692529	3.441994	42.97167	24.18438	64.77545
MLE	7		2.535958	3.468957	45.5737	25.64881	68.69776
MM	7		2.524504	3.463393	45.48544	25.59913	68.56472
REAL	7				45.70787	25.72431	68.9
MDP	8		2.691882	3.617399	49.88828	28.00217	75.00102
ME	8		2.778007	3.613355	48.89724	27.44591	73.51112
MG	8	0.99483	2.891931	3.598347	47.35489	26.58019	71.19238

MLE	8		2.771297	3.61694	49.10373	27.56181	73.82155
MM	8		2.770501	3.613717	48.97982	27.49226	73.63526
REAL	8				49.14782	27.58656	73.88784
MDP	9		2.497618	3.744035	57.86207	32.16035	83.35962
ME	9		2.500062	3.743945	57.82092	32.13748	83.30034
MG	9	0.994783	2.451226	3.745052	58.63978	32.59261	84.48004
MLE	9		2.508288	3.745536	57.77104	32.10975	83.22848
MM	9		2.485809	3.744462	58.0627	32.27186	83.64865
REAL	9				57.5387	31.98062	82.89376
MDP	10		2.807514	3.959781	64.01049	35.45261	94.95628
ME	10		2.918906	3.953617	62.545	34.64094	92.7823
MG	10	0.996934	2.993247	3.942944	61.35878	33.98395	91.0226
MLE	10		2.921857	3.956376	62.64736	34.69764	92.93415
MM	10		2.915055	3.953835	62.59279	34.66741	92.8532
REAL	10				62.65399	34.70131	92.94398
MDP	11		2.24505	3.043738	33.63505	18.54566	48.07034
ME	11		2.247356	3.043716	33.60577	18.52951	48.02848
MG	11	0.9927	2.2854	3.032862	32.7978	18.08401	46.87376
MLE	11		2.243718	3.047417	33.77374	18.62213	48.26855
MM	11		2.227908	3.043885	33.85584	18.66739	48.38588
REAL	11				33.73072	18.59841	48.20707
MDP	12		2.24688	2.750738	24.8099	13.76363	36.86451
ME	12		2.249948	2.75071	24.78124	13.74773	36.82193
MG	12	0.993977	2.288603	2.741329	24.19282	13.4213	35.94761
MLE	12		2.245587	2.753994	24.90998	13.81916	37.01323
MM	12		2.230547	2.750868	24.96468	13.8495	37.0945
REAL	12				24.87939	13.80219	36.96778
MÍN		0.987326	1.991452	2.433956	17.76825	9.849532	25.52999
MÁX		0.996934	2.993247	3.959781	64.01049	35.45261	94.95628
MÉD		0.992955	2.399884	3.160129	37.41537	20.80556	54.74567

2015	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.381895	3.103501	34.05338	18.77824	50.29564
ME	1		2.400136	3.103077	33.85253	18.66749	49.99899
MG	1	0.994413	2.457878	3.092125	32.94492	18.167	48.65849
MLE	1		2.397587	3.106637	33.99506	18.74608	50.2095
MM	1		2.383691	3.10346	34.03339	18.76722	50.26611
REAL	1				34.01453	18.75682	50.23826
MDP	2		2.05857	2.868481	30.46172	16.80969	40.66599
ME	2		2.055874	2.868438	30.50012	16.83088	40.71726
MG	2	0.99036	2.082078	2.856599	29.75104	16.41751	39.71724
MLE	2		2.046472	2.87169	30.74477	16.96588	41.04386
MM	2		2.033456	2.868034	30.82605	17.01073	41.15237
REAL	2				30.63313	16.90428	40.89482
MDP	3		2.176883	2.697093	24.028	13.23547	35.44989
ME	3		2.178751	2.697091	24.00974	13.22541	35.42294
MG	3	0.993548	2.200531	2.689188	23.59345	12.99611	34.80877
MLE	3		2.169351	2.699557	24.16812	13.31265	35.65661
MM	3		2.158123	2.697096	24.21436	13.33812	35.72483
REAL	3				24.12988	13.29159	35.6002
MDP	4		2.002518	2.26581	15.44298	8.545695	22.15044
ME	4		2.039854	2.266465	15.1644	8.391539	21.75087
MG	4	0.98681	2.197046	2.249332	13.82562	7.650696	19.8306
MLE	4		2.040738	2.271899	15.26704	8.448335	21.89809
MM	4		2.017238	2.266092	15.33106	8.483761	21.98991
REAL	4				15.53255	8.595261	22.27892
MDP	5		2.142659	2.714549	24.8491	13.85532	37.11008
ME	5		2.167857	2.714583	24.58904	13.71031	36.72169
MG	5	0.988864	2.310666	2.695575	22.82874	12.72881	34.09284
MLE	5		2.167476	2.720528	24.75483	13.80275	36.96929
MM	5		2.147053	2.714561	24.80302	13.82962	37.04126
REAL	5				24.96789	13.92155	37.28747
MDP	6		2.372697	3.0835	33.49382	18.77303	48.6597
ME	6		2.39711	3.082948	33.22803	18.62406	48.27356
MG	6	0.987827	2.528263	3.064466	31.47889	17.64368	45.73242
MLE	6		2.401431	3.08911	33.3846	18.71182	48.50102
MM	6		2.380601	3.083327	33.40681	18.72426	48.53328
REAL	6				33.46612	18.7575	48.61945
MDP	7		2.545304	3.48835	46.23513	25.93877	69.4744
ME	7		2.614836	3.48565	45.37813	25.45798	68.18665
MG	7	0.991458	2.785038	3.464521	43.04502	24.14906	64.68085
MLE	7		2.600879	3.490653	45.71867	25.64903	68.69836
MM	7		2.603271	3.486116	45.51567	25.53514	68.39332
REAL	7				45.88049	25.73981	68.94151
MDP	8		2.604955	3.501606	46.10737	25.79825	69.09803
ME	8		2.668129	3.498972	45.37037	25.38588	67.99354
MG	8	0.995763	2.770311	3.484998	43.93164	24.58087	65.83741

MLE	8		2.66307	3.502798	45.56806	25.49649	68.28981
MM	8		2.657864	3.499412	45.4864	25.4508	68.16741
REAL	8				45.62526	25.5285	68.37552
MDP	9		2.441371	3.350922	42.12223	23.35988	60.54881
ME	9		2.471102	3.350029	41.7437	23.14996	60.00469
MG	9	0.991451	2.580624	3.333408	40.00212	22.18412	57.50125
MLE	9		2.473969	3.355579	41.91899	23.24717	60.25665
MM	9		2.456198	3.350484	41.93163	23.25418	60.27483
REAL	9				41.98263	23.28246	60.34814
MDP	10		2.537539	3.494897	46.5854	25.69346	68.81737
ME	10		2.567785	3.493764	46.19785	25.47971	68.24486
MG	10	0.997673	2.585153	3.488364	45.79537	25.25773	67.65031
MLE	10		2.569528	3.496292	46.27894	25.52444	68.36466
MM	10		2.555099	3.494245	46.35863	25.56839	68.48237
REAL	10				46.2443	25.50533	68.31348
MDP	11		2.214797	3.155158	37.8951	20.6576	53.5445
ME	11		2.223417	3.155099	37.76825	20.58845	53.36527
MG	11	0.993502	2.294708	3.140846	36.31004	19.79354	51.30487
MLE	11		2.220474	3.159977	37.98626	20.70729	53.67331
MM	11		2.203544	3.155222	38.06317	20.74922	53.78197
REAL	11				38.02831	20.73022	53.73272
MDP	12		2.427818	3.453957	46.30688	25.39901	68.0287
ME	12		2.439541	3.453614	46.1386	25.30671	67.78148
MG	12	0.997553	2.423248	3.45155	46.27103	25.37935	67.97604
MLE	12		2.434207	3.455047	46.2661	25.37664	67.96879
MM	12		2.423942	3.454068	46.3631	25.42984	68.1113
REAL	12				46.17734	25.32796	67.8384
	MÍN	0.98681	2.002518	2.249332	13.82562	7.650696	19.8306
	MÁX	0.997673	2.785038	3.502798	46.5854	25.93877	69.4744
	MÉD	0.992435	2.359203	3.09584	35.28287	19.54281	51.47242

2016	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		1.765718	2.264661	17.92722	9.962548	26.68369
ME	1		1.798145	2.266795	17.5483	9.751973	26.11968
MG	1	0.978537	1.950333	2.246792	15.49331	8.609971	23.06095
MLE	1		1.808843	2.274863	17.60029	9.780867	26.19707
MM	1		1.773739	2.265216	17.83119	9.909184	26.54076
REAL	1				17.98484	9.994569	26.76945
MDP	2		1.886956	2.465541	21.26486	11.82503	28.60712
ME	2		1.91314	2.466629	20.95237	11.65127	28.18674
MG	2	0.98443	2.041501	2.447549	19.08174	10.61104	25.67022
MLE	2		1.916362	2.473164	21.07845	11.72137	28.35635
MM	2		1.889279	2.465644	21.23653	11.80928	28.56901
REAL	2				21.37467	11.8861	28.75485
MDP	3		2.187335	2.749465	25.34803	13.94906	37.36115
ME	3		2.19035	2.749457	25.31732	13.93216	37.31589
MG	3	0.991488	2.2557	2.736449	24.34665	13.398	35.88519
MLE	3		2.188573	2.753922	25.4589	14.01007	37.52456
MM	3		2.169913	2.74949	25.5283	14.04826	37.62686
REAL	3				25.45078	14.0056	37.51259
MDP	4		2.261403	2.965509	30.92279	17.05957	44.21841
ME	4		2.277307	2.965321	30.74215	16.95991	43.96009
MG	4	0.991153	2.386707	2.948404	29.15607	16.0849	41.69207
MLE	4		2.277873	2.970921	30.91049	17.05278	44.20082
MM	4		2.25841	2.965541	30.95725	17.07858	44.26769
REAL	4				30.99851	17.10134	44.32668
MDP	5		2.271018	2.884303	28.35364	15.71488	42.09074
ME	5		2.288014	2.884091	28.17858	15.61786	41.83087
MG	5	0.98719	2.422019	2.865371	26.48279	14.67797	39.31348
MLE	5		2.292669	2.890583	28.32359	15.69823	42.04613
MM	5		2.269318	2.884323	28.37139	15.72472	42.11709
REAL	5				28.41616	15.74953	42.18355
MDP	6		2.068483	2.995457	34.52427	19.33186	50.10817
ME	6		2.074395	2.995541	34.43062	19.27941	49.97224
MG	6	0.988555	2.165273	2.97686	32.4616	18.17686	47.11443
MLE	6		2.074057	3.00177	34.65139	19.40304	50.29267
MM	6		2.052218	2.995196	34.78667	19.47878	50.489
REAL	6				34.71635	19.43941	50.38695
MDP	7		2.246163	3.473851	49.98339	28.04133	75.10589
ME	7		2.265851	3.47361	49.61698	27.83577	74.55531
MG	7	0.988328	2.398725	3.45094	46.58099	26.13253	69.99338
MLE	7		2.267549	3.480971	49.90272	27.99607	74.98467
MM	7		2.24674	3.473845	49.9725	28.03521	75.08951
REAL	7				50.12425	28.12035	75.31754
MDP	8		2.324746	3.528715	50.97285	28.50924	76.35916
ME	8		2.336062	3.52848	50.77406	28.39806	76.06136
MG	8	0.990184	2.427047	3.510735	48.63906	27.20395	72.86307

MLE	8		2.340215	3.534862	50.98139	28.51402	76.37195
MM	8		2.318301	3.528843	51.08748	28.57336	76.53088
REAL	8				51.00876	28.52933	76.41295
MDP	9		2.620149	3.776742	57.65394	31.99771	82.93807
ME	9		2.666364	3.774649	56.9826	31.62512	81.97231
MG	9	0.996912	2.693377	3.767961	56.36321	31.28136	81.08129
MLE	9		2.672475	3.777384	57.0332	31.65321	82.04511
MM	9		2.656055	3.775124	57.12917	31.70647	82.18317
REAL	9				57.00843	31.63946	82.00948
MDP	10		2.296925	3.687398	58.71055	32.35109	86.64916
ME	10		2.279737	3.68769	59.07596	32.55244	87.18845
MG	10	0.994959	2.230286	3.686664	60.09798	33.1156	88.69683
MLE	10		2.274117	3.689244	59.26807	32.6583	87.47199
MM	10		2.260886	3.687969	59.48723	32.77906	87.79544
REAL	10				58.79926	32.39997	86.78009
MDP	11		2.286063	3.555208	52.81798	28.98707	75.13448
ME	11		2.276551	3.555356	53.00102	29.08752	75.39485
MG	11	0.995578	2.249029	3.551699	53.36335	29.28637	75.91028
MLE	11		2.269599	3.557231	53.21592	29.20546	75.70055
MM	11		2.25764	3.555619	53.37246	29.29137	75.92323
REAL	11				52.91352	29.0395	75.27038
MDP	12		2.244782	3.413114	47.43134	25.98473	69.5975
ME	12		2.222451	3.413321	47.83863	26.20786	70.19513
MG	12	0.993676	2.155494	3.413805	49.15606	26.9296	72.12824
MLE	12		2.211307	3.41379	48.06343	26.33101	70.52498
MM	12		2.202562	3.413451	48.2129	26.4129	70.7443
REAL	12				47.56655	26.0588	69.79589
MÍN		0.978537	1.765718	2.246792	15.49331	8.609971	23.06095
MÁX		0.996912	2.693377	3.777384	60.09798	33.1156	88.69683
MÉD		0.990083	2.222872	3.145052	39.47799	21.87441	57.6407



## 9. ANEXO III

# AMBIENTAIS *NATAL*

<b>2010</b>	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		3.225100	4.838779	110.175306	63.251420	169.412603
ME	1		3.588636	4.812155	104.907171	60.226994	161.311981
MG	1	0.99768	3.601382	4.813184	104.878183	60.210352	161.267407
MLE	1		3.560876	4.810787	105.032076	60.298701	161.504042
MM	1		3.602628	4.811143	104.735543	60.128462	161.048074
REAL	1				104.945039	60.248734	161.370208
MDP	2		3.152682	4.959940	119.637944	68.517368	165.757216
ME	2		3.497427	4.934037	113.871089	65.214655	157.767294
MG	2	0.99554	3.684000	4.913450	110.941738	63.536998	153.708706
MLE	2		3.409479	4.935542	114.822042	65.759272	159.084830
MM	2		3.509022	4.933171	113.706104	65.120168	157.538709
REAL	2				114.535756	65.595314	158.688184
MDP	3		2.922959	4.568559	96.443760	55.127431	147.653311
ME	3		3.101543	4.556586	93.338001	53.352173	142.898461
MG	3	0.99745	3.220853	4.541080	91.107767	52.077368	139.484021
MLE	3		3.078180	4.559139	93.772592	53.600586	143.563810
MM	3		3.102550	4.556517	93.322024	53.343041	142.874000
REAL	3				93.741969	53.583082	143.516927
MDP	4		2.565252	4.467909	96.675807	55.364471	143.504709
ME	4		2.595713	4.466392	95.887118	54.912803	142.333986
MG	4	0.99731	2.591036	4.463108	95.779472	54.851156	142.174196
MLE	4		2.599428	4.468824	95.961711	54.955521	142.444710
MM	4		2.583690	4.466998	96.194915	55.089073	142.790877
REAL	4				95.846309	54.889433	142.273409
MDP	5		2.584939	4.276414	84.375632	48.472563	129.828912
ME	5		2.650773	4.273130	82.945896	47.651200	127.628975
MG	5	0.99191	2.792290	4.251598	79.447127	45.641209	122.245414
MLE	5		2.645366	4.279416	83.409893	47.917760	128.342928
MM	5		2.640082	4.273680	83.170474	47.780217	127.974534
REAL	5				83.574073	48.012079	128.595553
MDP	6		2.598031	4.320254	86.733229	50.167931	130.035278
ME	6		2.685525	4.315731	84.828002	49.065917	127.178856
MG	6	0.99392	2.774670	4.305898	82.796268	47.890728	124.132768
MLE	6		2.649568	4.317521	85.580075	49.500928	128.306405
MM	6		2.675690	4.316259	85.032459	49.184178	127.485389
REAL	6				85.855222	49.660078	128.718921
MDP	7		2.647759	4.648094	106.822776	62.136395	166.426121
ME	7		2.802544	4.638842	103.003135	59.914596	160.475255
MG	7	0.94721	3.224612	4.590061	94.049269	54.706335	146.525448
MLE	7		2.741174	4.649276	104.886049	61.009845	163.408769
MM	7		2.795666	4.639274	103.159013	60.005267	160.718108
REAL	7				105.479969	61.355315	164.334075
MDP	8		2.726192	5.136639	141.860815	82.689087	221.474452
ME	8		2.876416	5.126201	137.256214	80.005117	214.285705
MG	8	0.96127	3.228840	5.079299	127.383212	74.250254	198.871881

MLE	8		2.833407	5.137349	139.152581	81.110488	217.246331	
MM	8		2.871452	5.126559	137.396560	80.086923	214.504814	
REAL	8				139.496100	81.310721	217.782635	
MDP	9		2.760436	5.668286	189.376531	106.639865	276.410529	
ME	9		2.892070	5.658050	184.096728	103.666754	268.704226	
MG	9	0.96145	3.171975	5.615531	173.234368	97.550048	252.849723	
MLE	9		2.881570	5.670914	185.669272	104.552269	270.999482	
MM	9		2.887515	5.658414	184.267084	103.762683	268.952874	
REAL	9				185.865089	104.662536	271.285293	
MDP	10		3.100899	5.417787	156.906382	90.445515	242.249267	
ME	10		3.414444	5.392088	149.658633	86.267696	231.059398	
MG	10	0.98114	3.693537	5.357593	143.739238	82.855581	221.920387	
MLE	10		3.341160	5.397613	151.129460	87.115525	233.330221	
MM	10		3.423837	5.391318	149.471762	86.159979	230.770887	
REAL	10				150.747807	86.895529	232.740984	
MDP	11		3.558531	5.943036	198.050002	113.822250	295.027272	
ME	11		4.386047	5.873424	183.509858	105.465816	273.367394	
MG	11	0.98818	4.689315	5.844441	179.390139	103.098152	267.230411	
MLE	11		4.212829	5.877432	184.959262	106.298809	275.526514	
MM	11		4.419239	5.870858	183.087168	105.222890	272.737730	
REAL	11				184.101293	105.805722	274.248431	
MDP	12		3.299511	5.311522	144.599239	82.967554	222.220297	
ME	12		3.788192	5.272599	136.211911	78.155108	209.330641	
MG	12	0.98418	4.092290	5.240870	131.760454	75.600970	202.489637	
MLE	12		3.672247	5.277432	137.574806	78.937104	211.425139	
MM	12		3.807316	5.271120	135.947120	78.003177	208.923710	
REAL	12				137.006839	78.611218	210.552287	
		MÍN	0.94721	2.565252	4.251598	79.447127	45.641209	122.245414
		MÁX	0.99768	4.689315	5.943036	198.050002	113.822250	295.027272
		MÉD	0.98310	3.168840	4.943152	122.893249	70.574201	185.345166

<b>2011</b>	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.52528	4.36541	91.06599	52.35682	140.23251
ME	1		2.51173	4.36601	91.41876	52.55964	140.77574
MG	1	0.98792	2.29133	4.40398	100.21403	57.61633	154.31957
MLE	1		2.50720	4.36016	91.15874	52.41014	140.37533
MM	1		2.49775	4.36661	91.78954	52.77281	141.34670
REAL	1				90.44861	52.00187	139.28181
MDP	2		2.95278	4.75204	108.04683	61.93298	149.82826
ME	2		3.11049	4.74099	105.01754	60.19657	145.62755
MG	2	0.99893	3.07397	4.74637	105.86399	60.68176	146.80131
MLE	2		3.12253	4.74011	104.80377	60.07404	145.33111
MM	2		3.11173	4.74090	104.99545	60.18391	145.59691
REAL	2				104.82247	60.08475	145.35704
MDP	3		2.47988	3.82159	61.82267	35.42735	94.88863
ME	3		2.49847	3.82090	61.48583	35.23433	94.37162
MG	3	0.99424	2.42622	3.82924	63.12952	36.17624	96.89444
MLE	3		2.48478	3.81952	61.64177	35.32369	94.61097
MM	3		2.48418	3.82143	61.74399	35.38226	94.76785
REAL	3				61.52287	35.25555	94.42847
MDP	4		2.42132	3.66672	55.50619	31.95295	82.82206
ME	4		2.43923	3.66616	55.19718	31.77507	82.36097
MG	4	0.99517	2.41170	3.66769	55.70642	32.06822	83.12083
MLE	4		2.42650	3.66662	55.41883	31.90267	82.69171
MM	4		2.42363	3.66665	55.46596	31.92979	82.76203
REAL	4				55.36443	31.87135	82.61054
MDP	5		2.47192	4.03340	72.83875	42.08783	112.72805
ME	5		2.54706	4.03038	71.27877	41.18644	110.31376
MG	5	0.99358	2.70733	4.00925	67.70803	39.12319	104.78755
MLE	5		2.51691	4.03428	72.02824	41.61950	111.47367
MM	5		2.53389	4.03093	71.54163	41.33833	110.72058
REAL	5				72.50920	41.89741	112.21803
MDP	6		2.50916	4.11485	76.58290	44.45297	115.22210
ME	6		2.62141	4.10982	74.27149	43.11129	111.74447
MG	6	0.98074	2.92828	4.07332	68.30080	39.64557	102.76133
MLE	6		2.57546	4.11634	75.41896	43.77735	113.47090
MM	6		2.61000	4.11036	74.49211	43.23936	112.07642
REAL	6				76.11727	44.18269	114.52153
MDP	7		2.37807	4.43731	99.64863	58.01540	155.38844
ME	7		2.46435	4.43417	96.97993	56.46168	151.22697
MG	7	0.98740	2.70653	4.40091	89.56703	52.14589	139.66756
MLE	7		2.43143	4.44041	98.29137	57.22520	153.27197
MM	7		2.44930	4.43477	97.42395	56.72019	151.91935
REAL	7				99.54802	57.95682	155.23155
MDP	8		2.69993	4.77669	114.67776	66.73626	178.74640
ME	8		2.83542	4.76811	111.21472	64.72096	173.34863
MG	8	0.98152	3.12125	4.72985	104.14152	60.60474	162.32373

MLE	8		2.79223	4.77581	112.60748	65.53147	175.51950
MM	8		2.82939	4.76850	111.35799	64.80433	173.57193
REAL	8				112.92709	65.71747	176.01767
MDP	9		2.75569	5.69549	192.28881	111.74008	289.63030
ME	9		2.88726	5.68524	186.90812	108.61333	281.52576
MG	9	0.94957	3.17592	5.64367	175.77197	102.14205	264.75221
MLE	9		2.87885	5.69937	188.56111	109.57390	284.01555
MM	9		2.88258	5.68562	187.08661	108.71706	281.79462
REAL	9				188.77386	109.69753	284.33599
MDP	10		3.28014	5.51406	162.09624	93.49158	250.40784
ME	10		3.74693	5.47537	152.91485	88.19607	236.22435
MG	10	0.98773	4.01410	5.44622	148.37113	85.57540	229.20516
MLE	10		3.63332	5.47945	154.39155	89.04778	238.50557
MM	10		3.76500	5.47391	152.62577	88.02934	235.77778
REAL	10				153.79861	88.70579	237.58959
MDP	11		3.57575	5.52353	158.79797	91.39894	236.90604
ME	11		4.44560	5.45598	146.83846	84.51543	219.06400
MG	11	0.97830	4.80513	5.42562	143.18333	82.41166	213.61102
MLE	11		4.25450	5.46201	148.22363	85.31269	221.13050
MM	11		4.48006	5.45354	146.49947	84.32032	218.55827
REAL	11				147.42234	84.85149	219.93507
MDP	12		3.60283	5.52918	158.97390	91.42346	244.86861
ME	12		4.49597	5.46022	146.97479	84.52296	226.38630
MG	12	0.98885	4.78229	5.43549	144.02961	82.82923	221.84981
MLE	12		4.36153	5.46431	147.88383	85.04573	227.78649
MM	12		4.53148	5.45773	146.63528	84.32771	225.86334
REAL	12				147.28402	84.70079	226.86260
MÍN		0.94957	2.29133	3.66616	55.19718	31.77507	82.36097
MÁX		0.99893	4.80513	5.69937	192.28881	111.74008	289.63030
MÉD		0.98533	3.02142	4.66874	108.90917	62.89811	165.22309

## 10. ANEXO IV

AMBIENTAIS  
*SÃO LUIZ-MA*

<b>2016</b>	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	epl
MDP	1		2.27616	3.29841	42.32632	26.98942	72.28846
ME	1		2.27380	3.29845	42.36292	27.01275	72.35096
MG	1	0.99633	2.25271	3.29598	42.58959	27.15729	72.73810
MLE	1		2.26334	3.29991	42.57806	27.14994	72.71839
MM	1		2.25483	3.29868	42.66151	27.20315	72.86092
REAL	1				42.41402	27.04534	72.43823
MDP	2		2.10755	2.99327	33.83216	19.92600	48.20498
ME	2		2.11424	2.99332	33.73286	19.86752	48.06350
MG	2	0.99226	2.16612	2.98029	32.56246	19.17819	46.39588
MLE	2		2.10726	2.99731	33.97373	20.00939	48.40671
MM	2		2.09262	2.99313	34.05742	20.05868	48.52595
REAL	2				34.00870	20.02998	48.45652
MDP	3		1.73047	2.41942	22.47615	13.60662	36.44396
ME	3		1.74496	2.42064	22.24961	13.46947	36.07663
MG	3	0.97670	1.85962	2.39934	19.94488	12.07423	32.33962
MLE	3		1.75022	2.42857	22.37593	13.54594	36.28145
MM	3		1.72052	2.41855	22.63568	13.70319	36.70262
REAL	3				22.53173	13.64026	36.53408
MDP	4		1.70642	2.51543	25.76884	16.32533	42.31525
ME	4		1.69827	2.51461	25.92335	16.42322	42.56898
MG	4	0.97400	1.70454	2.49728	25.25517	15.99990	41.47174
MLE	4		1.67743	2.51576	26.43671	16.74845	43.41198
MM	4		1.67394	2.51203	26.40139	16.72607	43.35396
REAL	4				25.81895	16.35708	42.39754
MDP	5		2.10903	2.65947	23.71321	15.67454	41.98269
ME	5		2.13645	2.65962	23.43323	15.48947	41.48700
MG	5	0.99151	2.19506	2.65092	22.64926	14.97126	40.09903
MLE	5		2.12351	2.66210	23.63147	15.62051	41.83797
MM	5		2.11516	2.65951	23.64961	15.63250	41.87009
REAL	5				23.83657	15.75608	42.20109
MDP	6		1.80730	2.52463	24.08384	16.22065	42.04393
ME	6		1.83180	2.52616	23.71683	15.97346	41.40322
MG	6	0.98361	1.94037	2.50797	21.67234	14.59648	37.83409
MLE	6		1.83389	2.53266	23.86611	16.07401	41.66383
MM	6		1.80749	2.52464	24.08098	16.21873	42.03894
REAL	6				24.18032	16.28563	42.21236
MDP	7		2.04860	2.64600	24.02562	16.00245	42.86096
ME	7		2.14005	2.64685	23.06169	15.36041	41.14133
MG	7	0.97633	2.42902	2.62036	20.21283	13.46291	36.05907
MLE	7		2.13548	2.65362	23.28463	15.50891	41.53906
MM	7		2.11881	2.64676	23.27321	15.50130	41.51869
REAL	7				24.16211	16.09336	43.10445
MDP	8		2.65021	3.50600	45.81887	29.10441	77.95326
ME	8		2.74317	3.50189	44.80266	28.45891	76.22435
MG	8	0.99428	2.84787	3.49115	43.56201	27.67084	74.11358

MLE	8		2.71445	3.50399	45.13590	28.67059	76.79130
MM	8		2.73478	3.50228	44.88999	28.51438	76.37292
REAL	8				45.23723	28.73495	76.96369
MDP	9		2.95198	3.99813	64.35678	38.05171	98.63003
ME	9		3.15923	3.98586	62.03993	36.68184	95.07934
MG	9	0.98282	3.39569	3.96108	59.42860	35.13787	91.07735
MLE	9		3.13103	3.99105	62.49219	36.94925	95.77245
MM	9		3.16178	3.98571	62.01422	36.66664	95.03994
REAL	9				62.43939	36.91803	95.69154
MDP	10		2.90777	4.34254	83.02247	48.86716	130.88580
ME	10		3.08653	4.33119	80.31299	47.27236	126.61428
MG	10	0.98807	3.12112	4.33318	80.07714	47.13353	126.24245
MLE	10		3.04561	4.33205	80.79062	47.55349	127.36727
MM	10		3.08714	4.33115	80.30463	47.26744	126.60110
REAL	10				80.77315	47.54320	127.33972
MDP	11		3.11024	4.57189	94.17952	59.83373	155.08902
ME	11		3.40955	4.55118	90.03059	57.19785	148.25682
MG	11	0.99114	3.61372	4.52897	87.29837	55.46203	143.75758
MLE	11		3.36938	4.55504	90.58784	57.55188	149.17447
MM	11		3.41881	4.55054	89.91932	57.12716	148.07359
REAL	11				90.42558	57.44879	148.90728
MDP	12		2.48541	3.81842	61.57823	40.37041	108.12812
ME	12		2.48001	3.81862	61.67650	40.43484	108.30067
MG	12	0.99587	2.34548	3.83516	64.99900	42.61306	114.13481
MLE	12		2.47603	3.81644	61.63726	40.40911	108.23177
MM	12		2.46531	3.81914	61.94799	40.61283	108.77739
REAL	12				61.26556	40.16543	107.57909
MÍN		0.97400	1.67394	2.39934	19.94488	12.07423	32.33962
MÁX		0.99633	3.61372	4.57189	94.17952	59.83373	155.08902
MÉD		0.98691	2.39766	3.26957	44.56245	27.87658	73.32521



## **11. ANEXO V**

### **ANEMOMÉTRICOS** *SÃO JOÃO DO CARIRI-PB*

2006-25m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	ep1
MDP	1		3.17787	6.10351	222.28291	124.47843	333.40303
ME	1		3.45549	6.07781	213.57026	119.59934	320.33488
MG	1	0.99634	3.37681	6.09034	216.38184	121.17383	324.55199
MLE	1		3.52163	6.07459	212.09331	118.77225	318.11960
MM	1		3.46598	6.07684	213.28162	119.43771	319.90195
REAL	1				212.43229	118.96208	318.62804
MDP	2		2.26817	4.82896	133.19451	74.58893	180.44553
ME	2		2.26092	4.82909	133.55253	74.78942	180.93056
MG	2	0.99861	2.21791	4.83082	135.85123	76.07669	184.04473
MLE	2		2.25003	4.83069	134.21537	75.16060	181.82854
MM	2		2.24172	4.82940	134.51921	75.33076	182.24016
REAL	2				133.49793	74.75884	180.85659
MDP	3		2.17110	4.39801	104.42938	58.48045	156.63404
ME	3		2.15165	4.39799	105.27496	58.95398	157.90233
MG	3	0.99685	2.05737	4.40706	110.53423	61.89917	165.79073
MLE	3		2.12968	4.39583	106.11229	59.42288	159.15824
MM	3		2.13059	4.39788	106.21974	59.48305	159.31941
REAL	3				104.88252	58.73421	157.31370
MDP	4		1.88102	3.66115	69.88851	39.13757	101.44458
ME	4		1.90068	3.66242	69.10698	38.69991	100.31016
MG	4	0.99323	1.98478	3.64155	64.71763	36.24187	93.93894
MLE	4		1.89792	3.66961	69.63309	38.99453	101.07382
MM	4		1.87674	3.66085	70.06272	39.23512	101.69744
REAL	4				70.24470	39.33703	101.96159
MDP	5		2.17450	4.19911	90.76581	50.82885	136.14000
ME	5		2.18516	4.19908	90.37350	50.60916	135.55157
MG	5	0.99446	2.24829	4.18112	87.08268	48.76630	130.61566
MLE	5		2.17991	4.20503	90.95077	50.93243	136.41742
MM	5		2.16464	4.19911	91.13424	51.03517	136.69261
REAL	5				91.15441	51.04647	136.72287
MDP	6		1.93922	4.36094	114.01612	63.84902	165.49667
ME	6		1.93589	4.36074	114.22142	63.96399	165.79467
MG	6	0.98361	2.03831	4.32802	105.67706	59.17916	153.39237
MLE	6		1.94092	4.37369	114.90636	64.34756	166.78889
MM	6		1.91221	4.35921	115.71531	64.80057	167.96308
REAL	6				114.65627	64.20751	166.42586
MDP	7		2.25718	4.53670	110.88326	62.09463	166.31425
ME	7		2.22816	4.53710	112.10971	62.78144	168.15380
MG	7	0.99589	2.13021	4.54461	117.22938	65.64846	175.83282
MLE	7		2.21614	4.53661	112.58713	63.04879	168.86988
MM	7		2.20837	4.53730	112.97686	63.26704	169.45445
REAL	7				111.16635	62.25316	166.73886
MDP	8		2.52225	5.35068	167.81944	93.97889	251.71305
ME	8		2.48728	5.35253	169.52643	94.93480	254.27337
MG	8	0.99058	2.30592	5.38139	181.93131	101.88153	272.87950

MLE	8		2.50923	5.35086	168.39632	94.30194	252.57831	
MM	8		2.47274	5.35327	170.25899	95.34504	255.37215	
REAL	8				166.70394	93.35421	250.03990	
MDP	9		2.92890	6.03183	221.76155	124.18647	321.89132	
ME	9		3.03348	6.02263	217.44509	121.76925	315.62589	
MG	9	0.99482	2.90342	6.04500	224.10446	125.49850	325.29210	
MLE	9		3.10327	6.02089	215.29206	120.56355	312.50073	
MM	9		3.03266	6.02270	217.47692	121.78707	315.67209	
REAL	9				215.46880	120.66253	312.75727	
MDP	10		3.20304	6.32435	246.59207	138.09156	369.86444	
ME	10		3.49904	6.29596	236.55685	132.47183	354.81256	
MG	10	0.99589	3.37162	6.32001	241.91168	135.47054	362.84430	
MLE	10		3.57159	6.29199	234.79677	131.48619	352.17262	
MM	10		3.51068	6.29485	236.21325	132.27942	354.29720	
REAL	10				235.25039	131.74022	352.85301	
MDP	11		3.02613	6.32037	251.56656	140.87727	365.15389	
ME	11		3.23603	6.30048	242.93235	136.04212	352.62117	
MG	11	0.99805	3.29244	6.29062	240.37955	134.61255	348.91573	
MLE	11		3.24867	6.30341	242.94327	136.04823	352.63701	
MM	11		3.24065	6.30004	242.76124	135.94629	352.37279	
REAL	11				242.90306	136.02571	352.57865	
MDP	12		2.84456	6.09802	232.28101	130.07737	348.39922	
ME	12		2.94406	6.08943	227.65087	127.48449	341.45446	
MG	12	0.99463	2.95646	6.08460	226.68919	126.94595	340.01203	
MLE	12		2.98368	6.09431	226.87278	127.04876	340.28740	
MM	12		2.94087	6.08971	227.79178	127.56339	341.66580	
REAL	12				226.86101	127.04217	340.26974	
		MÍN	0.98361	1.87674	3.64155	64.71763	36.24187	93.93894
		MÁX	0.99861	3.57159	6.32435	251.56656	140.87727	369.86444
		MÉD	0.99441	2.58910	5.17921	161.70452	90.55453	238.31950

2006-50m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	epl
MDP	1		3.29867	6.95554	324.74163	181.85531	487.08127
ME	1		3.74168	6.90922	307.35189	172.11706	460.99833
MG	1	0.99475	3.90164	6.88518	301.42730	168.79929	452.11202
MLE	1		3.71902	6.91280	308.26437	172.62805	462.36696
MM	1		3.75962	6.90739	306.77306	171.79291	460.13014
REAL	1				307.70912	172.31711	461.53414
MDP	2		2.25795	5.45394	192.59865	107.85524	260.92340
ME	2		2.26600	5.45378	192.02381	107.53333	260.14464
MG	2	0.99858	2.27536	5.44707	190.68047	106.78107	258.32475
MLE	2		2.25553	5.45782	193.17990	108.18074	261.71086
MM	2		2.24690	5.45414	193.39925	108.30358	262.00802
REAL	2				193.08667	108.12853	261.58455
MDP	3		2.25342	5.06752	154.74724	86.65845	232.10600
ME	3		2.25971	5.06741	154.38424	86.45517	231.56154
MG	3	0.99903	2.24537	5.06590	155.05640	86.83158	232.56971
MLE	3		2.24580	5.06942	155.35458	86.99857	233.01696
MM	3		2.24049	5.06773	155.50447	87.08250	233.24178
REAL	3				155.15646	86.88762	232.71980
MDP	4		1.99455	4.26372	103.33734	57.86891	149.99621
ME	4		2.02372	4.26478	101.85706	57.03995	147.84756
MG	4	0.99468	2.13604	4.24049	94.99454	53.19694	137.88648
MLE	4		2.02085	4.27305	102.60056	57.45631	148.92676
MM	4		2.00091	4.26398	103.00812	57.68454	149.51834
REAL	4				103.93658	58.20449	150.86603
MDP	5		2.44926	4.96959	137.09405	76.77267	205.62792
ME	5		2.49845	4.96731	135.09645	75.65401	202.63170
MG	5	0.99849	2.56603	4.95431	131.78758	73.80104	197.66871
MLE	5		2.47804	4.97025	136.07143	76.20000	204.09409
MM	5		2.48416	4.96800	135.66370	75.97167	203.48253
REAL	5				136.59768	76.49470	204.88340
MDP	6		2.25439	5.26675	173.66468	97.25222	252.07776
ME	6		2.27418	5.26635	172.39616	96.54185	250.23647
MG	6	0.99352	2.37565	5.24207	164.41614	92.07304	238.65331
MLE	6		2.27223	5.27585	173.45071	97.13240	251.76717
MM	6		2.25523	5.26673	173.61029	97.22176	251.99881
REAL	6				174.11986	97.50712	252.73845
MDP	7		2.57283	5.40561	170.90407	95.70628	256.33970
ME	7		2.58917	5.40462	170.15525	95.28694	255.21653
MG	7	0.99823	2.48463	5.42223	176.36024	98.76173	264.52342
MLE	7		2.59208	5.40325	169.91043	95.14984	254.84933
MM	7		2.57699	5.40536	170.71206	95.59875	256.05170
REAL	7				169.37762	94.85147	254.05016
MDP	8		2.79969	6.24086	250.94432	140.52882	376.39240
ME	8		2.86301	6.23542	247.57138	138.63997	371.33330
MG	8	0.99531	2.79315	6.24564	251.81633	141.01715	377.70033

MLE	8		2.91152	6.23757	245.89821	137.70300	368.82371
MM	8		2.85770	6.23588	247.84558	138.79352	371.74457
REAL	8				245.73825	137.61342	368.58379
MDP	9		3.07489	6.88758	323.45380	181.13413	469.49966
ME	9		3.29663	6.86455	312.22716	174.84721	453.20396
MG	9	0.99759	3.31921	6.85892	310.76431	174.02801	451.08061
MLE	9		3.34340	6.86706	311.14493	174.24116	451.63309
MM	9		3.30287	6.86390	311.94356	174.68839	452.79231
REAL	9				311.30385	174.33016	451.86377
MDP	10		3.22093	7.12798	352.34967	197.31581	528.49067
ME	10		3.55523	7.09188	336.62136	188.50796	504.89973
MG	10	0.99788	3.50991	7.10246	339.31420	190.01595	508.93873
MLE	10		3.58678	7.08974	335.53329	187.89864	503.26773
MM	10		3.56834	7.09048	336.09246	188.21178	504.10643
REAL	10				335.72158	188.00408	503.55014
MDP	11		3.06237	7.08931	353.28917	197.84194	512.80630
ME	11		3.32517	7.06121	338.88287	189.77441	491.89526
MG	11	0.99064	3.49343	7.03319	329.91544	184.75264	478.87885
MLE	11		3.29867	7.06806	340.75849	190.82475	494.61776
MM	11		3.33218	7.06046	338.54491	189.58515	491.40470
REAL	11				340.30375	190.57010	493.95770
MDP	12		2.86309	6.81255	322.86853	180.80638	484.27180
ME	12		2.98778	6.80038	315.03113	176.41743	472.51646
MG	12	0.99293	3.06401	6.78356	309.45581	173.29525	464.15400
MLE	12		3.01166	6.80767	314.98324	176.39061	472.44462
MM	12		2.98575	6.80059	315.15072	176.48441	472.69583
REAL	12				314.98325	176.39062	472.44464
	MÍN	0.99064	1.99455	4.24049	94.99454	53.19694	137.88648
	MÁX	0.99903	3.90164	7.12798	353.28917	197.84194	528.49067
	MÉD	0.99597	2.78823	5.95043	232.81963	130.37900	343.13973

2007-25m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	ep1
MDP	1		3.06263	6.24337	241.30240	135.12935	361.93044
ME	1		3.25752	6.22506	233.77878	130.91612	350.64572
MG	1	0.98557	2.99818	6.28536	248.37142	139.08799	372.53328
MLE	1		3.29050	6.21703	232.08748	129.96899	348.10894
MM	1		3.26272	6.22457	233.59664	130.81412	350.37253
REAL	1				232.42907	130.16028	348.62130
MDP	2		2.08883	4.81121	141.69552	79.34949	191.96229
ME	2		2.07731	4.81098	142.43753	79.76501	192.96752
MG	2	0.99643	2.06328	4.80191	142.57991	79.84475	193.16042
MLE	2		2.06459	4.81432	143.59761	80.41466	194.53915
MM	2		2.05517	4.81045	143.90283	80.58559	194.95265
REAL	2				142.46102	79.77817	192.99936
MDP	3		2.50159	4.61460	108.22417	60.60553	162.32586
ME	3		2.47571	4.61574	109.05072	61.06841	163.56562
MG	3	0.99209	2.31572	4.63817	116.09973	65.01585	174.13845
MLE	3		2.48946	4.61447	108.56112	60.79423	162.83126
MM	3		2.46091	4.61637	109.53600	61.34016	164.29348
REAL	3				107.60115	60.25664	161.39139
MDP	4		2.34877	4.80526	127.71799	71.52207	185.38521
ME	4		2.32972	4.80582	128.55294	71.98965	186.59717
MG	4	0.99605	2.26031	4.81026	132.02536	73.93420	191.63745
MLE	4		2.32858	4.80773	128.75415	72.10232	186.88922
MM	4		2.31183	4.80631	129.35754	72.44022	187.76505
REAL	4				127.71277	71.51915	185.37764
MDP	5		2.34877	4.80526	127.71799	71.52207	191.56472
ME	5		2.32972	4.80582	128.55294	71.98965	192.81707
MG	5	0.99605	2.26031	4.81026	132.02536	73.93420	198.02536
MLE	5		2.32858	4.80773	128.75415	72.10232	193.11887
MM	5		2.31183	4.80631	129.35754	72.44022	194.02389
REAL	5				127.71277	71.51915	191.55690
MDP	6		2.24907	4.84928	135.81894	76.05861	197.14391
ME	6		2.21822	4.84968	137.43270	76.96231	199.48631
MG	6	0.99256	2.15570	4.84825	140.79210	78.84358	204.36255
MLE	6		2.21404	4.85250	137.89307	77.22012	200.15455
MM	6		2.19825	4.84985	138.51700	77.56952	201.06020
REAL	6				136.19234	76.26771	197.68591
MDP	7		2.59383	5.25753	156.46786	87.62200	234.68677
ME	7		2.56193	5.25940	157.81913	88.37871	236.71355
MG	7	0.98810	2.28600	5.31293	176.27763	98.71547	264.39952
MLE	7		2.58239	5.25186	156.37832	87.57186	234.55247
MM	7		2.54911	5.26012	158.37754	88.69142	237.55111
REAL	7				154.91539	86.75262	232.35821
MDP	8		2.80225	6.20236	246.21604	137.88098	369.30042
ME	8		2.84368	6.19884	244.02981	136.65669	366.02129
MG	8	0.98955	2.70072	6.22613	253.91148	142.19043	380.84284

MLE	8		2.91444	6.19954	241.31696	135.13750	361.95228
MM	8		2.83786	6.19934	244.33077	136.82523	366.47269
REAL	8				241.07221	135.00044	361.58517
MDP	9		2.85761	6.39493	267.30128	149.68872	387.99316
ME	9		2.89971	6.39114	265.00382	148.40214	384.65835
MG	9	0.98528	2.68539	6.43501	281.21321	157.47940	408.18660
MLE	9		2.99479	6.38812	260.87937	146.09245	378.67163
MM	9		2.89536	6.39154	265.23670	148.53255	384.99637
REAL	9				260.85945	146.08129	378.64271
MDP	10		3.23441	6.74454	298.05603	166.91138	447.05543
ME	10		3.56313	6.71096	285.07181	159.64021	427.58034
MG	10	0.99092	3.55032	6.71298	285.60342	159.93791	428.37771
MLE	10		3.64562	6.71031	283.31877	158.65851	424.95096
MM	10		3.57646	6.70961	284.61942	159.38688	426.90181
REAL	10				283.72014	158.88328	425.55297
MDP	11		3.30702	6.86616	312.12407	174.78948	453.05433
ME	11		3.71476	6.82402	296.61880	166.10653	430.54812
MG	11	0.99649	3.74103	6.81967	295.56814	165.51816	429.02307
MLE	11		3.79089	6.82451	295.31597	165.37694	428.65703
MM	11		3.73202	6.82228	296.07146	165.80002	429.75364
REAL	11				295.57574	165.52242	429.03410
MDP	12		2.97077	6.25849	246.16682	137.85342	369.22660
ME	12		3.15222	6.24165	238.43007	133.52084	357.62222
MG	12	0.99016	3.05661	6.26931	244.51560	136.92874	366.74993
MLE	12		3.13788	6.23915	238.55130	133.58873	357.80405
MM	12		3.15458	6.24142	238.33804	133.46930	357.48418
REAL	12				238.54628	133.58591	357.79651
MÍN		0.98528	2.05517	4.61447	107.60115	60.25664	161.39139
MÁX		0.99649	3.79089	6.86616	312.12407	174.78948	453.05433
MÉD		0.99160	2.74984	5.65046	198.61138	111.22237	292.81597

2007-50m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	ep1
MDP	1		3.10080	6.97572	334.92492	187.55795	502.35522
ME	1		3.35704	6.94869	321.95918	180.29714	482.90786
MG	1	0.99588	3.35522	6.95278	322.58310	180.64654	483.84368
MLE	1		3.36588	6.94957	321.81706	180.21755	482.69470
MM	1		3.36491	6.94786	321.60773	180.10033	482.38072
REAL	1				321.78126	180.19750	482.64099
MDP	2		2.10551	5.39498	198.27115	111.03184	268.60824
ME	2		2.09981	5.39489	198.77256	111.31263	269.28752
MG	2	0.99803	2.06591	5.39438	201.87939	113.05246	273.49651
MLE	2		2.08225	5.39602	200.51188	112.28665	271.64387
MM	2		2.07798	5.39444	200.73614	112.41224	271.94769
REAL	2				199.31006	111.61363	270.01571
MDP	3		2.73667	5.35658	160.54720	89.90643	240.80538
ME	3		2.78278	5.35332	158.86971	88.96704	238.28931
MG	3	0.99669	2.66997	5.37189	164.12101	91.90777	246.16576
MLE	3		2.80989	5.35238	158.01418	88.48794	237.00610
MM	3		2.77540	5.35385	159.13250	89.11420	238.68348
REAL	3				157.77985	88.35671	236.65462
MDP	4		2.47778	5.49949	184.34427	103.23279	267.57939
ME	4		2.49586	5.49854	183.36503	102.68442	266.15801
MG	4	0.99795	2.46058	5.50451	185.71635	104.00116	269.57099
MLE	4		2.49163	5.50067	183.78313	102.91855	266.76489
MM	4		2.48152	5.49930	184.14012	103.11847	267.28307
REAL	4				183.46618	102.74106	266.30483
MDP	5		2.47778	5.49949	184.34427	103.23279	276.49871
ME	5		2.49586	5.49854	183.36503	102.68442	275.02994
MG	5	0.99795	2.46058	5.50451	185.71635	104.00116	278.55669
MLE	5		2.49163	5.50067	183.78313	102.91855	275.65705
MM	5		2.48152	5.49930	184.14012	103.11847	276.19251
REAL	5				183.46618	102.74106	275.18165
MDP	6		2.55328	5.64867	195.93035	109.72100	284.39683
ME	6		2.58675	5.64659	194.15710	108.72797	281.82291
MG	6	0.99209	2.64884	5.62851	189.63425	106.19518	275.25791
MLE	6		2.59789	5.65399	194.41867	108.87445	282.20258
MM	6		2.57452	5.64736	194.79695	109.08629	282.75167
REAL	6				194.35674	108.83977	282.11269
MDP	7		2.87232	6.01768	222.18942	124.42608	333.26280
ME	7		2.95386	6.01068	218.61158	122.42249	327.89639
MG	7	0.99229	2.73183	6.06030	232.71790	130.32202	349.05451
MLE	7		2.99659	6.00503	216.64839	121.32310	324.95179
MM	7		2.95093	6.01093	218.73485	122.49152	328.08128
REAL	7				216.64157	121.31928	324.94155
MDP	8		3.09538	7.06262	347.83549	194.78788	521.71985
ME	8		3.32589	7.03802	335.53143	187.89760	503.26494
MG	8	0.98602	3.38446	7.02663	332.07400	185.96144	498.07913



MLE	8		3.39868	7.04372	334.07523	187.08213	501.08077
MM	8		3.33292	7.03727	335.19608	187.70981	502.76195
REAL	8				334.30788	187.21241	501.42973
MDP	9		3.09052	7.23986	374.91545	209.95265	544.19728
ME	9		3.29712	7.21728	362.85555	203.19911	526.69209
MG	9	0.98854	3.27014	7.22150	364.49183	204.11542	529.06718
MLE	9		3.39591	7.21972	359.83745	201.50897	522.31126
MM	9		3.30337	7.21659	362.52541	203.01423	526.21288
REAL	9				360.45291	201.85363	523.20460
MDP	10		3.32097	7.52310	409.99555	229.59751	614.95397
ME	10		3.77974	7.47134	387.74894	217.13940	581.58618
MG	10	0.98789	3.95457	7.44376	379.89165	212.73933	569.80101
MLE	10		3.78887	7.47718	388.45247	217.53339	582.64142
MM	10		3.79865	7.46926	386.99926	216.71959	580.46174
REAL	10				387.86786	217.20600	581.76455
MDP	11		3.33164	7.61841	425.33742	238.18896	617.38578
ME	11		3.79842	7.56515	402.10170	225.17695	583.65866
MG	11	0.98849	3.97064	7.53772	394.15355	220.72599	572.12176
MLE	11		3.82136	7.57158	402.60189	225.45706	584.38470
MM	11		3.81780	7.56300	401.31500	224.73640	582.51674
REAL	11				402.07127	225.15991	583.61450
MDP	12		2.96316	6.95573	338.32326	189.46102	507.45241
ME	12		3.16042	6.93538	326.77970	182.99663	490.13818
MG	12	0.98381	3.10739	6.96065	332.48521	186.19172	498.69589
MLE	12		3.12205	6.93428	328.12725	183.75126	492.15937
MM	12		3.16301	6.93511	326.64272	182.91993	489.93273
REAL	12				328.00964	183.68540	491.98297
		MÍN	0.98381	2.06591	5.35238	157.77985	88.35671
		MÁX	0.99803	3.97064	7.61841	425.33742	238.18896
		MÉD	0.99214	2.98041	6.38595	274.36236	153.64292

2008-25m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	ep1
MDP	1		2.73241	6.00533	226.41691	126.79347	339.60363
ME	1		2.80134	5.99984	222.91206	124.83076	334.34670
MG	1	0.99888	2.77671	6.00289	224.25242	125.58136	336.35710
MLE	1		2.81286	6.00183	222.67840	124.69990	333.99622
MM	1		2.79443	6.00040	223.25129	125.02072	334.85550
REAL	1				222.56651	124.63725	333.82840
MDP	2		2.51439	5.50020	182.65129	102.28473	247.44721
ME	2		2.50247	5.50086	183.27983	102.63671	248.29872
MG	2	0.98913	2.24042	5.56569	206.00132	115.36074	279.08070
MLE	2		2.48760	5.49081	182.99186	102.47544	247.90859
MM	2		2.48827	5.50162	184.04142	103.06319	249.33048
REAL	2				181.49966	101.63981	245.88703
MDP	3		1.79955	3.86009	86.56633	48.47714	129.84118
ME	3		1.80967	3.86112	86.00784	48.16439	129.00350
MG	3	0.99126	1.87880	3.83558	80.47494	45.06596	120.70468
MLE	3		1.80536	3.86873	86.78413	48.59911	130.16786
MM	3		1.78529	3.85856	87.37167	48.92814	131.04912
REAL	3				86.90106	48.66459	130.34324
MDP	4		1.98337	3.38446	51.99501	29.11720	75.47179
ME	4		1.98012	3.38434	52.08147	29.16562	75.59730
MG	4	0.99349	1.96035	3.37662	52.29313	29.28416	75.90453
MLE	4		1.96105	3.38514	52.66934	29.49483	76.45060
MM	4		1.95684	3.38345	52.71508	29.52045	76.51700
REAL	4				52.29587	29.28569	75.90850
MDP	5		2.06446	3.51969	56.11553	31.42470	84.16790
ME	5		2.05995	3.51961	56.23327	31.49063	84.34451
MG	5	0.99413	2.08378	3.50623	54.97100	30.78376	82.45122
MLE	5		2.05144	3.52381	56.66831	31.73425	84.99702
MM	5		2.03759	3.51914	56.82988	31.82473	85.23937
REAL	5				56.42924	31.60037	84.63844
MDP	6		2.25908	4.36820	98.91268	55.39110	143.57373
ME	6		2.23401	4.36854	99.85322	55.91780	144.93894
MG	6	0.99661	2.12842	4.37851	104.92134	58.75595	152.29542
MLE	6		2.21873	4.36704	100.32915	56.18432	145.62977
MM	6		2.21433	4.36875	100.61657	56.34528	146.04696
REAL	6				99.16057	55.52992	143.93355
MDP	7		2.31774	4.92165	138.62143	77.62800	207.91884
ME	7		2.29283	4.92228	139.85121	78.31668	209.76340
MG	7	0.99328	2.24748	4.92179	142.08633	79.56835	213.11586
MLE	7		2.29704	4.92703	140.05364	78.43004	210.06702
MM	7		2.27423	4.92269	140.79847	78.84715	211.18419
REAL	7				138.74804	77.69890	208.10875
MDP	8		2.53126	5.12395	147.04243	82.34376	220.54952
ME	8		2.50914	5.12510	147.97261	82.86466	221.94471
MG	8	0.99326	2.36475	5.14661	156.12355	87.42919	234.17033

MLE	8		2.53122	5.12529	147.15964	82.40940	220.72533
MM	8		2.49509	5.12581	148.57686	83.20304	222.85103
REAL	8				146.00678	81.76379	218.99615
MDP	9		2.72268	5.85526	210.26357	117.74760	305.20178
ME	9		2.68849	5.85780	211.99003	118.71442	307.70777
MG	9	0.97594	2.28535	5.95210	247.91644	138.83321	359.85567
MLE	9		2.74030	5.84325	208.25665	116.62373	302.28870
MM	9		2.67873	5.85852	212.49575	118.99762	308.44183
REAL	9				206.79850	115.80716	300.17216
MDP	10		3.08815	6.76433	305.87787	171.29161	458.78744
ME	10		3.28118	6.74463	296.61027	166.10175	444.88693
MG	10	0.98903	3.21209	6.75592	300.29609	168.16581	450.41531
MLE	10		3.39655	6.74532	293.44581	164.32966	440.14055
MM	10		3.28701	6.74403	296.35569	165.95919	444.50508
REAL	10				294.12571	164.71040	441.16034
MDP	11		3.29835	6.63144	281.43849	157.60555	408.51360
ME	11		3.68077	6.59320	268.11225	150.14286	389.17030
MG	11	0.99662	3.55808	6.61570	273.20670	152.99575	396.56499
MLE	11		3.76503	6.58836	266.11379	149.02372	386.26948
MM	11		3.69715	6.59160	267.63124	149.87350	388.47210
REAL	11				266.68329	149.34264	387.09613
MDP	12		2.87981	5.94959	214.46920	120.10275	321.68321
ME	12		3.01794	5.93773	208.82104	116.93978	313.21151
MG	12	0.99514	3.11507	5.91893	204.23935	114.37404	306.33942
MLE	12		3.03319	5.94380	209.02607	117.05460	313.51904
MM	12		3.01671	5.93783	208.86777	116.96595	313.28161
REAL	12				209.01857	117.05040	313.50778
MÍN		0.97594	1.78529	3.37662	51.99501	29.11720	75.47179
MÁX		0.99888	3.76503	6.76433	305.87787	171.29161	458.78744
MÉD		0.99223	2.54544	5.15498	165.65057	92.76432	243.62145

2008-50m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	ep1
MDP	1		2.72775	6.68117	312.06853	174.75837	468.07283
ME	1		2.80929	6.67393	306.36958	171.56696	459.52495
MG	1	0.99824	2.82477	6.67007	305.00978	170.80548	457.48539
MLE	1		2.80914	6.67720	306.82934	171.82443	460.21456
MM	1		2.80259	6.67454	306.81878	171.81851	460.19871
REAL	1				306.84036	171.83060	460.23108
MDP	2		2.54660	6.16156	254.71005	142.63763	345.06895
ME	2		2.56591	6.16028	253.36031	141.88177	343.24039
MG	2	0.98914	2.37130	6.21931	274.94650	153.97004	372.48432
MLE	2		2.54736	6.15306	253.60949	142.02132	343.57797
MM	2		2.55318	6.16113	254.24678	142.37820	344.44134
REAL	2				252.74146	141.53522	342.40200
MDP	3		1.81313	4.34769	122.49169	68.59535	183.72578
ME	3		1.82536	4.34901	121.55609	68.07141	182.32247
MG	3	0.99339	1.88823	4.32274	114.51320	64.12739	171.75881
MLE	3		1.81952	4.35652	122.68587	68.70409	184.01703
MM	3		1.80103	4.34632	123.44022	69.12652	185.14848
REAL	3				122.99490	68.87714	184.48054
MDP	4		2.08465	3.94468	78.24755	43.81863	113.57789
ME	4		2.07426	3.94451	78.61859	44.02641	114.11645
MG	4	0.99555	1.98293	3.95172	82.78562	46.35995	120.16498
MLE	4		2.04561	3.94098	79.49810	44.51894	115.39308
MM	4		2.05208	3.94406	79.43178	44.48180	115.29681
REAL	4				78.67313	44.05695	114.19563
MDP	5		2.29481	4.20138	86.90541	48.66703	130.34978
ME	5		2.29369	4.20140	86.94043	48.68664	130.40229
MG	5	0.99775	2.26000	4.20052	87.92469	49.23782	131.87859
MLE	5		2.28256	4.20262	87.35281	48.91757	131.02083
MM	5		2.27510	4.20175	87.52824	49.01582	131.28396
REAL	5				87.04182	48.74342	130.55438
MDP	6		2.60012	5.21076	152.10811	85.18054	220.78796
ME	6		2.62154	5.20947	151.25928	84.70520	219.55587
MG	6	0.99499	2.44563	5.24535	161.36929	90.36680	234.23076
MLE	6		2.61313	5.20369	151.04127	84.58311	219.23942
MM	6		2.61014	5.21016	151.70842	84.95672	220.20781
REAL	6				150.55304	84.30970	218.53074
MDP	7		2.64587	5.78257	205.76876	115.23050	308.63338
ME	7		2.68742	5.77962	203.65983	114.04950	305.47019
MG	7	0.99651	2.65962	5.78360	205.27078	114.95164	307.88647
MLE	7		2.70117	5.78308	203.45380	113.93413	305.16117
MM	7		2.67763	5.78033	204.14749	114.32259	306.20164
REAL	7				203.20172	113.79296	304.78307
MDP	8		2.82528	5.92703	213.99075	119.83482	320.96559
ME	8		2.90208	5.92066	210.60286	117.93760	315.88407
MG	8	0.99719	2.78709	5.94254	217.14354	121.60038	325.69446

MLE	8		2.93774	5.91956	209.32571	117.22240	313.96847
MM	8		2.89779	5.92102	210.78490	118.03955	316.15712
REAL	8				209.23741	117.17295	313.83602
MDP	9		2.98289	6.69955	301.43646	168.80442	437.54106
ME	9		3.08690	6.68926	295.85364	165.67804	429.43748
MG	9	0.98842	2.84454	6.74059	313.71977	175.68307	455.37052
MLE	9		3.19087	6.68199	291.23346	163.09074	422.73119
MM	9		3.08751	6.68920	295.82236	165.66052	429.39206
REAL	9				291.87715	163.45120	423.66552
MDP	10		3.24102	7.64017	432.95435	242.45444	649.38996
ME	10		3.59115	7.59968	413.13660	231.35650	619.66524
MG	10	0.98861	3.67893	7.58355	408.03514	228.49968	612.01354
MLE	10		3.66933	7.60485	411.74327	230.57623	617.57538
MM	10		3.60521	7.59808	412.45876	230.97690	618.64854
REAL	10				411.93744	230.68497	617.86661
MDP	11		3.34022	7.42750	393.83240	220.54614	571.65560
ME	11		3.80186	7.37617	372.63997	208.67839	540.89437
MG	11	0.99822	3.86103	7.36732	370.08014	207.24488	537.17872
MLE	11		3.83287	7.37737	372.16931	208.41481	540.21119
MM	11		3.82133	7.37407	371.90936	208.26924	539.83388
REAL	11				372.05814	208.35256	540.04983
MDP	12		2.89668	6.67126	301.54276	168.86394	452.28519
ME	12		3.06618	6.65479	292.08283	163.56638	438.09620
MG	12	0.99054	3.24767	6.62081	281.55168	157.66894	422.30049
MLE	12		3.05559	6.66362	293.65437	164.44645	440.45337
MM	12		3.06624	6.65479	292.07976	163.56467	438.09160
REAL	12				293.57469	164.40183	440.33385

## 12.ANEXO VI

# ANEMOMÉTRICOS *BELO JARDIM-PE*

2004-25m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	ep1
MDP	1		2.98993	5.97866	214.00878	119.84492	320.99263
ME	1		3.17243	5.96242	207.35083	116.11646	311.00633
MG	1	0.98782	2.98239	6.00806	217.41643	121.75320	326.10377
MLE	1		3.15063	5.95484	207.08776	115.96915	310.61176
MM	1		3.17534	5.96215	207.25402	116.06225	310.86114
REAL	1				207.12769	115.99151	310.67166
MDP	2		2.77434	5.97771	221.53846	124.06154	300.12968
ME	2		2.84515	5.97194	218.14748	122.16259	295.53574
MG	2	0.99834	2.76088	5.98696	223.12808	124.95172	302.28321
MLE	2		2.86189	5.97072	217.40226	121.74527	294.52615
MM	2		2.83937	5.97242	218.41440	122.31207	295.89735
REAL	2				217.25918	121.66514	294.33231
MDP	3		2.51202	5.23901	157.94162	88.44730	236.89726
ME	3		2.53636	5.23770	156.85385	87.83816	235.26572
MG	3	0.99878	2.47573	5.24931	160.40192	89.82507	240.58747
MLE	3		2.52725	5.23758	157.20192	88.03307	235.78778
MM	3		2.52294	5.23843	157.44948	88.17171	236.15911
REAL	3				156.96189	87.89866	235.42776
MDP	4		2.51600	4.67688	112.24735	62.85852	162.92928
ME	4		2.50600	4.67735	112.57047	63.03946	163.39829
MG	4	0.99434	2.35804	4.69855	119.04544	66.66544	172.79683
MLE	4		2.51080	4.67497	112.25925	62.86518	162.94655
MM	4		2.49188	4.67800	113.03395	63.29901	164.07104
REAL	4				111.53180	62.45781	161.89064
MDP	5		2.26988	4.47536	105.96114	59.33824	158.93153
ME	5		2.28916	4.47499	105.21929	58.92280	157.81884
MG	5	0.99656	2.36289	4.45850	101.56071	56.87400	152.33132
MLE	5		2.28305	4.48110	105.87593	59.29052	158.80374
MM	5		2.27049	4.47535	105.93750	59.32500	158.89609
REAL	5				106.19789	59.47082	159.28663
MDP	6		2.49230	4.54535	103.67773	58.05953	150.49030
ME	6		2.51050	4.54454	103.13130	57.75353	149.69714
MG	6	0.99889	2.45576	4.55122	105.11253	58.86302	152.57294
MLE	6		2.50379	4.54472	103.32310	57.86094	149.97555
MM	6		2.49648	4.54517	103.55094	57.98853	150.30627
REAL	6				103.12153	57.74805	149.68296
MDP	7		2.43331	4.87613	130.08830	72.84945	195.11996
ME	7		2.46845	4.87461	128.70002	72.07201	193.03767
MG	7	0.99789	2.44265	4.88190	130.20506	72.91483	195.29509
MLE	7		2.44495	4.87409	129.49785	72.51879	194.23434
MM	7		2.45349	4.87527	129.28326	72.39862	193.91248
REAL	7				129.69736	72.63052	194.53359
MDP	8		2.70287	4.99484	131.04012	73.38247	196.54760
ME	8		2.76230	4.99099	129.23473	72.37145	193.83969
MG	8	0.99499	2.76840	4.98846	128.89107	72.17900	193.32424

MLE	8		2.78134	4.99507	129.09559	72.29353	193.63100
MM	8		2.75439	4.99151	129.46794	72.50205	194.18948
REAL	8				129.01928	72.25080	193.51653
MDP	9		2.84062	5.65556	185.42367	103.83725	269.14616
ME	9		2.95530	5.64637	181.18268	101.46230	262.99028
MG	9	0.99570	3.01148	5.63525	178.66606	100.05299	259.33736
MLE	9		2.97489	5.65135	181.14096	101.43894	262.92972
MM	9		2.95241	5.64660	181.28338	101.51870	263.13646
REAL	9				181.13970	101.43823	262.92789
MDP	10		3.29559	6.23395	233.86777	130.96595	350.77920
ME	10		3.71200	6.19487	221.94700	124.29032	332.89919
MG	10	0.99694	3.77602	6.18639	220.17301	123.29689	330.23838
MLE	10		3.73333	6.19565	221.73474	124.17146	332.58083
MM	10		3.72919	6.19329	221.53834	124.06147	332.28624
REAL	10				221.65061	124.12434	332.45464
MDP	11		3.27464	6.59718	277.76580	155.54885	403.18262
ME	11		3.66481	6.55833	264.15952	147.92933	383.43283
MG	11	0.99652	3.66916	6.55991	264.27326	147.99303	383.59792
MLE	11		3.69348	6.55803	263.62621	147.63068	382.65871
MM	11		3.68078	6.55677	263.69229	147.66768	382.75463
REAL	11				263.65076	147.64442	382.69435
MDP	12		3.21343	6.14718	226.18278	126.66236	339.25245
ME	12		3.57832	6.11322	215.24043	120.53464	322.83998
MG	12	0.99495	3.73089	6.09205	210.82796	118.06366	316.22170
MLE	12		3.56103	6.11744	215.96238	120.93893	323.92284
MM	12		3.59205	6.11196	214.89250	120.33980	322.31812
REAL	12				215.62251	120.74860	323.41306
MÍN		0.98782	2.26988	4.45850	101.56071	56.87400	149.68296
MÁX		0.99889	3.77602	6.59718	277.76580	155.54885	403.18262
MÉD		0.99598	2.88492	5.44074	171.33568	95.94798	251.65389



2004-50m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	p1	ep1
MDP	1		2.98833	6.14750	232.70975	130.31746	349.04229
ME	1		3.18014	6.12994	225.12432	126.06962	337.66487
MG	1	0.98838	3.02399	6.16975	234.07515	131.08208	351.09025
MLE	1		3.14571	6.12295	225.25831	126.14465	337.86584
MM	1		3.18325	6.12965	225.01244	126.00696	337.49705
REAL	1				225.25070	126.14039	337.85443
MDP	2		2.83209	6.17043	241.16721	135.05364	326.72176
ME	2		2.92933	6.16198	236.41317	132.39138	320.28122
MG	2	0.99843	2.86760	6.17267	239.98968	134.39422	325.12650
MLE	2		2.94396	6.16083	235.75609	132.02341	319.39103
MM	2		2.92575	6.16230	236.57944	132.48448	320.50646
REAL	2				235.71500	132.00040	319.33536
MDP	3		2.56564	5.38064	168.83670	94.54855	253.23885
ME	3		2.61530	5.37762	166.61767	93.30590	249.91051
MG	3	0.99916	2.62677	5.37550	165.99364	92.95644	248.97452
MLE	3		2.60334	5.37980	167.27306	93.67291	250.89353
MM	3		2.60375	5.37834	167.12198	93.58831	250.66692
REAL	3				167.38506	93.73563	251.06152
MDP	4		2.61986	4.86365	123.13798	68.95727	178.73724
ME	4		2.64233	4.86236	122.43084	68.56127	177.71081
MG	4	0.99679	2.55540	4.87326	125.74664	70.41812	182.52376
MLE	4		2.65539	4.86229	122.08106	68.36540	177.20311
MM	4		2.63143	4.86299	122.77145	68.75201	178.20521
REAL	4				121.76106	68.18619	176.73861
MDP	5		2.37780	4.72422	120.26549	67.34868	180.38669
ME	5		2.40407	4.72329	119.24486	66.77712	178.85584
MG	5	0.99829	2.43213	4.71706	117.80715	65.97201	176.69942
MLE	5		2.39141	4.72649	119.94023	67.16653	179.89883
MM	5		2.38771	4.72388	119.87611	67.13062	179.80266
REAL	5				120.14519	67.28131	180.20626
MDP	6		2.63724	4.89600	125.12871	70.07208	181.62683
ME	6		2.68999	4.89284	123.49795	69.15885	179.25975
MG	6	0.99893	2.62965	4.90401	125.95390	70.53418	182.82460
MLE	6		2.67973	4.89177	123.67906	69.26027	179.52263
MM	6		2.68027	4.89343	123.79103	69.32298	179.68515
REAL	6				123.62184	69.22823	179.43958
MDP	7		2.49824	5.11853	147.82204	82.78034	221.71886
ME	7		2.53749	5.11649	146.17364	81.85724	219.24643
MG	7	0.99820	2.50219	5.12458	148.19350	82.98836	222.27602
MLE	7		2.51600	5.11559	146.89095	82.25893	220.32232
MM	7		2.52410	5.11720	146.72702	82.16713	220.07644
REAL	7				146.99204	82.31554	220.47396
MDP	8		2.80785	5.20292	145.19578	81.30964	217.77973
ME	8		2.90973	5.19553	142.14088	79.59889	213.19767
MG	8	0.99627	2.91586	5.19524	141.98098	79.50935	212.95783

MLE	8		2.92029	5.19817	142.12418	79.58954	213.17263	
MM	8		2.90564	5.19583	142.25722	79.66404	213.37217	
REAL	8				142.11606	79.58499	213.16044	
MDP	9		2.96770	5.84162	200.26958	112.15096	290.69530	
ME	9		3.14990	5.82584	193.93626	108.60430	281.50236	
MG	9	0.99508	3.25017	5.80878	190.09301	106.45209	275.92381	
MLE	9		3.16261	5.83091	194.15274	108.72554	281.81659	
MM	9		3.15220	5.82564	193.86323	108.56341	281.39636	
REAL	9				194.10798	108.70047	281.75161	
MDP	10		3.36715	6.38346	249.37418	139.64954	374.03734	
ME	10		3.86832	6.33579	235.28732	131.76090	352.90840	
MG	10	0.99524	3.94097	6.32768	233.51101	130.76617	350.24410	
MLE	10		3.86901	6.33639	235.34595	131.79373	352.99634	
MM	10		3.88945	6.33385	234.80860	131.49282	352.19036	
REAL	10				235.12572	131.67040	352.66600	
MDP	11		3.29423	6.69783	290.09542	162.45344	421.07930	
ME	11		3.71844	6.65506	275.06316	154.03537	399.25967	
MG	11	0.99182	3.74437	6.65567	274.69653	153.83006	398.72750	
MLE	11		3.71689	6.65579	275.18066	154.10117	399.43023	
MM	11		3.73579	6.65335	274.55413	153.75031	398.52081	
REAL	11				274.96790	153.98202	399.12140	
MDP	12		3.23771	6.25693	237.88705	133.21675	356.80774	
ME	12		3.63584	6.21929	225.71513	126.40047	338.55103	
MG	12	0.99338	3.82674	6.19331	220.26914	123.35072	330.38257	
MLE	12		3.59340	6.22402	226.90839	127.06870	340.34080	
MM	12		3.65106	6.21788	225.32676	126.18298	337.96851	
REAL	12				226.39232	126.77970	339.56675	
		MÍN	0.98838	2.37780	4.71706	117.80715	65.97201	176.69942
		MÁX	0.99916	3.94097	6.69783	290.09542	162.45344	421.07930
		MÉD	0.99583	2.98764	5.62828	185.45426	103.85438	272.39013

## 13.ANEXO VII

# ANEMOMÉTRICOS *TRIUNFO-PE*

2006-50m	mês	r <sup>2</sup>	k	c	e	pl	ep1
MDP	1		3.93961	14.396	2750.002	1540.001	4124.739
ME	1		5.77057	14.084	2477.931	1387.641	3716.658
MG	1	0.97462	6.15790	14.027	2444.855	1369.119	3667.048
MLE	1		5.41332	14.104	2494.797	1397.086	3741.956
MM	1		5.82603	14.076	2473.311	1385.054	3709.729
REAL	1				2482.777	1390.355	3723.927
MDP	2		3.55389	15.049	3217.007	1801.524	4358.247
ME	2		4.37375	14.874	2981.740	1669.774	4039.518
MG	2	0.97114	4.70418	14.798	2910.721	1630.004	3943.305
MLE	2		4.24122	14.893	3006.092	1683.412	4072.510
MM	2		4.40668	14.868	2974.877	1665.931	4030.220
REAL	2				2991.478	1675.228	4052.711
MDP	3		4.25739	18.664	5913.709	3311.677	8869.995
ME	3		8.11578	18.016	5200.334	2912.187	7800.002
MG	3	0.95849	8.55052	17.970	5170.968	2895.742	7755.956
MLE	3		7.11416	18.058	5219.371	2922.848	7828.555
MM	3		8.17250	18.010	5196.370	2909.967	7794.056
REAL	3				5208.864	2916.964	7812.796
MDP	4		4.38336	19.309	6520.538	3651.501	9464.691
ME	4		9.88437	18.503	5681.577	3181.683	8246.923
MG	4	0.95813	10.21737	18.477	5667.615	3173.864	8226.657
MLE	4		8.75567	18.545	5688.674	3185.657	8257.224
MM	4		9.91407	18.500	5680.252	3180.941	8244.999
REAL	4				5687.485	3184.992	8255.499
MDP	5		4.28598	21.474	8997.197	5038.431	13494.932
ME	5		8.40896	20.700	7898.874	4423.369	11847.553
MG	5	0.96985	8.78788	20.656	7862.092	4402.771	11792.383
MLE	5		7.60865	20.741	7919.893	4435.140	11879.079
MM	5		8.46277	20.694	7893.686	4420.464	11839.772
REAL	5				7907.254	4428.062	11860.122
MDP	6		3.76638	19.456	6852.258	3837.265	9946.190
ME	6		4.99094	19.143	6269.298	3510.807	9100.011
MG	6	0.99328	5.19145	19.091	6200.673	3472.377	9000.400
MLE	6		4.88262	19.149	6285.966	3520.141	9124.205
MM	6		5.03578	19.134	6255.407	3503.028	9079.848
REAL	6				6269.682	3511.022	9100.569
MDP	7		3.72600	15.043	3175.084	1778.047	4762.321
ME	7		4.95422	14.799	2898.000	1622.880	4346.721
MG	7	0.96478	5.34229	14.728	2842.689	1591.906	4263.760
MLE	7		4.50018	14.816	2935.766	1644.029	4403.367
MM	7		4.99844	14.791	2891.543	1619.264	4337.037
REAL	7				2914.150	1631.924	4370.945
MDP	8		3.88035	13.961	2515.723	1408.805	3773.343
ME	8		5.42903	13.693	2282.826	1278.383	3424.020
MG	8	0.99077	5.52137	13.681	2274.869	1273.926	3412.085

MLE	8		5.25751	13.691	2285.365	1279.804	3427.828
MM	8		5.48047	13.686	2278.183	1275.782	3417.055
REAL	8				2281.706	1277.756	3422.340
MDP	9		3.27968	12.612	1939.601	1086.177	2815.370
ME	9		3.72277	12.528	1834.314	1027.216	2662.544
MG	9	0.98126	3.93832	12.473	1788.673	1001.657	2596.295
MLE	9		3.65519	12.535	1845.611	1033.542	2678.942
MM	9		3.74023	12.524	1830.908	1025.309	2657.600
REAL	9				1840.375	1030.610	2671.341
MDP	10		3.32952	10.741	1192.313	667.695	1788.355
ME	10		3.77331	10.670	1129.743	632.656	1694.506
MG	10	0.98708	3.88605	10.644	1114.520	624.131	1671.673
MLE	10		3.84474	10.677	1127.298	631.287	1690.838
MM	10		3.79206	10.667	1127.568	631.438	1691.244
REAL	10				1127.267	631.269	1690.792
MDP	11		3.33220	10.466	1102.744	617.537	1600.655
ME	11		3.81153	10.391	1041.202	583.073	1511.325
MG	11	0.97354	4.03545	10.346	1016.132	569.034	1474.935
MLE	11		3.81934	10.404	1044.575	584.962	1516.221
MM	11		3.83124	10.388	1039.148	581.923	1508.345
REAL	11				1042.381	583.733	1513.037
MDP	12		3.20058	10.066	994.656	557.008	1491.889
ME	12		3.60377	10.005	941.818	527.418	1412.637
MG	12	0.96808	3.95203	9.935	903.220	505.803	1354.744
MLE	12		3.51267	10.021	952.811	533.574	1429.125
MM	12		3.61816	10.003	940.251	526.540	1410.286
REAL	12				949.072	531.480	1423.517
	MÍN	0.95813	3.20058	9.935	903.220	505.803	1354.744
	MÁX	0.99328	10.21737	21.474	8997.197	5038.431	13494.932
	MÉD	0.97425	5.19904	14.841	3445.774	1929.633	5071.111

	ERROS – 10 m			ERROS – 25 m			ERROS – 50 m			ERROS – 10, 25, 50 m		
	ERM	EAM	REQM	ERM	ERM	RMSE	ERM	ERM	RMSE	ERM	ERM	RMSE
MLE	0,0050	0,1144	0,1728	0,0036	0,2648	0,3876	0,0018	0,1862	0,2676	0,0039	0,1700	0,2653
MM	0,0061	0,2055	0,3430	0,0063	0,5226	0,7707	0,0039	0,4332	0,5899	0,0059	0,3717	0,5894
ME	0,0083	0,2275	0,3633	0,0074	0,6180	0,8943	0,0040	0,4578	0,5952	0,0067	0,3527	0,5491
MDP	0,0103	0,5718	1,4563	0,0212	2,2342	3,3849	0,0297	3,1423	4,1184	0,0175	1,8604	3,4457
MG	0,0496	1,3520	2,0274	0,0380	3,2467	5,0914	0,0283	4,0640	5,6384	0,0417	2,2733	3,5743

## 14.ANEXO VIII

```
from scipy import stats, optimize

from scipy.optimize import minimize

from sonda_tratar import tratar_dados_mes

from sonda_plotar import plotar_fdp, plotar_rl, histograma, plotar_bar

from sonda_ler import ler_omm_mes, ler_amostrados_mes, ler_estimados_mes

from sonda_densidade import Densidade

from sonda_estacoes import PATH_BASE, tipos, METODOS, ESTACOES

from sonda_erros import Erros

from meteo import gamma, energia_potencial, mdp_coef, me_coef, esperanca, potencia_inst,
energia_potencial_vento, \

    mm_coef_c, log_kimball, coef_c, fdp, kh, ch, coef_mle

from util import coluna_ln_rol, coluna_kimball, coluna_ln_kimball, frequencia_kimball,
coluna_media, coluna_fdp, \

    coluna_cubo,    coluna_quadrado,    coluna_erro_absoluto,    somatorio_coluna,
coluna_erro_relativo, \

    desvio_padrao, verificar_dir, salvar_csv, dict_to_df, dict_to_df3, dict_to_df5,
MESES, coluna_rol_k

from parametros import limites

from math import sqrt

import pandas as pd

import numpy as np

import weibull

#
##### ANEMOMETRICOS #####

def anemometricos_calcular(estacao, ano, mes, colunas, col_avaliar, tp_arq, densidade= 1.12,
```

```
    plota=True, salvar_em=None, salva=True, titulos=None):
```

```
if titulos is None:
```

```
    titulos = {1: ['{}{}/{}'.format(estacao, mes, ano), 'Frequência',  
                  'Velocidade do Vento_{} (ms^-^1$)'.format(col_avalciar[3:])],  
              2: ['{}{}/{}'.format(estacao, mes, ano), 'Ln(Velocidade do Vento (ms^-^1$))',  
                  'Ln(-Ln(1-KIMBALL))'.format(col_avalciar[3:])],  
              3: ['{}{}/{}'.format(estacao, mes, ano),  
                  'Velocidade do Vento (ms^-^1$)'.format(col_avalciar[3:]), 'FDP']  
              }
```

```
header_1 = ['mês', 'a', 'b', 'r_square', 'k', 'c', 'e', 'p1', 'ep1', 'ep2kWh']
```

```
header_2 = ['mês', 'n', 'Desvio Padrão', 'Variância', 'Média', 'ROL^3', 'Densidade']
```

```
# header_1_3 = ['mês', 'a', 'b', 'r_square', 'k_3', 'c_3', 'e_3', 'p1_3', 'ep1_3']
```

```
resultado_1 = {}
```

```
resultado_2 = {}
```

```
# resultado_1_3 = {}
```

```
arquivo_out = "
```

```
if salvar_em is None:
```

```
    arquivo_out = '{0}{1}{2}{3}_{4}'.format(estacao, ano[2:4], mes, tipos[tp_arq][1],  
col_avalciar[3:5])
```

```
    path_out = '{0}\{1}\{2}\{3}\dados_calculados'.format(PATH_BASE, estacao,  
tipos[tp_arq][0], ano)
```

```
    verificar_dir(path_out)
```

```
else:
```

```
    verificar_dir(salvar_em)
```

```
    path_out = salvar_em
```



```

df_mes, df_mes_inf = tratar_dados_mes(estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq,
                                     colaval=col_avaluar, colunas=colunas)

# calcula a quantidade de valores menores que 0.2
menores = df_mes[(df_mes[col_avaluar] <= 0.2)].shape[0]

# calcula a quantidade de valores maiores que 20.0
maiores = df_mes[(df_mes[col_avaluar] >= 30.0)].shape[0]

n = df_mes.shape[0] # Quantidade de amostras
df_mes = coluna_kimball(df=df_mes, coluna=col_avaluar, amostras=n)

# Adicionando a Coluna da LN do ROL
coluna_ln_rol(df=df_mes, coluna=col_avaluar)

# Adicionando a coluna LN da KIMBALL
coluna_ln_kimball(df=df_mes)

# Adicionando a coluna da velocidade ao cubo
coluna_cubo(df_mes, coluna=col_avaluar, nome_coluna='X_3')

# Adicionando a Coluna da LN de X_3
coluna_ln_rol(df=df_mes, coluna='X_3', coluna_out='LN_X_3')

# Calcula o Desvio Padrão
dp = desvio_padrao(df=df_mes, coluna=col_avaluar)

# Calculando a Média
mu = coluna_media(df=df_mes, coluna=col_avaluar)

# Calculando a Variância
variância = dp ** 2

# Calculando a Média do Rol ao Cubo
mx = coluna_media(df=df_mes, coluna='X_3')

```

```

# Calcula o Desvio Padrão de X_3

# dp_3 = desvio_padrao(df=df_mes, coluna='X_3')

# Calculando a Variância de X_3

# variancia_3 = dp_3 ** 2

#####

# Calculando a Potencial Real

pot_vm = potencia_inst(mx[0], densidade)

# Calculando a Energia Potencial Real

energia_vm = energia_potencial_vento(valor=mx[0], mes=mes, qtd_maior=maiores,
qtd_menor=menores, densidade=densidade)

# Salvando os resultados parciais

resultado_2[mes] = [mes, n, dp, variancia, mu[0], mx[0], densidade]

#####
#####

# Calculando os coeficientes por Regressão Linear usando o método stats.linregress do
scipy[1]

col_x = df_mes['X_LN_ROL']

col_y = df_mes['Y_LN_KIMBALL']

a, b, r_valor, tt, stderr = stats.linregress(col_x, col_y) # y_rl = ax + b

r_2 = r_valor * r_valor

# Calculando o coeficiente c para a Regressão Linear

k_rl = a

c_rl = coef_c(coef_k=k_rl, coef_a0=b)

e_rl = esperanca(c=c_rl, k=k_rl)

p1 = potencia_inst(e_rl, densidade=densidade)

ep_1 = energia_potencial_vento(valor=e_rl, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=densidade)

# Salvando os resultados em um dicionário

resultado_1['MG'] = [mes, a, b, r_2, k_rl, c_rl, e_rl, p1, ep_1/1e6, ep_1/3.6e6]

```

```
resultado_1['REAL'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, np.nan, np.nan, mx[0], pot_vm,
energia_vm/1e6, energia_vm/3.6e6]
```

```
# Métodos dos Momentos
```

```
def f(x): # k_rl = x
```

```
    return dp ** 2 - mu[0] ** 2 * (gamma(1 + (2/x)) / (gamma(1 + (1 / x)) ** 2) - 1)
```

```
# Obtendo o coeficiente K pelo método de newton usando o módulo scipy.optimize.newton
```

```
k_mm = optimize.newton(f, k_rl)
```

```
# onde f é a função que pretende-se encontra a raiz,
```

```
# x0 é o valor inicial, neste caso o x0 = slope é o valor obtido pela regressão linear
```

```
# Calculando o coeficiente c para o Método dos Momentos
```

```
c_mm = mm_coef_c(mx=mu[0], kmm=k_mm)
```

```
e_mm = esperanca(c=c_mm, k=k_mm)
```

```
p1_mm = potencia_inst(e_mm, densidade)
```

```
ep1_mm = energia_potencial_vento(valor=e_mm, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=densidade)
```

```
resultado_1['MM'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, k_mm, c_mm, e_mm, p1_mm,
ep1_mm/1e6, ep1_mm/3.6e6]
```

```
# Métodos de regressão linear usando Weibull analysis.fit
```

```
dados_ws = df_mes[col_avaluar]
```

```
analysis = weibull.Analysis (dados_ws, unit='cycle')
```

```
analysis.fit()
```

```
# Calculando o coeficiente c Método da Verossimilhança
```

```
a = np.nan
```

```
b = np.nan
```

```
r_2 = np.nan
```

```
c_MG_2 = analysis.eta
```

```

k_MG_2 = analysis.beta

e_MG_2 = esperanca(c=c_MG_2, k=k_MG_2)

p1_MG_2 = potencia_inst(e_MG_2, densidade)

ep1_MG_2 = energia_potencial_vento(valor=e_MG_2, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=densidade)

# resultado_1['MG_2'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, k_MG_2, c_MG_2, e_MG_2,
p1_MG_2, ep1_MG_2/1e6, ep1_MG/3.6e6]

# Métodos da máxima verossimilhança

dados_ws = df_mes[col_avaluar]

analysis = weibull.Analysis (dados_ws, unit='cycle')

analysis.fit(method = 'mle')

# Calculando o coeficiente c Método da Verossimilhança

a = np.nan

b = np.nan

r_2 = np.nan

c_mle = analysis.eta

k_mle = analysis.beta

e_mle = esperanca(c=c_mle, k=k_mle)

p1_mle = potencia_inst(e_mle, densidade)

ep1_mle = energia_potencial_vento(valor=e_mle, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=densidade)

resultado_1['MLE'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, k_mle, c_mle, e_mle, p1_mle,
ep1_mle/1e6, ep1_mle/3.6e6]

# Método Empirico

# Calculando os coeficientes c e K

k_me, c_me = me_coef(mx=mu[0], sigma=dp)

```

```

e_me = esperanca(c=c_me, k=k_me)

a = np.nan

b = np.nan

r_2 = np.nan

p1_me = potencia_inst(e_me, densidade)

ep1_me = energia_potencial_vento(valor=e_me, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=densidade)

resultado_1['ME'] = [mes, a, b, r_2, k_me, c_me, e_me, p1_me, ep1_me/1e6, ep1_me/3.6e6]

# Método Densidade de Potência

# Calculando os coeficientes c e K

mu_3 = coluna_media(df=df_mes, coluna='X_3')

mu = coluna_media(df=df_mes, coluna=col_avaliar)

energia_pot = energia_potencial(mx=mu[0], mx_3=mu_3[0])

a = np.nan

b = np.nan

r_2 = np.nan

k_mdp, c_mdp = mdp_coef(energia_p=energia_pot, vel_media=mu[0])

e_mdp = esperanca(c=c_mdp, k=k_mdp)

p1_mdp = potencia_inst(e_mdp, densidade)

ep1_mdp = energia_potencial_vento(valor=e_mdp, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=densidade)

resultado_1['MDP'] = [mes, a, b, r_2, k_mdp, c_mdp, e_mdp, p1_mdp, ep1_mdp/1e6,
ep1_mdp/3.6e6]

# Convertendo os resultados para um dataframe

df_resultado_1 = dict_to_df(resultado_1, header_1)

df_resultado_2 = dict_to_df(resultado_2, header_2)

```

```

for key, valores in resultado_1.items():

    coluna_fdp(df=df_mes, col_in=col_avalciar, col_out='FDP_'+key, k=valores[4],
c=valores[5])

erros = Erros(df=df_mes, estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq)

df_eam = erros.erro_absoluto_medio()
df_erm = erros.erro_relativo_medio()
df_reqm = erros.reqm()
df_icw = erros.icw()
# df_ccp = erros.ccp()

if plota is True:

    # Plota o Histograma dos dados da velocidade

    histograma(df=df_mes, estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq,
coluna=col_avalciar,

        titulo='{0} ({1})'.format(titulos[1][0], col_avalciar),

        fim_arq='{ }_ANE'.format(col_avalciar))

    # Plota a FDP

    plotar_fdp(df=df_mes, estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq, x=col_avalciar,

        col_1='F_KIMBALL', col_2='FDP_MM', col_3='FDP_MG',

        col_4='FDP_ME', col_5='FDP_MDP', col_6='FDP_MLE',

        ylabel=titulos[3][2],

        xlabel=titulos[3][1],

        titulo='{ } ({})'.format(titulos[3][0], col_avalciar),

        fim_arq='{ }_ANE'.format(col_avalciar))

```

```

# Plota a Regressão Linear

    plotar_rl(df=df_mes,      estacao=estacao,      ano=ano,      mes=mes,      tipo=tp_arq,
valores=resultado_1,

        titulo='{} ({}).format(titulos[2][0], col_avaliar),

        xlabel=titulos[2][1],

        ylabel=titulos[2][2],

        fim_arq='{}_ANE'.format(col_avaliar))

if salva is True:

    salvar_csv(df=df_mes, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_out)

    arquivo_1 = '{0}{1}{2}{3}_{4}_ANE_RES1'.format(estacao, ano[2:4], mes,
tipos[tp_arq][1], col_avaliar[3:5])

    salvar_csv(df=df_resultado_1, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_1)

    arquivo_2 = '{0}{1}{2}{3}_{4}_ANE_RES2'.format(estacao, ano[2:4], mes,
tipos[tp_arq][1], col_avaliar[3:5])

    salvar_csv(df=df_resultado_2, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_2)

    arquivo_3 = '{0}{1}{2}{3}_{4}_ANE_RES3'.format(estacao, ano[2:4], mes,
tipos[tp_arq][1], col_avaliar[3:5])

    salvar_csv(df=df_resultado_2, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_3)

return df_mes, df_resultado_1, df_resultado_2, df_eam, df_erm, df_reqm, df_icw

def anemometricos_calcular_por_estacao(estacoes, anos, meses, tipo,

        col_aval, colunas, fim_arq=None, plotar=True, salvar=True):

    """

    :param estacoes:

    :param anos:

```

```

:param meses:
:param tipo:
:param col_aval:
:param colunas:
:param fim_arq:
:param plotar:
:param salvar:
:return:
"""
resultado_1, resultado_2, resultado_3 = [], [], []
df_res1, df_res2, df_res3 = "", "", ""
_ano = ""
_mes = ""
_estacao = ""
valores = ['p1', 'ep1', 'e']

if fim_arq is None:
    fim_arq = ""

for _estacao in estacoes:
    for _ano in anos:
        print('Processando os dados da Estação {}/{}'.format(_estacao, _ano))
        for _mes in meses:
            print('Processando os dados do mês {}'.format(_mes))
            resultados = anemometricos_calcular(estacao=_estacao, ano=_ano, mes=_mes,
            tp_arq=tipo,
                                colunas=colunas, col_aval=col_aval, plotar=plotar,

```



```

        salva=True)

    resultado_1.append(resultados[1])
    resultado_2.append(resultados[2])
    resultado_3.append(resultados[3])

df_res1 = pd.concat(resultado_1, axis=0)
df_res2 = pd.concat(resultado_2, axis=0)
df_res3 = pd.concat(resultado_3, axis=0)

if plotar is True:
    for valor in valores:
        plotar_bar(df=df_res1, estacao=_estacao, ano=_ano, mes=_mes, calcular=valor,
                   tipo=tipo, linhas=None, fim_arq=col_aval, salvar_em=None, salva=True)

if salvar is True:
    path_out = '{0}\\{1}\\{2}\\{3}\\dados_calculados'.format(PATH_BASE, _estacao,
tipos[tipo][0], _ano)
    verificar_dir(path_out)
    arquivo_1 = '{0}{1}{2}{3}_{4}_ANE_RES1'.format(_estacao, _ano[2:4], _mes,
tipos[tipo][1], col_aval[3:5])
    salvar_csv(df=df_res1, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_1)
    arquivo_2 = '{0}{1}{2}{3}_{4}_ANE_RES2'.format(_estacao, _ano[2:4], _mes,
tipos[tipo][1], col_aval[3:5])
    salvar_csv(df=df_res2, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_2)
    arquivo_3 = '{0}{1}{2}{3}_{4}_ANE_RES3'.format(_estacao, _ano[2:4], _mes,
tipos[tipo][1], col_aval[3:5])
    salvar_csv(df=df_res2, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_3)

return df_res1, df_res2, df_res3

```

```

# AMBIENTAIS

def ambientais_calcular(estacao, ano, mes, colunas, col_avaliar, tp_arq, densidade=None,
                        plota=True, salvar_em=None, salva=True):
    titulos = {1: ['{}{}/{}'.format(estacao, mes, ano), 'Frequência',
                  'Velocidade do Vento_{} (ms{}-{}^1)'.format(col_avaliar[3:])],
              2: ['{}{}/{}'.format(estacao, mes, ano), 'Ln(Velocidade do Vento (ms{}-{}^1))',
                  'Ln(-Ln(1-KIMBALL))'.format(col_avaliar[3:])],
              3: ['{}{}/{}'.format(estacao, mes, ano),
                  'Velocidade do Vento (ms{}-{}^1)'.format(col_avaliar[3:]), 'FDP']
    }

    header_1 = ['mês', 'a', 'b', 'r_square', 'k', 'c', 'e', 'p1', 'ep1', 'ep2kwh']
    header_2 = ['mês', 'n', 'Desvio Padrão', 'Variância', 'Média', 'ROL^3', 'Densidade']
    resultado_1 = {}
    resultado_2 = {}
    arquivo_out = ""
    rho_mes = (0, "")

    if salvar_em is None:
        arquivo_out = '{0}{1}{2}{3}_AMB'.format(estacao, ano[2:4], mes, tipos[tp_arq][1],
        col_avaliar[3:5])

        path_out = '{0}\{1}\{2}\{3}\dados_calculados'.format(PATH_BASE, estacao,
        tipos[tp_arq][0], ano)

        verificar_dir(path_out)
    else:
        verificar_dir(salvar_em)

```

```

path_out = salvar_em

if densidade is None:

    rho = Densidade(estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq) # class Densidade
do sonda_densidade

    rho_mes = rho.densidade_mes()

df_mes, df_mes_inf = tratar_dados_mes(estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq,
                                     colaval=col_avaluar, colunas=colunas)

# calcula a quantidade de valores menores que 0.2
menores = df_mes[(df_mes[col_avaluar] <= 0.2)].shape[0]

# calcula a quantidade de valores maiores que 20.0
maiores = df_mes[(df_mes[col_avaluar] >= 20.0)].shape[0]

n = df_mes.shape[0] # Quantidade de amostras
df_mes = coluna_kimball(df=df_mes, coluna=col_avaluar, amostras=n)

# Adicionando a Coluna da LN do ROL
coluna_ln_rol(df=df_mes, coluna=col_avaluar)

# Adicionando a coluna LN da KIMBALL
coluna_ln_kimball(df=df_mes)

# Adicionando a coluna da velocidade ao cubo
coluna_cubo(df_mes, coluna=col_avaluar, nome_coluna='X_3')

# Calcula o Desvio Padrão
sd = desvio_padrao(df=df_mes, coluna=col_avaluar)

# Calculando a Média
mu = coluna_media(df=df_mes, coluna=col_avaluar)

# Calculando a Variância

```

```

variancia = sd ** 2

# Calculando a Média do Rol ao Cubo
mx = coluna_media(df=df_mes, coluna='X_3')

# Calculando a Potência Real
pot_vm = potencia_inst(mx[0], densidade=rho_mes[0])

# Calculando a Energia Potencial Real
energia_vm = energia_potencial_vento(valor=mx[0], mes=mes, qtd_maior=maiores,
                                     qtd_menor=menores, densidade=rho_mes[0])

# salvando os resultados parciais
resultado_2[mes] = [mes, n, sd, variancia, mu[0], mx[0], rho_mes[0]]

resultado_1['REAL'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, np.nan, np.nan, mx[0], pot_vm,
                      energia_vm/1e6, energia_vm/3.6e6]

# Calculando os coeficientes por Regressão Linear usando o método stats.linregress do
scipy[1]
col_x = df_mes['X_LN_ROL']
col_y = df_mes['Y_LN_KIMBALL']
a, b, r_valor, tt, stderr = stats.linregress(col_x, col_y) # y_rl = ax + b
r_2 = r_valor * r_valor

# Calculando o coeficiente c para a Regressão Linear
k_rl = a
c_rl = coef_c(coef_k=k_rl, coef_a0=b)
e_rl = esperanca(c=c_rl, k=k_rl)
p1 = potencia_inst(e_rl, densidade=rho_mes[0])

ep_1 = energia_potencial_vento(valor=e_rl, mes=mes, qtd_menor=menores,
                              qtd_maior=maiores, densidade=rho_mes[0])

# Salvando os resultados em um dicionário

```

```

resultado_1['MG'] = [mes, a, b, r_2, k_rl, c_rl, e_rl, p1, ep_1/1e6, ep_1/3.6e6]

# Métodos dos Momentos

def f(x): # k_rl = x
    return sd ** 2 - mu[0] ** 2 * (gamma(1 + (2 / x)) / (gamma(1 + (1 / x)) ** 2) - 1)

# Obtendo o coeficiente K pelo método de newton usando o módulo scipy.optimize.newton
k_mm = optimize.newton(f, k_rl)

# onde f é a função que pretende-se encontra a raiz,
# x0 é o valor inicial, neste caso o x0 = slope é o valor obtido pela regressão linear
# Calculando o coeficiente c para o Método dos Momentos

c_mm = mm_coef_c(mx=mu[0], kmm=k_mm)

e_mm = esperanca(c=c_mm, k=k_mm)

p1_mm = potencia_inst(e_mm, densidade=rho_mes[0])

ep1_mm = energia_potencial_vento(valor=e_mm, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=rho_mes[0])

resultado_1['MM'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, k_mm, c_mm, e_mm, p1_mm, ep1_mm
/ 1e6, ep1_mm/3.6e6]

###

# Métodos de regressão linear usando Weibull analysis.fit

dados_ws = df_mes[col_avaluar]

analysis = weibull.Analysis (dados_ws, unit='cycle')

analysis.fit()

# Calculando o coeficiente c Método da Verossimilhança

a = np.nan

b = np.nan

```

```

r_2 = np.nan

c_MG_2 = analysis.eta

k_MG_2 = analysis.beta

e_MG_2 = esperanca(c=c_MG_2, k=k_MG_2)

p1_MG_2 = potencia_inst(e_MG_2, densidade=rho_mes[0])

ep1_MG_2 = energia_potencial_vento(valor=e_MG_2, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=rho_mes[0])

# resultado_1['MG_2'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, k_MG_2, c_MG_2, e_MG_2,
p1_MG_2, ep1_mG_2/3.6e6]

# Métodos da máxima verossimilhança

dados_ws = df_mes[col_avaliar]

analysis = weibull.Analysis(dados_ws, unit='cycle')

analysis.fit(method = 'mle')

# Calculando o coeficiente c Método da Verossimilhança

a = np.nan

b = np.nan

r_2 = np.nan

c_mle = analysis.eta

k_mle = analysis.beta

e_mle = esperanca(c=c_mle, k=k_mle)

p1_mle = potencia_inst(e_mle, densidade=rho_mes[0])

ep1_mle = energia_potencial_vento(valor=e_mle, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=rho_mes[0])

resultado_1['MLE'] = [mes, np.nan, np.nan, np.nan, k_mle, c_mle, e_mle, p1_mle,
ep1_mle/1e6, ep1_mle/3.6e6]

###

```

```

# Método Empirico

# Calculando os coeficientes c e K
k_me, c_me = me_coef(mx=mu[0], sigma=sd)
e_me = esperanca(c=c_me, k=k_me)

a = np.nan
b = np.nan
r_2 = np.nan

p1_me = potencia_inst(e_me, densidade=rho_mes[0])

ep1_me = energia_potencial_vento(valor=e_me, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=rho_mes[0])

resultado_1['ME'] = [mes, a, b, r_2, k_me, c_me, e_me, p1_me, ep1_me / 1e6, ep1_me/3.6e6]

# Método Densidade de Potência

# Calculando os coeficientes c e K
mu_3 = coluna_media(df=df_mes, coluna='X_3')
mu = coluna_media(df=df_mes, coluna=col_avaliar)
energia_pot = energia_potencial(mx=mu[0], mx_3=mu_3[0])

a = np.nan
b = np.nan
r_2 = np.nan

k_mdp, c_mdp = mdp_coef(energia_p=energia_pot, vel_media=mu[0])
e_mdp = esperanca(c=c_mdp, k=k_mdp)

p1_mdp = potencia_inst(e_mdp, densidade=rho_mes[0])

ep1_mdp = energia_potencial_vento(valor=e_mdp, mes=mes, qtd_menor=menores,
qtd_maior=maiores, densidade=rho_mes[0])

resultado_1['MDP'] = [mes, a, b, r_2, k_mdp, c_mdp, e_mdp, p1_mdp, ep1_mdp/1e6,
ep1_mdp/3.6e6]

```

```

# Convertendo os resultados para um dataframe
df_resultado_1 = dict_to_df(resultado_1, header_1)
df_resultado_2 = dict_to_df(resultado_2, header_2)

for key, valores in resultado_1.items():
    coluna_fdp(df=df_mes, col_in=col_avaliar, col_out='FDP_' + key, k=valores[4],
c=valores[5])

# Adicionando as colunas para calcular os erros
fdp_metodos = ['FDP_MG', 'FDP_MLE', 'FDP_MM', 'FDP_ME', 'FDP_MDP']

for _fdp in fdp_metodos:
    coluna_erro_absoluto(df=df_mes, col_real=col_avaliar, col_estimado=_fdp,
coluna_out='EA_{0}'.format(_fdp[4:]))

    coluna_quadrado(df=df_mes, coluna='EA_{0}'.format(_fdp[4:]),
coluna_out='EA^2_{0}'.format(_fdp[4:]))

    coluna_erro_relativo(df=df_mes, col_ea='EA_{0}'.format(_fdp[4:]),
col_real=col_avaliar,
coluna_out='ER_{0}'.format(_fdp[4:]))

reqm_dict = { }

colunas_ea2 = ['EA^2_MG', 'EA^2_MLE', 'EA^2_MM', 'EA^2_ME', 'EA^2_MDP']

for ea_2 in colunas_ea2:
    reqm = sqrt(somatorio_coluna(df=df_mes, coluna=ea_2)[0] / n)
    reqm_dict.update({'REQM_{0}'.format(ea_2[5:]): reqm})

df_resultado_3 = dict_to_df5(dict_valores=reqm_dict, nome_col=MESES[mes][0][:3])
df_resultado_3.set_index('REQM', inplace=True)

if plota is True:
    # Plotar o Histograma dos dados da velocidade

```



```
    histograma(df=df_mes, estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq,
coluna=col_avalciar,
```

```
        titulo='{0} ({1})'.format(titulos[1][0], col_avalciar),
```

```
        fim_arq='{ }_AMB'.format(col_avalciar))
```

```
# Plotando a Regressão Linear
```

```
    plotar_rl(df=df_mes, estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq,
valores=resultado_1,
```

```
        titulo='{0} ({1})'.format(titulos[2][0], col_avalciar),
```

```
        xlabel=titulos[2][1],
```

```
        ylabel=titulos[2][2],
```

```
        fim_arq='{ }_AMB'.format(col_avalciar))
```

```
# PLOTando a FDP
```

```
    plotar_fdp(df=df_mes, estacao=estacao, ano=ano, mes=mes, tipo=tp_arq, x=col_avalciar,
```

```
        col_1='F_KIMBALL', col_2='FDP_MM', col_3='FDP_MG', col_4='FDP_ME',
col_5='FDP_MDP', col_6='FDP_MLE',
```

```
        ylabel=titulos[3][2],
```

```
        xlabel=titulos[3][1],
```

```
        titulo='{0} ({1})'.format(titulos[3][0], col_avalciar),
```

```
        fim_arq='{ }_AMB'.format(col_avalciar))
```

```
if salva is True:
```

```
    salvar_csv(df=df_mes, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_out)
```

```
    arquivo_1 = '{0}{1}{2}{3}_AMB_1'.format(estacao, ano[2:4], mes, tipos[tp_arq][1],
col_avalciar[3:5])
```

```
    salvar_csv(df=df_resultado_1, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_1)
```

```
    arquivo_2 = '{0}{1}{2}{3}_AMB_2'.format(estacao, ano[2:4], mes, tipos[tp_arq][1],
col_avalciar[3:5])
```

```
    salvar_csv(df=df_resultado_2, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_2)
```

```
arquivo_3 = '{0}{1}{2}{3}_AMB_3'.format(estacao, ano[2:4], mes, tipos[tp_arq][1],
col_avalciar[3:5])
```

```
salvar_csv(df=df_resultado_3, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_3)
```

```
return df_mes, df_resultado_1, df_resultado_2, df_resultado_3.T
```

```
def ambientais_calcular_por_estacao(estacoes, anos, meses, tipo, velocidades, plotar=True,
salva=True):
```

```
    """
```

```
    :param estacoes:
```

```
    :param anos:
```

```
    :param meses:
```

```
    :param tipo:
```

```
    :param velocidades:
```

```
    :param plotar:
```

```
    :param salva:
```

```
    :return:
```

```
    """
```

```
    resultado_1, resultado_2, resultado_3 = [], [], []
```

```
    df_res1, df_res2, df_res3 = "", "", "
```

```
    _ano = "
```

```
    _mes = "
```

```
    _estacao = "
```

```
    tp_calculos = ['p1', 'ep1', 'e']
```

```
    for _estacao in estacoes:
```

```

for _ano in anos:
    print('Processando os dados da Estação de {}'.format(ESTACOES[_estacao][0], _ano))
    for _mes in meses:
        print('Processando os dados do mês de {}/{}'.format(MESES[_mes][0],
_ano))
        for _colunas, _col_aval in velocidades.items():
            resultados = ambientais_calcular(estacao=_estacao, ano=_ano, mes=_mes,
                tp_arq=tipo, colunas=_colunas,
                col_avaliar=_col_aval, plotar=plotar, salva=True)
            resultado_1.append(resultados[1])
            resultado_2.append(resultados[2])
            resultado_3.append(resultados[3])
        df_res1 = pd.concat(resultado_1)
        df_res2 = pd.concat(resultado_2)
        df_res3 = pd.concat(resultado_3)

if plotar is True:
    for _calculo in tp_calculos:
        plotar_bar(calcular=_calculo, df=df_res1, estacao=_estacao, ano=_ano, mes=_mes,
            tipo=tipo, linhas=None, salvar_em=None, salva=True,
            fim_arq='({})'.format(velocidades['3F']))

if salva is True:
    path_out = '{0}\{1}\{2}\{3}\dados_calculados'.format(PATH_BASE, _estacao,
tipos[tipo][0], _ano)
    verificar_dir(path_out)
    arquivo_1 = '{0}{1}{2}_{3}_AMB_1'.format(_estacao, _ano[2:4], tipos[tipo][1],
_col_aval)

```

```
arquivo_2 = '{0}{1}{2}_{3}_AMB_2'.format(_estacao, _ano[2:4], tipos[tipo][1],  
_col_aval)
```

```
arquivo_3 = '{0}{1}{2}_{3}_AMB_3'.format(_estacao, _ano[2:4], tipos[tipo][1],  
_col_aval)
```

```
salvar_csv(df=df_res1, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_1)
```

```
salvar_csv(df=df_res2, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_2)
```

```
salvar_csv(df=df_res3, path_out=path_out, nome_arq=arquivo_3)
```

```
print('Processo finalizado com sucesso')
```

```
return df_res1, df_res2, df_res3
```