



Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Desenvolvimento de um sistema computacional para gerenciamento e análise de dados eólicos

Frederico Steinmetz Alvarez

Recife

2013

Frederico Steinmetz Alvarez

Desenvolvimento de um sistema computacional para gerenciamento e análise de dados eólicos

Dissertação para apresentação ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, orientada pelo Prof. Dr. Alex Maurício Araújo.

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Alex Maurício Araújo

Recife
2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

A473d Alvarez, Frederico Steinmetz.
Desenvolvimento de um sistema computacional para gerenciamento e análise de dados eólicos / Frederico Steinmetz Alvarez – Recife: O Autor, 2013.

92f. il., figs., gráfs., tabs.

Co-Orientador: Prof. Dr. Alex Maurício Araújo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2013.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Mecânica. 2. Armazenamento de Dados Eólicos. 3. Gerenciamento de Dados Eólicos. 4. Características do Vento. 5. Análise de Weibull. 6. Energia Eólica. I. Araújo, Alex Maurício (Orientador). II. Título.

621 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2013 / 295

“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA
GERENCIAMENTO E ANÁLISE DE DADOS EÓLICOS”

FREDERICO STEINMETZ ALVAREZ

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENERGIA EÓLICA
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE

Prof. Dr. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO
ORIENTADOR/PRESIDENTE

Prof. Dr. CEZAR HENRIQUE GONZALEZ
VICE-COORDENADOR DO PROGRAMA

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR. ALEX MAURÍCIO ARAÚJO (UFPE)

Prof. Dr. PEDRO ANDRÉ CARVALHO ROSAS (UFPE)

Prof. Dr. RENATO JOSÉ DE SOBRAL CINTRA (UFPE)

*Aos meus pais, Maria da Graça (in memoriam) e Frederico,
por todo amor, carinho e ensinamentos.*

Agradecimentos

À Deus, por ter me dado a possibilidade de ter pessoas maravilhosas ao meu redor.

Aos meu pais, Frederico e Maria da Graça (in memoriam), por terem aceito a missão de tão bem me criarem nesta minha passagem pelo planeta, sendo sempre as minhas referências de vida.

Ao meu irmão, Leonardo, por todos os bons e maus momentos que passamos juntos e que ainda passaremos.

Aos meus tios, Casemiro, Elena, Marilda, Alcides e Maria Helena, por serem muitos mais do que simples tios.

À Deyse, por todo o carinho.

Aos meus professores de pós-graduação, Armando, Pedro e, em especial, ao orientador Alex, por toda a compreensão e atenção despendidos ao longo desses dois anos.

Aos meus amigos de laboratório, Bruno, Lucas, Héric, Naevio, Rafael, Grazi, Gilberto e principalmente ao Oyama, por todos os conselhos e conversas que tivemos.

Aos meus amigos, que se tornaram muito mais do que amigos, Edilton e Fabiana, por estarem ao meu lado em todos os bons e maus momentos ao longo desses dois anos.

Ao professor Renato Cintra, por todas as observações de melhorias ao trabalho.

À todos, meu sincero muito obrigado.

“Há uma força motriz mais poderosa do que o vapor, a eletricidade ou a energia atômica: a VONTADE.”
(Albert Einstein)

*“A ciência sem religião é manca.
A religião sem ciência é cega.”*
(Albert Einstein)

Resumo

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de um sistema computacional, utilizando um banco de dados integrado a um software estatístico, tendo como finalidade o armazenamento, gerenciamento e análise de dados eólicos. Inicialmente, foi realizado o processo de seleção de softwares livre, preferencialmente de código aberto, para a montagem da plataforma sobre a qual seria implementado o sistema computacional. Em seguida, foram desenvolvidos estudos com especialistas da área de estatística para determinação do software estatístico mais indicado para a realização do acesso direto à base de dados e que atendesse ao conjunto de requisitos do projeto. Após as análises, realizou-se a escolha do banco de dados SQLite para o gerenciamento dos dados e pelo software estatístico R. Esses softwares foram os que melhor atendiam as necessidades do projeto. Concomitantemente à escolha dos softwares a serem utilizados, foi desenvolvida a modelagem do sistema e sua respectiva implantação. Em seguida, foram desenvolvidos os processos de análise estatística, com suas respectivas gerações de gráficos. Finalmente, foi efetuada a validação do sistema e suas conclusões.

Palavras-chaves: Armazenamento de dados eólicos. Gerenciamento de dados eólicos. Características do vento. Análise de Weibull. Energia eólica.

Abstract

The aim of this work is the development of a computer system, using a database integrated into a statistical software, for purposes of the management and analysis of wind data.

Initially, it was performed the selection process of software free, preferably open source, to mount the platform on which the computer system would be implemented.

Then, studies were conducted with experts in the field of statistics to determine the statistical software most suitable for the realization of direct access to the database and set that met the requirements of the project.

After the analyzes, there was the choice of the SQLite database for data management and statistical software R. These were the software that best met the needs of the project.

Concurrently with the choice of software to be used, it was developed the model system and its corresponding implementation.

Then, statistical processes with their respective graphics generations were developed. Finally, validation of the system was performed and its conclusions.

Key-words: Wind data storage. Wind data management. Wind characteristics. Weibull analysis. Wind energy.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Moinho para moagem de grãos - Afeganistão.	20
Figura 2 – Moinho para bombeamento de água - China.	21
Figura 3 – Vista aérea dos moinhos para drenagem na Holanda.	21
Figura 4 – Modelo de catavento multi-pás proposto por Daniel Halladay para bombeamento d'água.	22
Figura 5 – Primeiro aerogerador construído por Poul la Cour em 1981.	23
Figura 6 – Comparativo entre os tamanhos dos aerogeradores de 1985 e atuais.	24
Figura 7 – Histórico dos preços das principais fontes energéticas mundiais nos últimos 30 anos.	24
Figura 8 – Capacidade instalada no mundo e o crescimento percentual por ano.	25
Figura 9 – Os 10 maiores produtores mundiais de energia eólica em 2012, suas produções em 2011 e o crescimento apresentado no ano de 2012.	26
Figura 10 – Potencial eólico onshore brasileiro, por região, a uma altura de 50m.	28
Figura 11 – Nível histórico médio dos reservatórios por região no país.	31
Figura 12 – Anemômetro Thies Clima	40
Figura 13 – Anemoscópio Secondwind	40
Figura 14 – Barômetro Setra	41
Figura 15 – Termo-higrômetro Vaisala	41
Figura 16 – Datalogger Campbell CR1000	41
Figura 17 – Esquema de aquisição e conversão de dados de um datalogger	42
Figura 18 – Diagrama de blocos do processo de leitura dos dados meteorológicos.	44
Figura 19 – Diagrama de blocos do processo de armazenamento e pré-processamento dos dados meteorológicos.	46
Figura 20 – Gráfico das médias horárias da magnitude e direção da velocidade dos ventos. Dados de 10 minutos.	48
Figura 21 – Gráfico das médias horárias da magnitude e direção da velocidade dos ventos. Dados de 1 hora.	48
Figura 22 – Gráfico das médias horárias da magnitude e direção da velocidade dos ventos. Médias de 10 minutos.	49
Figura 23 – Gráfico da rosa dos ventos por densidade de energia disponível nos ventos. Médias de 10 minutos	50
Figura 24 – Gráfico da rosa dos ventos por densidade de energia disponível nos ventos. Médias de 1 hora.	50

Figura 25 –Histograma das magnitudes das velocidades do vento, bem como a curva teórica de Weibull. Média de 10 minutos.	51
Figura 26 –Histograma das magnitudes das velocidades do vento, bem como a curva teórica de Weibull. Média de 1 hora.	51
Figura 27 –Perfil diário do vento para o mês de Março.	55
Figura 28 –Rosa dos ventos para o mês de Agosto.	57

Lista de tabelas

Tabela 1	– Os 10 países, com mais de 200MW instalados, que apresentaram maiores crescimento proporcional na instalação de energia eólica em 2012.	25
Tabela 2	– Matriz elétrica brasileira.	27
Tabela 3	– Preços em R\$/MW da energia elétrica produzida no Brasil.	28
Tabela 4	– Nível dos reservatórios, em %, nas regiões brasileiras no ano de 2013.	30
Tabela 5	– Cruzamento da lista de requisitos <i>vs</i> lista dos bancos de dados selecionados para análise. A: Aprovado. X: Reprovado	36
Tabela 6	– Comparação de aspectos gerais entre os programas estatísticos SPSS, SAS e R. Fonte: (SALAS, 2008)	38
Tabela 7	– Tabela com os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull para o período de 8 de Outubro de 2011 a 31 de Janeiro de 2013 - Ipojuca/PE.	52
Tabela 8	– Erro quadrado médio e variação percentual para os dados do perfil diário do vento do mês de Março de 2012 calculados pelo Windographer [®] e pelo sistema PILACAS.	55
Tabela 9	– Tabela de frequência para as direções de incidência dos ventos obtidas pelo Windographer [®] e pelo sistema PILACAS para o mês de Agosto de 2012.	56
Tabela 10	– Parâmetros de Weibull encontrados pelo Windographer [®] e pelo sistema desenvolvido para os períodos.	57

Lista de abreviaturas e siglas

Fig.	Figura
Eq.	Equação
kW	Quilowatt
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
WWEA	World Wind Energy Association
$\text{var}(X)$	Variância da variável aleatória X
$\text{dp}(X)$	Desvio padrão amostral ou da coleção de dados X
md	Moda
dm	Desvio médio
F.D.A.	Função distribuição acumulada
f.d.p.	Função densidade de probabilidade
P	Percentil
D	Decil
Q	Quartil
PCH	Pequena Central Hidrelétrica

Lista de símbolos

Γ	Função Gama
σ	Desvio padrão
\bar{x}	Média amostral dos dados
χ^2	Distribuição Qui-Quadrado
k	Fator de forma de Weibull, adimensional
c	Fator de escala de Weibull, [m/s]
\bar{V}_1	Velocidade do anemômetro da torre 1
\bar{V}_2	Velocidade do anemômetro da torre 2
V_{max}^1	Máxima velocidade no período registrada pelo anemômetro da torre 1
V_{max}^2	Máxima velocidade no período registrada pelo anemômetro da torre 2
V_{min}^1	Mínima velocidade no período registrada pelo anemômetro da torre 1
V_{min}^2	Mínima velocidade no período registrada pelo anemômetro da torre 2
σ_1	Desvio padrão das velocidades no anemômetro da torre 1
σ_2	Desvio padrão das velocidades no anemômetro da torre 2
$\bar{\alpha}$	Ângulo médio das direções de incidência dos ventos

Sumário

1	Introdução	17
1.1	Objetivo	18
1.2	Motivação	18
2	O Estado da Arte	20
2.1	Aspectos Históricos	20
2.2	Síntese da Energia Eólica no Mundo	23
2.3	Síntese da Energia Eólica no Brasil	26
2.4	Justificativas para Investimentos e Desenvolvimento da Energia Eólica no País	27
2.4.1	Tendência de Queda no Preço	27
2.4.2	Capacitação de Mão de Obra Qualificada	29
2.4.3	O Enorme Potencial Eólico Brasileiro	29
2.4.4	Possibilidade de Implantação Perto do Grandes Centros Consumidores	29
2.4.5	Complementariedade para a Fonte Hidráulica	30
2.5	O Projeto PILACAS	31
2.5.1	Objetivos do Projeto PILACAS	31
2.5.2	Atividades Propostas no Projeto PILACAS e de Interesse para o Desenvolvimento da Dissertação	32
2.5.2.1	Aquisições de Dados	32
2.5.2.2	Seleção do Banco de Dados	32
2.5.2.3	Desenvolvimento do Sistema	32
2.5.3	Necessidades Atendidas pelo Projeto PILACAS	32
2.6	Trabalho Proposto	33
3	Seleção das Ferramentas para Montagem da Plataforma	34
3.1	Escolha do Sistema Operacional	34
3.2	Seleção do Banco de Dados	35
3.3	Descrição dos Bancos de Dados Testados	35
3.4	O Software Estatístico	37
3.5	Integração do R com o SQLite	38
4	O Sistema Computacional Desenvolvido	39
4.1	Instrumentação Utilizada para a Aquisição dos Dados	39
4.1.1	Anemômetro	39
4.1.2	Anemoscópio	40

4.1.3	Barômetro	40
4.1.4	Termo-higrômetro	40
4.1.5	Datalogger	41
4.2	Módulo de Aquisição de Dados	42
4.2.1	Procedimentos do Módulo de Aquisição de Dados	42
4.2.2	Diagrama de Blocos do Módulo de Aquisição de Dados	44
4.3	Módulo de Armazenamento e Pré-Processamento	44
4.3.1	Procedimentos do Módulo de Armazenamentos e Pré-Processamento	44
4.3.2	Diagrama de Blocos do Módulo de Armazenamento e Pré-Processamento de Dados	46
4.4	Módulo de Interface: Processamento dos Parâmetros de Entrada para a Geração das Saídas	47
4.4.1	Entrada dos Parâmetros para a Seleção dos Dados	47
4.4.2	Saídas do Sistema	47
4.4.2.1	Gráfico das Médias Horárias da Magnitude e Direção de Incidência dos Ventos	48
4.4.2.2	Gráfico das Médias Mensais da Intensidade e Direção de Incidência dos Ventos	49
4.4.2.3	Rosa dos Ventos pela Densidade de Energia	50
4.4.2.4	Histograma da Magnitude da Velocidade dos Ventos com Linha de Densidade da Distribuição de Weibull	51
4.4.2.5	Parâmetros da Distribuição de Weibull	52
4.4.2.6	Valores de Saída do Sistema	52
4.5	Validação do Sistema Desenvolvido	53
4.5.1	Seleção das Saídas que Serão Confrontadas	53
4.5.2	Escolha dos Conjuntos de Dados com Características Específicas	53
4.5.3	Confrontação dos Resultados	53
4.5.3.1	Perfil Diário do Vento	54
4.5.3.2	Rosa dos Ventos	56
4.5.3.3	Parâmetros de Weibull	57
4.5.4	Análise dos Resultados de Validação	57
	Conclusão	59
	Referências	61
	Apêndices	64
	APÊNDICE A Revisão de Estatística	65
A.1	Medidas Resumo	65

A.1.1	Medidas de Posição	65
A.1.1.1	Média	65
A.1.1.2	Moda	66
A.1.1.3	Mediana	66
A.1.2	Medidas de Dispersão	66
A.2	Quantis	67
A.3	Distribuições Exponencial, Gama e χ^2	67
A.3.1	Distribuição Exponencial	67
A.3.2	Distribuição Gama	68
A.3.3	Distribuição χ^2	69
A.4	Distribuição de Weibull	69
A.4.1	Método dos Mínimos Quadrados	70
A.4.2	Método da Máxima Verossimilhança	70
A.4.3	Método da Máxima Verossimilhança Modificado	71
APÊNDICE B Código Fonte do Programa		72

1 Introdução

Registros históricos mostram que, enquanto a demanda total energética do Brasil vem crescendo a uma taxa média de 3,2% ao ano entre 1973 e 2011; e o PIB, 3,4%, o consumo de energia elétrica apresentou uma taxa média de incremento do consumo de 5,8% ao ano, sendo 6,3% para o residencial e 4,0% para o industrial (VENTURA, 2013).

Com o desenvolvimento da engenharia, a energia eólica tem alcançado preços competitivos nos últimos leilões de energia da ANEEL, consolidando-se como mais uma fonte de energia limpa.

Esse fato vem para contribuir ainda mais com a posição de destaque que o Brasil possui por ser o país que mais utiliza fontes de energia renováveis no mundo. Enquanto a média mundial é de 13% de fontes renováveis nos países industrializados, no Brasil 45,3% da energia total consumida provém de fontes renováveis, sendo que as hidrelétricas representavam mais de 75% da geração de eletricidade consumida no país em 2011 (Brasil Nosso, 2012).

O potencial eólico brasileiro é de aproximadamente 144 GW, considerando aerogeradores instalados a uma altura de 50 m, com o litoral nordestino ocupando lugar de destaque nesse cenário, conforme o Atlas Eólico Brasileiro de 2001, (AMARANTE et al., 2001). Porém, turbinas mais modernas, com mais de 100 m de altura, já são instaladas no Brasil no início da década de 2010, propiciando um melhor aproveitamento dos ventos e um conseqüente aumento no potencial eólico. Apenas para efeito de comparação, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o pico histórico de consumo de energia do Sistema Integrado Nacional (SIN) ocorreu no dia 08/02/2012 com uma demanda instantânea máxima de 76,7 GW às 14:45h.

Com o programa PROINFRA do Governo Federal, incentivando a expansão do mercado de geração de energia por fontes renováveis, constata-se, atualmente, um grande crescimento na prospecção de novas jazidas de ventos para futuros empreendimentos desta forma de energia. Como consequência disto, pode-se deduzir que haverá uma significativa demanda por novas ferramentas projetadas com a finalidade de gerenciar e analisar essa grande massa de dados.

Acrescente-se a esse panorama que há alguns anos, um dos grandes desafios nas pesquisas em engenharia era a falta de dados consistentes e confiáveis para as análises experimentais (AMARANTE et al., 2001).

Com a evolução da eletrônica e da informática, principalmente nas últimas duas

décadas, o cenário se inverteu, havendo a disponibilidade de um grande volume de dados para ser estudado hoje em dia. Conjuntos de dados que há 10 anos necessitariam de um mainframe para serem analisados, hoje em dia já é possível estudá-lo em um notebook.

Todavia, um obstáculo para a expansão da energia eólica no país é a falta de um histórico de dados de ventos confiável para essa utilização (AMARANTE et al., 2001). Isso decorre do fato que a maioria das medições climáticas no país utilizam torres de pequeno porte - geralmente 10 m - podendo originar um erro considerável no cálculo para a extrapolação da velocidade dos ventos para grandes alturas ((LYSEN, 1983); (HAU, 2005)).

Diante desse contexto, propõe-se desenvolver uma ferramenta de suporte para o melhor conhecimento e, conseqüente, aproveitamento do vento para que se possa incrementar a matriz elétrica nacional.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de um sistema computacional capaz de gerenciar e analisar grandes bases de dados atmosférico coletados com o intuito de estudo e pesquisa em energia eólica. O sistema teria os seguintes objetivos:

- Implementação de uma base para gerenciamento de dados que cresce a uma taxa de mais de 2.500.00 registros/mês;
- Implementação de procedimentos para análises gráficas e através de parâmetros das características do vento para geração de relatórios técnicos;
- Implementação de técnicas de pré-processamento, isto é, as consultas mais frequentes são pré-realizadas e, quando detectadas, não há a necessidade de realizar a mesma novamente. Com isso, é possível reduzir o tempo da consulta para um mínimo tempo necessário;
- Capacidade de recuperação dos dados para qualquer período de interesse com os dados desejáveis pelos pesquisadores.

Além dos objetivos citados acima, o sistema deveria ser multiplataforma e totalmente desenvolvido em programa de código livre.

1.2 Motivação

A ideia de se desenvolver o presente trabalho teve origem quando os dados brutos das medições efetuadas pelos equipamentos do Projeto PILACAS (que será melhor

apresentado mais a frente no presente trabalho) começaram a chegar ao laboratório.

Neste momento, ficou evidente as limitações dos softwares utilizados no laboratório, entre as quais:

- Falta de um módulo de gerenciamento de base para armazenamento dos dados brutos. A cada nova aquisição de dados, um novo arquivo txt é gerado. Este fato pode implicar na manipulação de diversos arquivos txt para a análise de um determinado período, abrangendo diversos intervalos de aquisição de dados.
- Falta de um sistema automatizado para o cálculo das médias nos diferentes intervalos de tempos para serem analisados pelo programa Windographer[®]. Essa etapa era trabalhosa e demandava muito tempo para a sua execução.
- Possibilidade de estouro de memória do computador quando fossem analisados grandes intervalos de tempo, o que geraria uma demanda por computadores cada vez mais potentes e caros.

A partir dessas necessidades, observou-se a oportunidade de desenvolver o presente trabalho.

2 O Estado da Arte

2.1 Aspectos Históricos

Os historiadores ainda não conseguiram estipular uma data para quando o homem começou a utilizar a força dos ventos para facilitar os seus trabalhos. Acredita-se que os egípcios tenham sido os primeiros a utilizarem o vento para movimentarem suas embarcações há quase 5000 anos. Indícios indicam que os primeiros moinhos surgiram por volta de 1000 a.C. As primeiras informações confiáveis que se tem notícias sobre moinhos de vento datam de 646 a.C. Eram máquinas do tipo eixo vertical, conforme visto na Figura 1 e na Figura 2, surgindo no Oriente, principalmente na região onde hoje é o Afeganistão e a China.

Figura 1: Moinho para moagem de grãos - Afeganistão.



Fonte: (HAU, 2005)

Alguns séculos depois, os tradicionais moinhos Europeus de 4 pás como vistos em filmes da Idade Média - máquinas de eixo horizontal - apareceram por volta de 1180 d.C na região da Normandia e rapidamente se espalharam por toda a Europa (HAU, 2005).

Os moinhos de vento tiveram grande importância econômica para o velho continente durante toda a Idade Média devido a sua alta capacidade de moer grãos, alavancando o comércio de toda a região.

Figura 2: Moinho para bombeamento de água - China.



Fonte: (HAU, 2005)

Conforme alguns historiadores, estima-se que na região de Zaah, norte de Amsterdã, existissem mais de 1.200 moinhos em 1700. Ainda no século XIX, fala-se que a Holanda tivesse mais de 9.000 moinhos, a Alemanha mais de 20.000, sendo que no continente esse número passasse de mais de 200.000 moinhos (HAU, 2005). Uma vista aérea dos moinhos de vento para drenagem de regiões alagadiças pode ser vista na Figura 3.

Figura 3: Vista aérea dos moinhos para drenagem na Holanda.



Fonte: (HAU, 2005)

Os moinhos de vento apresentaram grande evolução nos séculos XVII e XVIII com as colaborações de:

- Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716): Propôs novos desenhos de moinhos de vento;
- Daniel Bernoulli (1700 - 1782): Aplicação da sua recém formulada lei básica dos fluidos; e
- Leonhard Euler (1707 - 1783): Foi o primeiro a calcular corretamente as torções das pás para melhor aproveitamento dos ventos.

No início do século XIX, já no continente americano, os colonizadores - durante o movimento de migração da costa Leste para a costa Oeste, encontraram grandes dificuldades para obtenção de água na superfície. Devido a essa dificuldade, eles precisavam realizar o bombeamento d'água localizada no subsolo. Um dos pioneiros nessa técnica foi Daniel Halladay que, em 1850, apresentou um moinho com multi-pás, apresentando grandes resultados. Esse modelo ficou famoso no mundo inteiro por constantemente ser visto nos filmes americanos, principalmente os de faroeste, como apresentado na Figura 4.

Figura 4: Modelo de catavento multi-pás proposto por Daniel Halladay para bombeamento d'água.



Fonte: (HAU, 2005).

O início da utilização dos moinho de vento para a produção de energia elétrica data de 1891, passando assim serem chamados de aerogeradores ou turbinas eólicas. Nesse ano, o professor Poul la Cour construiu o seu equipamento em Askov, Dinamarca, com um diâmetro de rotor de 20m e potência de saída variando entre 10 kW e 35 kW (Figura 5).

Devido ao baixo preço do petróleo, a tecnologia de produção de energia elétrica a partir dos ventos passou praticamente adormecida, apenas com poucos centros pelo

Figura 5: Primeiro aerogerador construído por Poul la Cour em 1881.



Fonte: (HAU, 2005).

mundo realizando pesquisas sobre a tecnologia. No início da década de 1980, devido à crise do petróleo da década de 1970, foi retomado o interesse pelo desenvolvimento da tecnologia. Essa retomada foi acompanhada da queda dos preços dos materiais utilizados na estrutura dos aerogeradores, bem como nos equipamentos de eletrônica de potência existentes nos mesmos.

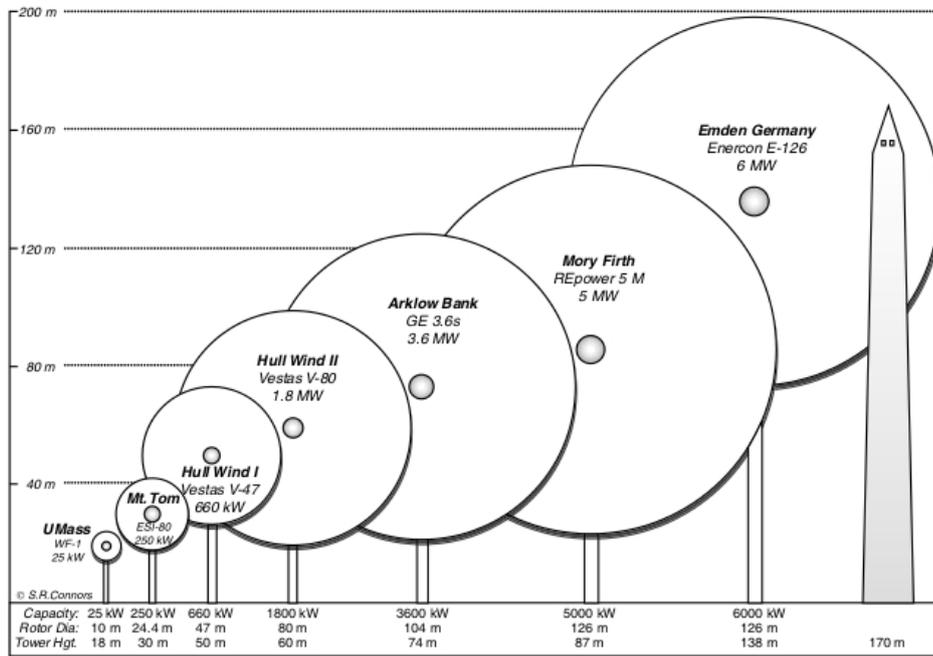
O desenvolvimento dos aerogeradores sofreu uma verdadeira revolução entre as décadas de 1990 e 2000. Se, em 1985, um aerogerador possuía diâmetro de 10m e potência de saída de 50 kW, hoje em dia já é possível encontrar máquinas com diâmetro de mais de 140m e potência de saída na casa de 7 MW, um crescimento de 1400% em menos de 30 anos, conforme visto na Figura 6.

2.2 Síntese da Energia Eólica no Mundo

Desde a revolução industrial do século XVIII, a matriz energética do mundo foi substituída das energias renováveis para fontes não renováveis. Primeiro foi o carvão, depois o petróleo. Isso pode ser explicado pelos baixos preços dessas fontes, como pode ser visto na Figura 7. Somente na década de 1970, com a primeira crise do petróleo, a humanidade voltou a procurar novas alternativas para fontes de energia.

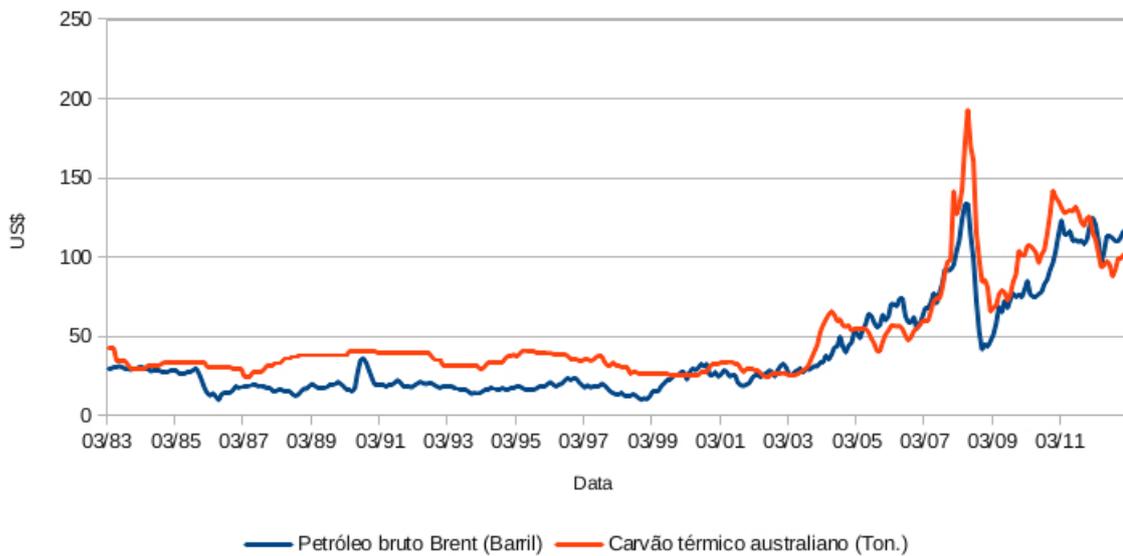
A busca por fontes de energia mais baratas, bem como a crescente pressão por busca de fontes de energia menos poluentes, fez com que a energia eólica voltasse aos holofotes nas últimas duas décadas, sendo observada uma revolução no setor. Como já

Figura 6: Comparativo entre os tamanhos dos aerogeradores de 1985 e atuais.



Fonte: (MANWELL; MACGOWAN; ROGERS, 2009)

Figura 7: Histórico dos preços das principais fontes energéticas mundiais nos últimos 30 anos.



Fonte: (Index Mundi, 2013)

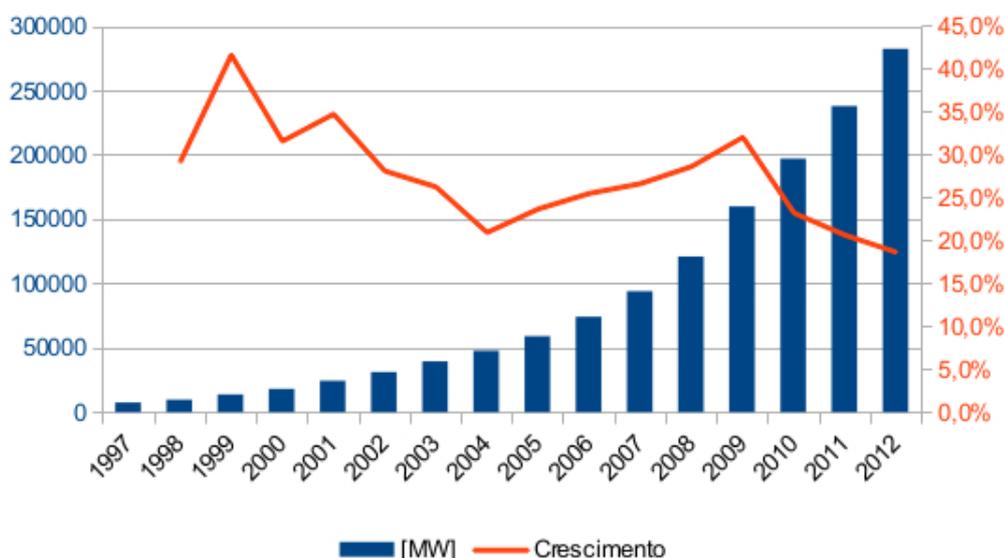
visto, os aerogeradores passaram de máquinas de pequeno porte e poucos kW de produção de energia, para verdadeiros gigantes com altura total de mais de 200m e alguns MW e produção de energia.

Segundo dados da World Wind Energy Association (World Wind Energy Association - WWEA, 2013), o planeta possuía no final de 2012 uma capacidade instalada de 282

GW, o que representa aproximadamente 3% da demanda mundial de energia, conforme Figura 8. Sendo que chegamos à histórica marca de 100 países produzindo energia eólica. Essa capacidade instalada representa mais de duas vezes a capacidade elétrica instalada do Brasil

Conforme visto na Figura 8, o mundo vem observando ano a ano uma taxa de crescimento no fornecimento de energia de origem eólica acima de 20%. Mas, em alguns países, esse crescimento é ainda maior. A Tabela 1 apresenta os países com mais de 200 MW de energia eólica instalada que tiveram, proporcionalmente, o maior crescimento em 2012.

Figura 8: Capacidade instalada no mundo e o crescimento percentual por ano.



Fonte: (World Wind Energy Association - WWEA, 2013)

Tabela 1: Os 10 países, com mais de 200MW instalados, que apresentaram maiores crescimento proporcional na instalação de energia eólica em 2012.

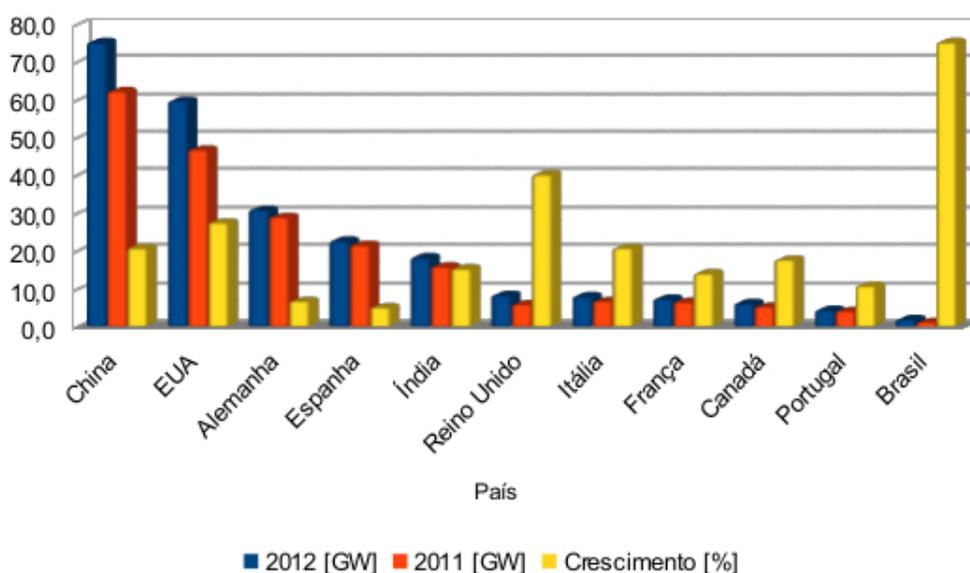
País	2012	2011
Romênia	130,60%	39,80%
Ucrânia	82,70%	73,00%
Argentina	80,50%	139,00%
Brasil	75,40%	53,70%
Polônia	46,20%	37,10%
Estônia	46,20%	23,50%
Finlândia	46,20%	0,00%
México	45,10%	78,30%
Reino Unido	40,30%	0,80%
Bulgária	36,00%	0,80%

Fonte: (World Wind Energy Association - WWEA, 2013)

A Figura 9 apresenta os 10 maiores produtores mundiais de energia eólica em 2012, bem como suas produções em 2011 e o crescimento apresentado no ano de 2012 mais o Brasil.

É importante chamar a atenção para alguns dados da Figura 9, a potência instalada de energia eólica do três maiores produtores de energia eólica mundial - China, EUA e Alemanha, equivale à praticamente toda a capacidade de geração elétrica do Brasil. E mais, a China, somente no primeiro semestre de 2012, adicionou ao seu parque eólico o equivalente a quase o triplo do parque eólico brasileiro, e os Estados Unidos, mais do que um parque eólico brasileiro.

Figura 9: Os 10 maiores produtores mundiais de energia eólica em 2012, suas produções em 2011 e o crescimento apresentado no ano de 2012.



Fonte: (World Wind Energy Association - WWEA, 2013)

2.3 Síntese da Energia Eólica no Brasil

O Brasil caracteriza-se por ser o país que mais utiliza recursos renováveis na sua matriz elétrica. Isso deve-se ao fato do amplo uso da hidroelétricas para geração da nossa energia. Dados da ANEEL apontam que aproximadamente 65% de toda energia elétrica consumida no Brasil provém dessa fonte, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Comparando-se os dados da Tabela 2 com os dados da Tabela ??, percebe-se que o Brasil necessita mais do que dobrar o seu aproveitamento eólico para entrar na lista do 10 maiores produtores mundiais de energia eólica. Isso não é difícil de acontecer, uma vez que segundo o Atlas de Aproveitamento Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2001), o país tem um potencial de geração de 144 GW para aerogeradores instalados a uma altura de 50m.

É importante ressaltar que segundo (HAU, 2005) e (LYSEN, 1983) a velocidade dos ventos cresce consideravelmente com o aumento da altura. Levando-se em conta que atualmente o cubo dos novos aerogeradores situa-se a mais de 100m de altura, conforme mostrado na Figura 6, o potencial brasileiro torna-se muito maior.

Outro ponto importante a se ressaltar é que o país praticamente não possui estudos de aproveitamento de sua capacidade offshore - instalação dos equipamentos na água. Um exemplo de estudo seria o trabalho (OLIVEIRA, 2011). Isso se agrava quando verifica-se a alta capacidade de geração no litoral brasileiro, com o Nordeste ocupando lugar de destaque no cenário nacional, conforme apresentado na Figura 10.

Tabela 2: Matriz elétrica brasileira.

Tipo		Empreendimentos em Operação		
		Nº de Usinas	Capacidade Instalada kW	%
Hidro		1.065	84.8000.741	64,26
Gás	Natural	111	12.176.605	10,50
	Processo	39	1.683.663	
Petróleo	Óleo Diesel	1.015	3.479.990	5,64
	Óleo Residual	34	3.968.647	
Biomassa	Bagaço de Cana	369	8.792.812	8
	Licor Negro	14	1.246.222	
	Madeira	46	409.235	
	Biogás	19	74.388	
	Casca de Arroz	9	36.433	
Nuclear		2	2.007.000	1,52
Carvão Mineral		12	3.024.465	2,29
Eólica		94	2.074.541	1,57
Importação			8.170.000	6,19

Fonte: Adaptado do site da ANEEL acessado em 21/05/2013.

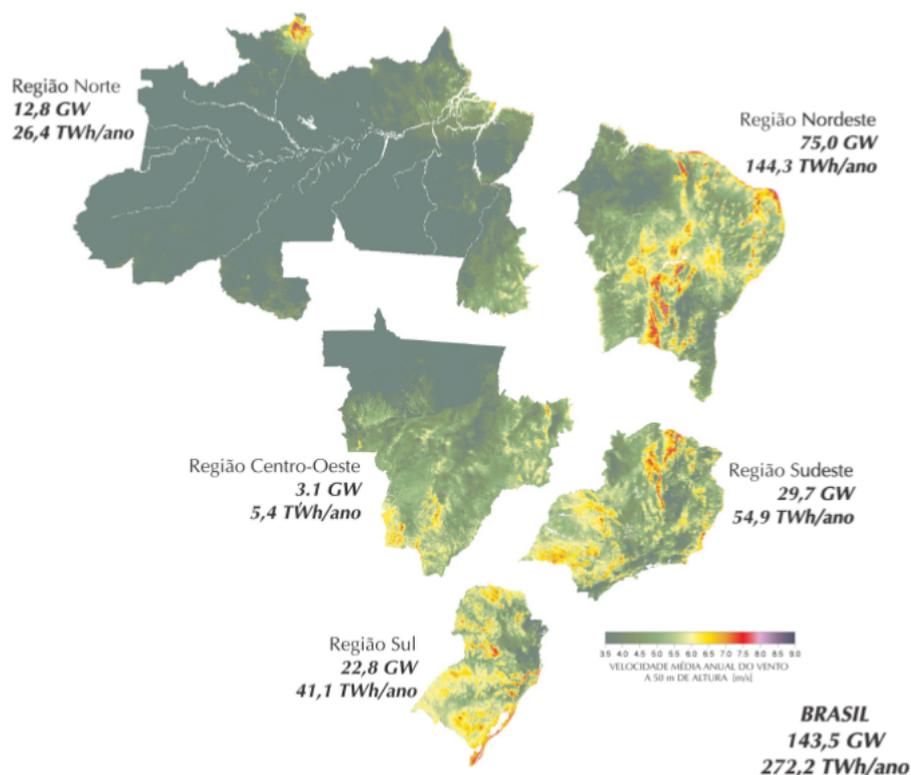
Considerando-se os fatos de que o Brasil possui mais de 8.000 km de costa e da altura dos novos equipamentos, conclui-se que o aproveitamento da energia eólica no país é insignificante perto da sua capacidade de geração.

2.4 Justificativas para Investimentos e Desenvolvimento da Energia Eólica no País

2.4.1 Tendência de Queda no Preço

Apesar do Brasil apresentar amplo uso de fontes renováveis na sua matriz elétrica, a Tabela 2 mostra que menos de 10% da energia elétrica consumida no país provém de fontes alternativas, uma vez que a base da nossa matriz são as grandes hidrelétricas.

Figura 10: Potencial eólico onshore brasileiro, por região, a uma altura de 50m.



Fonte: (AMARANTE et al., 2001).

Porém, ano após ano, a energia eólica vem apresentando queda nos preços dos leilões realizados regularmente pela ANEEL para ampliação da nossa geração. Segundo o relatório da WWF-Brasil (JANNUZZI et al., 2012), a energia eólica já é a segunda mais barata no país, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Preços em R\$/MW da energia elétrica produzida no Brasil.

Fonte	Custo Instalação [R\$/kW]	Custo nivelado aproximado	
		Mínimo	Máximo
Hidrelétrica	3.450,00	60,63	101,35
PCH	5.000,00	112,47	161,96
Eólica	3.350,00	89,00	118,00
Biomassa (cana-de-açúcar)	3.000,00	91,00	131,00
Nuclear	3.000,00	155,00	192,00
Gás natural ciclo combinado	3.000,00		173,58
Carvão pulverizado nacional	2.750,00		133,55

Fonte: (JANNUZZI et al., 2012)

A WWF - Brasil analisa na tabela 3 que os preços da energia elétrica produzida pelas fontes hidrelétricas e nuclear apresentam tendência de subida para os próximos anos.

As PCH's¹ e as térmicas por carvão pulverizado apresentam perspectiva de estabilidade nos preços. Já as eólicas, térmicas por biomassa e gás natural apresentam tendência de queda nos valores praticados para os próximos leilões.

2.4.2 Capacitação de Mão de Obra Qualificada

Toda introdução de novas tecnologias no mercado implica em novas áreas de atuação para mão de obra qualificada. Como o Governo Federal tem por objetivo o reaquecimento da economia, isso passa pela geração de empregos. Porém, quanto mais especializado for esse emprego, maior o valor agregado da mão de obra e, com isso, significa maiores ganhos para a sociedade. (SIMAS; PACCA, 2013) diz que o Brasil irá gerar 193 mil empregos no setor, sendo 70% deles diretos até 2020. Já (Global Wind Energy Council - GWEC, 2012) fala em 280 mil novos postos de trabalho diretos e indiretos.

Como exemplos de oportunidades de emprego gerados, pode-se citar:

- Engenharias: solos, fundações, estrutural, aeroespacial, eletrotécnico, eletrônica, químico, materiais, etc.
- Técnicos: montagem, solda, eletro-eletrônica, segurança no trabalho, logística, etc.

Como pode-se ver, a construção, montagem e comissionamento de aerogeradores necessita uma verdadeira gama de profissionais qualificados, agregando melhores rendimentos aos profissionais de diversas áreas.

2.4.3 O Enorme Potencial Eólico Brasileiro

O Brasil possui um potencial eólico de 144 GW para aerogeradores instalados a uma altura de 50 m (AMARANTE et al., 2001). Porém, estimativas mais recentes, de 2012, mostram que o país possui um potencial on-shore de 350 GW para uma altura de 80 m a 100 m (Global Wind Energy Council - GWEC, 2012).

Quando se trata do potencial off-shore, ou seja, aerogeradores instalados na água, o estudo de (ORTIZ; KAMPEL, 2011) diz que o potencial brasileiro na sua zona de exploração exclusiva (ZEE) é da ordem de 1780 GW, sendo 606 GW para águas com profundidade variando entre 0 m e 100 m e altura de 80 m.

2.4.4 Possibilidade de Implantação Perto do Grandes Centros Consumidores

Com a saturação dos grandes rios para a geração de energia elétrica próximo aos grandes centros consumidores, as barragens então tendo que migrar para a região de

¹ Pequena Central Hidrelétrica

floresta. Com isso, dois novos custos estão tornando essa fonte desvantajosa para novos empreendimentos. O primeiro custo, contábil, é o alto custo das linhas de transmissão para escoar a energia produzida. O segundo custo, que está se tornando cada vez mais contábil devido às cotas de emissão de carbono, seria o impacto ambiental produzido pelo desmatamento necessário para implantação da usina e das linhas, o que vêm produzindo grandes protestos na instalação da usina de Belo Monte.

Para abastecer nossos grandes centros consumidores, tem-se optado, nos últimos anos, por usinas termoelétricas. Porém, apesar dessas usinas serem de rápida instalação e baratas para serem implementadas, são caras para serem acionadas, além de emitirem gases causadores do efeito estufa, destruidores da camada de ozônio, causadores de chuvas ácidas, etc. Esses males já são frequentes nos nossos grandes centros urbanos.

Todavia, a grande maioria dos nossos grandes centros urbanos encontram-se no litoral ou próximos a ele. Assim, os custos para o aproveitamento dos ventos para abastecerem nossas regiões metropolitanas têm uma redução drástica nos custos de transporte da energia.

2.4.5 Complementariedade para a Fonte Hidráulica

Um outro problema associado ao custo ambiental é que, para redução dos impactos provocados, essas usinas são a fio d'água, ou seja, sem reservatório, estando a mercê do clima. Pode-se ver o risco da utilização de usinas a fio d'água nesse ano de 2013, onde o país enfrenta a pior seca dos últimos 50 anos. Como não está chovendo nas nascentes dos nossos grandes rios, a produção a fio d'água está comprometida e nossos reservatórios estão atingindo níveis críticos, conforme visto na Tabela 4, obrigando a um crescente uso das termoelétricas, fonte de energia muito mais caras e poluentes do que as hidroelétricas.

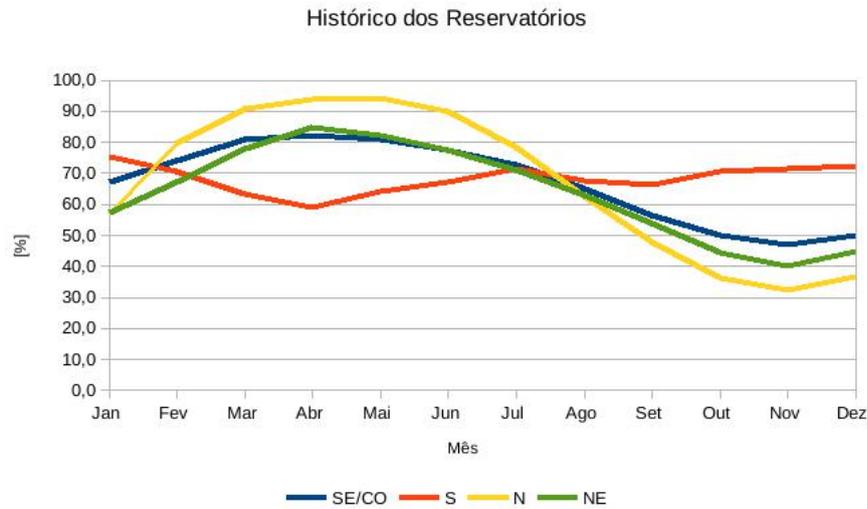
Tabela 4: Nível dos reservatórios, em %, nas regiões brasileiras no ano de 2013.

Mês	REGIÃO			
	SE/CO	S	N	NE
Janeiro	37,46%	43,77%	51,08%	32,86%
Fevereiro	45,48%	41,79%	75,43%	41,79%
Março	54,13%	62,45%	94,18%	42,86%
Abril	62,45%	60,27%	96,11%	48,77%

Fonte: Sítio do ONS.

Todavia, os meses em que nossos reservatórios estão mais críticos são justamente os meses em que mais venta (Figura 11). Logo, a energia eólica pode muito bem ser usada como uma complementariedade à hidrelétrica, não sendo necessário o acionamento das térmicas para proteger do nível crítico os reservatórios das nossas grandes usinas.

Figura 11: Nível histórico médio dos reservatório por região no país.



Fonte: Adaptado do sítio do ONS.

2.5 O Projeto PILACAS

Diante do cenário apresentado, e havendo ainda no país uma grande lacuna no setor de energia eólica, o Laboratório Didático Pedagógico de Mecânica de Fluidos do departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, está desenvolvendo o Projeto Piloto de Um Laboratório em Campo Aberto para Certificação de Aerogeradores de Pequeno Porte (ARAÚJO, 2010), doravante denominado de PILACAS.

Apresenta-se, a partir de agora, os principais pontos do projeto que contextualizam e justificam a sua implantação e que fundamentaram o desenvolvimento do presente trabalho.

2.5.1 Objetivos do Projeto PILACAS

São objetivos do Projeto PILACAS:

1. Implantar um projeto piloto de uma estrutura laboratorial de campo aberto para subsidiar o desenvolvimento de um processo nacional de certificação de sistemas completos de aerogeradores de pequeno porte;
2. Capacitar recursos humanos (engenheiros, mestres e estudantes de engenharia e ensino técnico) na experiência prática de instalar, operar e manter laboratório de tecnologia na fronteira do conhecimento mundial para atender a demanda crescente em sistemas eólicos; e
3. Validar metodologia proposta na academia de estimativa de produção de energia elétrica de fonte eólica denominada PEL – Perfil Energético Local (MELO, 2009).

2.5.2 Atividades Propostas no Projeto PILACAS e de Interesse para o Desenvolvimento da Dissertação

Destaca-se, neste momento, as atividades desenvolvidas no Projeto PILACAS e que suportam a razão de existir deste trabalho

2.5.2.1 Aquisições de Dados

Especificação, compra e instalação de equipamentos de medição, aquisição e processamento de dados de vento (intensidade e direção) e temperatura e umidade do ar, bem como o seu devido comissionamento (verificações, inspeções, testes, e operações assistidas) dos módulos e do sistema completo. Esta etapa é muito importante pois dela sairia um dos poucos históricos de dados de vento confiável coletado no Brasil com a finalidade de produção de energia elétrica através de aerogeradores.

2.5.2.2 Seleção do Banco de Dados

Nesta atividade, foi realizada a seleção de um sistema gerenciador de banco de dados para armazenamento da massa de dados proveniente do sistema de aquisição, descrito no item anterior. Concomitantemente à escolha do banco de dados, nesta etapa também previa-se a escolha de um programa de análise estatística compatível com o banco de dados para desenvolver o processamento e análise dos dados coletados.

2.5.2.3 Desenvolvimento do Sistema

Desenvolvimento de um sistema utilizando software livre com capacidade de manipulação de grandes quantidades de dados de forma tal que o laboratório tivesse total conhecimento e domínio sobre o funcionamento do sistema.

2.5.3 Necessidades Atendidas pelo Projeto PILACAS

Como principais resultados atendidos pelo Projeto PILACAS, destacam-se:

- Adquirir e desenvolver experiência nacional na implantação de laboratório de campo aberto para testes de sistemas completos de aerogeradores de pequeno porte;
- A experiência adquirida será divulgada via workshop e artigos técnicos, objetivando transferir conhecimento para viabilizar a formação de uma futura rede de laboratórios de medição e testes;
- Obter dados técnicos para formar um banco de dados que subsidie a criação de normas, procedimentos e padronização dos aerogeradores de pequeno porte fabricados no Brasil;

- Adaptar um processo nacional para certificar em campo aberto a curva de potência elétrica fornecida pelos fabricantes de aerogeradores de pequeno porte;
- Capacitar recursos humanos para atender a atual (sistemas de grande porte) e futura (sistemas de pequeno porte) demanda crescente em manutenção de sistemas de geração elétrica por energia eólica; e
- Possibilidade de validar a metodologia proposta na academia de estimativa de produção de energia elétrica de fonte eólica denominada PEL – Perfil Energético Local (MELO, 2009).

Estes resultados esperados demonstram o aspecto diferencial da proposta que agregam simultaneamente potencial de inovação tecnológica e capacitação laboratorial de recursos humanos em área onde o Brasil é carente.

2.6 Trabalho Proposto

Durante a primeira fase do projeto foi feita a publicação do artigo “Uma ferramenta computacional para análise de dados eólicos” (ALVAREZ et al., 2012), que tinha por objetivo apresentar as ideias de concepção técnica, projetos e teste preliminares de uma ferramenta computacional desenvolvida em software livre. A ferramenta computacional foi projetada com intuito de gerar uma base de dados através do armazenamento dos dados de vento adquiridos com instrumentação dedicada do Projeto PILACAS.

Utilizando-se o armazenamento dos dados, foi possível desenvolver as rotinas de processamento e análise dos mesmos.

Tendo o sistema piloto apresentado no artigo como embrião, e após sucessivas modelagens do mesmo, foram estabelecidas as características de implementação do trabalho e que serão apresentadas nas seguintes etapas:

- Seleção das Ferramentas para Montagem da Plataforma: Apresentação do processo de seleção de softwares para a montagem da plataforma na qual será desenvolvido o sistema computacional;
- O Sistema Computacional Desenvolvido: Apresentação das etapas de implementação do sistema computacional de gerenciamento e análise dos dados eólicos, que passa a ser denominado de Sistema PILACAS.

3 Seleção das Ferramentas para Montagem da Plataforma

Após se conhecer as premissas a serem atendidas pelo Sistema PILACAS, e que darão suporte aos pesquisadores da área de energia eólica, estabeleceu-se as características que a plataforma deveria atender.

Dentre as características destaca-se a flexibilidade. Optou-se, para isso, o desenvolvimento em software livre, permitindo que os pesquisadores possam reproduzir, utilizar, conhecer, adaptar e incluir procedimentos sem restrições ao código.

Com a flexibilidade de desenvolvimento, permite-se a liberdade do conhecimento do código fonte para melhor entender o funcionamento. Com isso, pode-se adaptar o código as suas próprias necessidades, característica essa fundamental ao ambiente de pesquisa, permitindo a constante evolução do estado da arte da tecnologia, não se fazendo necessário a reinvenção da roda.

Para o desenvolvimento do projeto no tocante às ferramentas computacionais, foram selecionadas as seguintes ferramentas:

- Escolha do sistema operacional;
- Seleção do sistema de gestão do banco de dados;
- Seleção do software de processamento estatístico; e
- Integração entre o software estatístico e o banco de dados.

3.1 Escolha do Sistema Operacional

Como sistema operacional que serviria de base para o desenvolvimento, optou-se pelo Linux. O Linux é um sistema “estável, confiável e que pode ser modificado conforme as necessidades” (DARAYA, 2013). Esses foram os motivos pelos quais a NASA declarou, em Maio de 2013, que irá substituir o sistema operacional dos computadores dos astronauta na Estação Espacial Internacional (ISS).

Para o presente trabalho, as distribuições utilizadas foram o Debian e o Ubuntu por apresentarem melhor desempenho global do que o Windows (OVERA, 2012). Apenas a título de comparação, durante o desenvolvimento, ao se utilizar o Debian 7.0 codinome

Wheezy com a interface XFCE, chegou-se a um consumo de memória RAM de apenas 194 Mb, muito inferior aos quase 1500 Mb do Windows 7.

O fator do menor consumo de memória foi determinante pelo fato de na fase inicial do programa, grandes volumes de dados eram carregados na memória. Com o Windows, sobrava menos memória para a manipulação dos dados. Assim, seria necessária a adição de mais memória RAM num computador que já possuía 4 GB. Caso não fosse possível, faria-se necessária a compra de um novo computador.

3.2 Seleção do Banco de Dados

Após serem estabelecidas as características funcionais e técnicas do sistema, bem como os objetivos a serem alcançados, desenvolveu-se uma lista de checagem que atendessem as necessidades do projeto. Para melhor compreender a lista, apresenta-se uma breve explicação sobre cada termo utilizado para realizar as verificações e escolha dos softwares a serem utilizados.

- **Robustez:** Capacidade de funcionar em situações adversas e de administrar grandes volumes de dados;
- **Relação Custo vs Benefício:** Os produtos livres tendem a ter um custo de aquisição/manutenção mais baixo. É um ponto a ser analisado. Deve-se ter em foco o retorno do investimento. Não só financeiro, mas de credibilidade e manutenção da operação da empresa;
- **Portabilidade:** Capacidade do produto ser utilizado em ambientes operacionais diversos, sem alterações substanciais em sua estrutura lógica;
- **Código Livre (Open Source):** Por ter seu código de livre distribuição possui maior possibilidade de continuidade, em caso de problemas com os distribuidores originais;
- **Modelo Cliente-Servidor:** Para o banco de dados acessar os dados, analisar se o mesmo necessita, ou não, de um servidor de dados para a tarefa.

3.3 Descrição dos Bancos de Dados Testados

Para o presente trabalho, os seguintes bancos de dados foram analisados:

- MySQL
- PostgreSQL

- Oracle Express 11G
- SQLite
- Access
- SQL Server Express 2012

A Tabela 5 apresenta a lista de testes, bem como os resultados obtidos por cada um dos bancos de dados nas análises efetuadas para se escolher o programa que iria ser usado no desenvolvimento do sistema.

Tabela 5: Cruzamento da lista de requisitos *vs* lista dos bancos de dados selecionados para análise. A: Aprovado. X: Reprovado

	Custo x Ben.	Portabi.	Cód. Livre	Cliente/Servidor	Robustez
MySQL	A	A	A	X	A
PostgreSQL	A	A	A	X	A
Oracle Express	A	A	X	X	X
SQLite	A	A	A	A	A
SQL Server	A	X	X	X	X
Access	X	X	X	A	X

Os programas Oracle Express e SQL Server Express foram reprovados no teste de robustez devido ao fato de que, nas suas versões gratuitas, apresentam restrições quanto ao uso de memória RAM (limitada a 1GB por base) e no tamanho das bases de dados - 10 GB para o SQL Server 2012 e 11 GB para Oracle Express 11G.

Ao verificar-se a Tabela 5, escolheu-se o SQLite por ter sido esse o que mais atendeu aos requisitos desejáveis para o sistema que se estava implementando.

Um dos fatores que chamou atenção neste programa foi o seu reduzido tamanho em disco. O arquivo de instalação possui aproximadamente 250 kB, não necessita de servidor, praticamente não consome recursos da máquina, suporta bases na ordem de 2 TB, pode ser empacotado junto com o programa - sendo uma característica interessante para uma futura etapa do desenvolvimento do sistema, suporta mais de 50.000 conexões simultâneas, é rápido e apresenta grande amigabilidade para o uso.

Outra grande característica do SQLite é que ele, na verdade, é uma biblioteca escrita em C. Devido a essa característica, todos os arquivos e padrões da base de dados são armazenados em um único arquivo. Isso facilita o processo de manutenção, principalmente para realização de cópias de segurança. Enquanto em outros bancos de dados seria necessário a aplicação de comandos, no SQLite basta um simples copiar e colar na tela de gerenciamento de arquivos.

3.4 O Software Estatístico

Para a seleção do software estatístico, utilizou-se a mesma lista de pré-requisitos do processo de definição do gerenciador de banco de dados. Após a definição dos requisitos, foi realizado um processo de consulta a profissionais da área. Durante esse processo, o software R foi recomendado.

Logo após, a literatura da área foi consultada e, como esperado, havia forte indicação para o uso do mesmo. Entre essas indicações, as mais relevantes foram:

- Multiplataforma;
- Feito em código livre;
- Capacidade de manipulação de grandes volumes de dados;
- Qualidade dos gráficos.

Outro pacote computacional que poderia ser utilizado nas análises estatística é o Octave. Porém, a escolha pelo R foi baseada em dois aspectos.

- O R apresenta um repositório de pacotes mais amplo, favorecendo ampliações futuras do sistema;
- Grupo de usuários maior e mais ativo do que o do Octave.

Para o desenvolvimento do trabalho, os seguintes pacotes do R foram utilizados:

- MASS, (RIPLEY *et al.*, 2013): Análise dos parâmetros de Weibull pelo método da máxima verossimilhança;
- Circular, (LUND; AGOSTINELLI, 2013): Cálculo das médias dos ângulos;
- Lattice, (SARKAR, 2013), e Lattice Extra, (SARKAR; ANDREWS, 2013): Geração de gráficos;
- Climatol, (GUIJARRO, 2013): Usado no início do desenvolvimento do trabalho, sendo substituído por processamento interno no decorrer do desenvolvimento do mesmo;
- RSQLite, (JAMES; FALCON; SQLITE, 2013): Utilizado para a realização da integração do R com o banco de dados.

A Tabela 6 apresenta um benchmarking realizado por (SALAS, 2008) entre o R e os softwares estatísticos comerciais SPSS, SAS, e que vem confirmar as características levantadas. A nomenclatura segue a adotada por (SALAS, 2008) em seu trabalho.

Tabela 6: Comparação de aspectos gerais entre os programas estatísticos SPSS, SAS e R. Fonte: (SALAS, 2008)

Aspectos	Programas Estatísticos		
	SPSS	SAS	R
Amigabilidade com o usuário	Excelente	Baixa-Regular	Baixa-Regular
Manipulação de dados	Baixa	Boa	Boa
Qualidade dos gráficos	Regular	Boa-Excelente	Excelente
Controle de processo	Baixa	Excelente	Excelente
Custo	US\$1500,00	US\$7200,00	Grátis
Código fonte disponível	Não	Não	Sim
Variedade de análises estatísticas	Boa	Boa-Excelente	Excelente
Documentação	Excelente	Boa	Boa-Excelente
Suporte Técnico	Bom	Bom	Baixo
Sistema Operacional	Windows [®]	Windows [®]	Windows [®]
		Macintosh [®]	Macintosh [®]
		Linux	Linux

3.5 Integração do R com o SQLite

Para a realização da conexão entre o R e o SQLite, duas bibliotecas do R foram testadas, a RODBC e a RSQLite.

O protocolo ODBC é um protocolo padrão para a conexão de bancos de dados. O pacote RODBC possibilita desde a manipulação em baixo nível dos dados até as consultas. É um pacote extremamente completo, porém de uso menos amigável do que o RSQLite, que foi o pacote escolhido.

O pacote RSQLite (JAMES; FALCON; SQLITE, 2013), como já dito, possui uso muito amigável, sendo de rápida e fácil implementação no programa.

Far-se-á, agora, uma breve descrição dos comandos utilizados para realizar a referida integração.

- **dbDriver:** Determinação do driver a ser utilizado na conexão. No caso, SQLite;
- **dbConnect:** Realização da conexão entre o R e o banco de dados.
- **dbSendQuery:** Envia uma consulta ou operação para o banco de dados, porém não retorna valores.
- **dbGetQuery:** Envia uma solicitação ao banco de dados, retornando valores;
- **dbListTable:** Lista as tabelas existentes no banco de dados conectado;

Toda a manipulação dos dados nas base de dados é realizada apenas com os comandos *dbSendQuery* e *dbGetQuery*, onde um dos argumentos do comando é um string com o comando SQL a ser interpretado pelo SQLite.

4 O Sistema Computacional Desenvolvido

Neste capítulo estão relacionados os equipamentos para aquisição de dados, os módulos que compõe o sistema PILACAS, bem como suas respectivas funcionalidades, métodos utilizados e a operacionalidade da comunicação entre usuário e sistema, descritos nas seguintes etapas:

1. Relação da instrumentação utilizada para a aquisição dos dados;
2. Módulo de manutenção: aquisição, armazenamento e pré-processamento dos dados;
3. Módulo de interface: Processamento dos parâmetros de entrada para a geração das saídas;
4. Validação do sistema desenvolvido.

4.1 Instrumentação Utilizada para a Aquisição dos Dados

O processo de aquisição dos dados iniciou-se com a instalação e comissionamento dos equipamentos para medição de dados meteorológicos. Esses equipamentos são transdutores instalados a uma altura de 40m e têm a função de medir as características meteorológicas e transformá-las em uma tensão entre 0 e 5 Volts. Essa tensão é, em seguida, transmitida para o datalogger.

O datalogger (ou data logger) é um dispositivo comumente usado para aquisição e armazenamento de dados, tendo a finalidade de receber os impulsos elétricos oriundos dos dispositivos de medição, que convertem os fenômenos físico em impulsos elétricos. Esses impulsos elétricos são filtrados e, por fim, convertidos ou digitalizados em dados binários ([National Instruments, 2012](#)).

A lista desses equipamentos é apresentada a seguir.

4.1.1 Anemômetro

O anemômetro é o equipamento que tem por objetivo mensurar a magnitude da velocidade do vento. Para o bom desenvolvimento do projeto, optou-se pelo Anemômetro Thies Clima (Figura 12). Entre as principais vantagens deste equipamento destaca-se a sua excelente linearidade.

Figura 12: Anemômetro Thies Clima



4.1.2 Anemoscópio

O anemoscópio é o equipamento responsável em realizar a medição do ângulo de incidência do vento. No projeto, optou-se pelo Anemoscópio Secondwind (Figura 13).

Figura 13: Anemoscópio Secondwind



4.1.3 Barômetro

A finalidade do barômetro (Figura 14) é realizar a medição da pressão atmosférica. Esse dado é de suma importância para o cálculo da massa específica do ar, dado este que é utilizado para o cálculo da densidade de energia disponível no vento. Para o projeto, selecionou-se o Barômetro Setra.

4.1.4 Termo-higrômetro

O termo-higrômetro é um equipamento com dupla finalidade. Ele mensura simultaneamente a temperatura e a umidade relativa do ar. A temperatura é um dado também necessário, junto com a pressão atmosférica, para o correto cálculo da massa específica do

Figura 14: Barômetro Setra



ar. No Projeto PILACAS, usou-se o equipamento modelo Vaisala, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15: Termo-higrômetro Vaisala



4.1.5 Datalogger

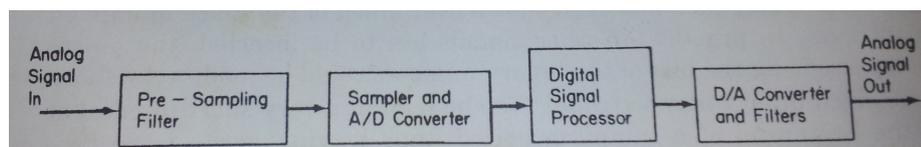
Optou-se pelo coletor de dados modelo CR1000 da Campbell Scientific, apresentado na Figura 16.

Figura 16: Datalogger Campbell CR1000



O datalogger realiza um conjunto de operações sobre os sinais de entrada, conforme visto da Figura 17. Primeiramente é realizada uma filtragem nos sinais de entrada. A seguir, é realizada a amostragem e conversão analógica/digital nos sinais. Após a amostragem, os sinais passam por um processador de sinais. Finalmente, os sinais são armazenados no datalogger para depois serem coletados e analisados. No caso específico deste trabalho, a frequência de armazenamento é de 1 Hz. Também é realizado o armazenamento da data e horário de cada medição.

Figura 17: Esquema de aquisição e conversão de dados de um datalogger



Fonte: (STANLEY; DOUGHERTY; DOUGHERTY, 1984)

Periodicamente, o arquivo é transmitido do datalogger para o computador em formato binário, onde é convertido por programa específico do fabricante do equipamento para o formato txt ou csv. Esse arquivo convertido serve de entrada para o sistema aqui apresentado.

Devido à taxa de leitura de 1Hz, a base de dados cresce a uma taxa mensal de 2.592.000 registros para um mês médio de 30 dias. Cada registro é composto de 7 campos, totalizando 18.144.000 campos armazenados a cada 30 dias.

Para o armazenamento do dados a serem coletados, utiliza-se um cartão de memória com capacidade de 1 GB, evitando, assim, que ocorra perda de dados armazenados.

4.2 Módulo de Aquisição de Dados

Nesta seção serão apresentados os procedimentos que compõe o módulo de aquisição de dados, bem como o seu diagrama de blocos.

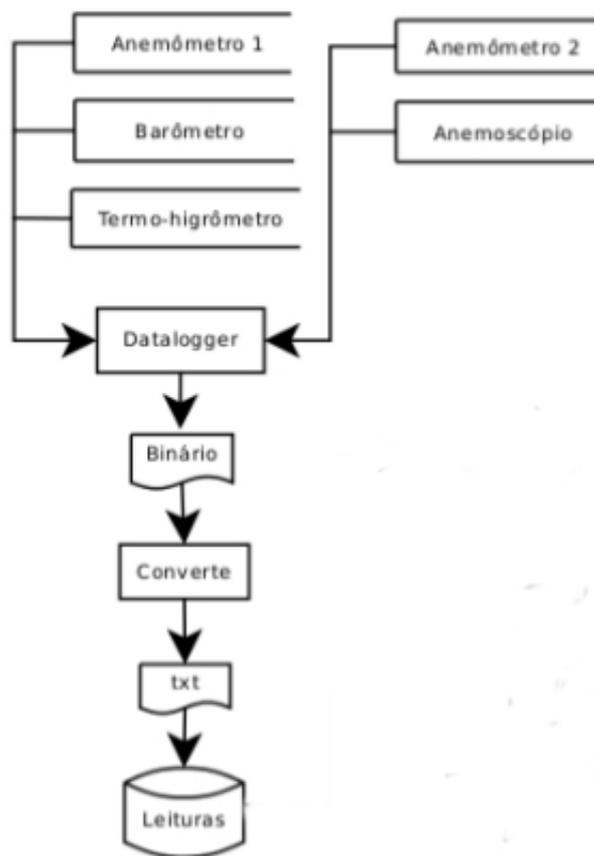
4.2.1 Procedimentos do Módulo de Aquisição de Dados

- Os dados meteorológicos são adquiridos através de instrumentação dedicada e enviados para armazenamento no datalogger.
- De tempos em tempos é realizada a coleta dos dados. Essa coleta poderia ser feita através de transmissão automática. Porém, por uma restrição do projeto, a nossa coleta é feita de forma manual, *in loco*.

-
- No processo de coleta dos dados, obtém-se um arquivo em formato binário. Esse arquivo binário é, então, convertido através de um programa específico do fabricante do datalogger e fornece um arquivo final em formato csv ou txt.
 - Após a conversão do arquivo, o mesmo é selecionado como entrada do sistema para ser armazenado na tabela leitura.

4.2.2 Diagrama de Blocos do Módulo de Aquisição de Dados

Figura 18: Diagrama de blocos do processo de leitura dos dados meteorológicos.



4.3 Módulo de Armazenamento e Pré-Processamento

O módulo de armazenamento e pré-processamento será agora apresentado, assim como o seu respectivo diagrama de blocos.

4.3.1 Procedimentos do Módulo de Armazenamentos e Pré-Processamento

- Testa-se, na tabela Leituras, se há algum mês completo.
 - Caso haja mês completo na tabela, é criada uma tabela específica para este mês. Após a criação dessa tabela, os dados referentes ao mês são transferidos da tabela leituras para a tabela do mês correspondente. Foi escolhido esse processo para redução do tempo de consulta, uma vez que ao se atingir 5 anos de dados armazenados, teria-se na tabela aproximadamente 157.680.000 registros. Quebrando essa mega tabela, que contém todos os dados, em tabelas menores, específicas para cada mês, o número de registros para consulta cai para 2.592.000 registros em média, agilizando o processo de consulta aos dados.

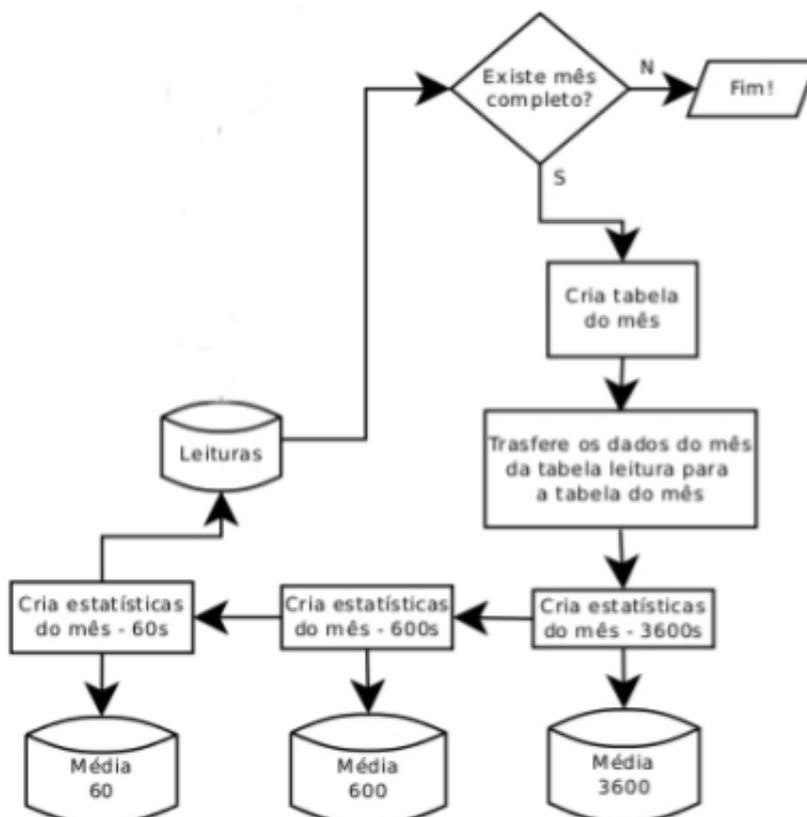
- Após a criação da tabela específica para o mês, são calculadas as seguintes estatísticas do mês para as frequências de 10 minutos, atendendo a norma IEC61400-12-1:
 - * Horário final de média;
 - * Tensão média da bateria;
 - * (\bar{V}_1) : Velocidade média do anemômetro número um;
 - * (V_{1max}) : Velocidade máxima do anemômetro um;
 - * (V_{1min}) : Velocidade mínima do anemômetro um;
 - * (σ_1) : Desvio padrão do anemômetro um;
 - * (\bar{V}_2) : Velocidade média do anemômetro número dois;
 - * (V_{2max}) : Velocidade máxima do anemômetro dois;
 - * (V_{2min}) : Velocidade mínima do anemômetro dois;
 - * (σ_2) : Desvio padrão do anemômetro dois;
 - * $(\bar{\theta})$: Média dos ângulos de incidência do vento;
 - * (\bar{P}) : Pressão atmosférica média;
 - * (\bar{T}) : Temperatura média do ar;
 - * (\bar{U}) : Umidade relativa do ar média.

Como os pesquisadores do projeto também necessitam das médias de 1 minutos e de 60 minutos, aproveita-se para, nesse momento, também calculá-las.

- Após o cálculo das estatísticas, é feita uma nova verificação na tabela leitura para checar se há mais algum mês completo.
- Caso ainda haja mês completo, repete-se o processo.
- Caso não haja mais mês completo, o processo é finalizado.

4.3.2 Diagrama de Blocos do Módulo de Armazenamento e Pré-Processamento de Dados

Figura 19: Diagrama de blocos do processo de armazenamento e pré-processamento dos dados meteorológicos.



4.4 Módulo de Interface: Processamento dos Parâmetros de Entrada para a Geração das Saídas

Este módulo consiste em o usuário informar os parâmetros sobre quais dados serão selecionados pelo sistema. Após a seleção dos dados, o sistema processa os mesmos e gera os gráficos da análise, obtendo, também, os parâmetros estatísticos da amostra. Isso possibilita ao usuário conhecer melhor os ventos da região.

4.4.1 Entrada dos Parâmetros para a Seleção dos Dados

Para a análise dos dados armazenados no sistema, deve-se seguir os seguintes passos:

- Usuário informa, como parâmetro, sobre qual base padronizada (médias de 1 minuto, 10 minutos ou 1 hora) deseja efetuar a análise;
- Após informar a base, o usuário é questionado se quer analisar todos os dados da base ou se pretende analisar algum(s) mês(es) em específico;
 - Se desejar analisar todos os meses, o sistema apresenta os gráficos e parâmetros calculados;
 - Se desejar analisar um período específico, o sistema mostra para o usuário todos os meses disponíveis e pergunta qual(is) mês(es) deseja processar;
 - Após o usuário informar o período de interesse, o sistema apresenta os gráficos e parâmetros calculados.

4.4.2 Saídas do Sistema

Após o processamento dos dados selecionados pelo usuário, o sistema gera as saídas apresentadas a seguir.

4.4.2.1 Gráfico das Médias Horárias da Magnitude e Direção de Incidência dos Ventos

Este gráfico (Figuras 20 e 21) consiste em apresentar em uma única saída as médias horárias da magnitude e a direção da incidência dos ventos, estando presentes duas escalas diferentes nos eixos da ordenadas.

Figura 20: Gráfico das médias horárias da magnitude e direção da velocidade dos ventos. Dados de 10 minutos.

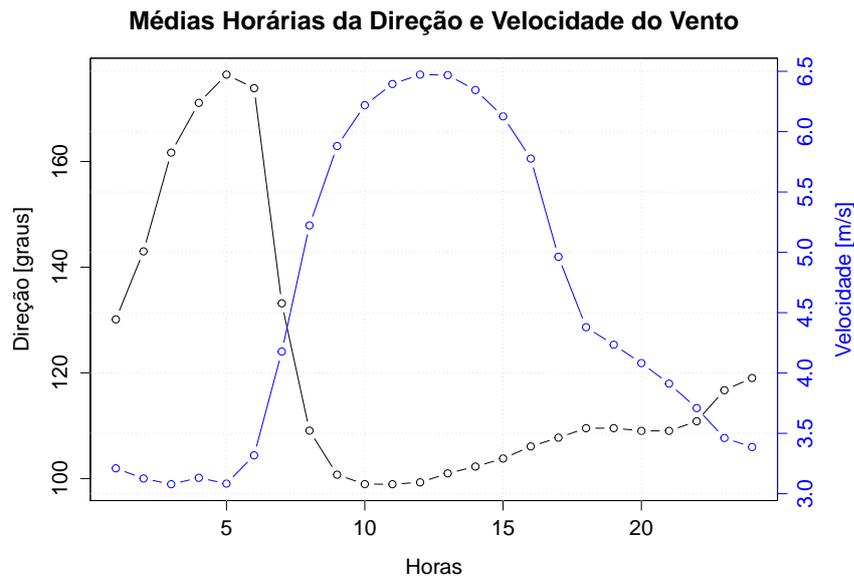
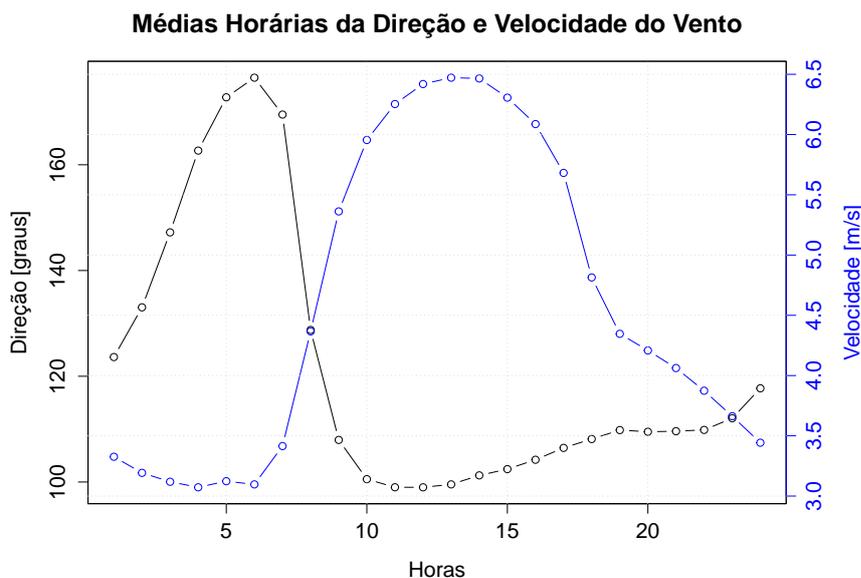


Figura 21: Gráfico das médias horárias da magnitude e direção da velocidade dos ventos. Dados de 1 hora.

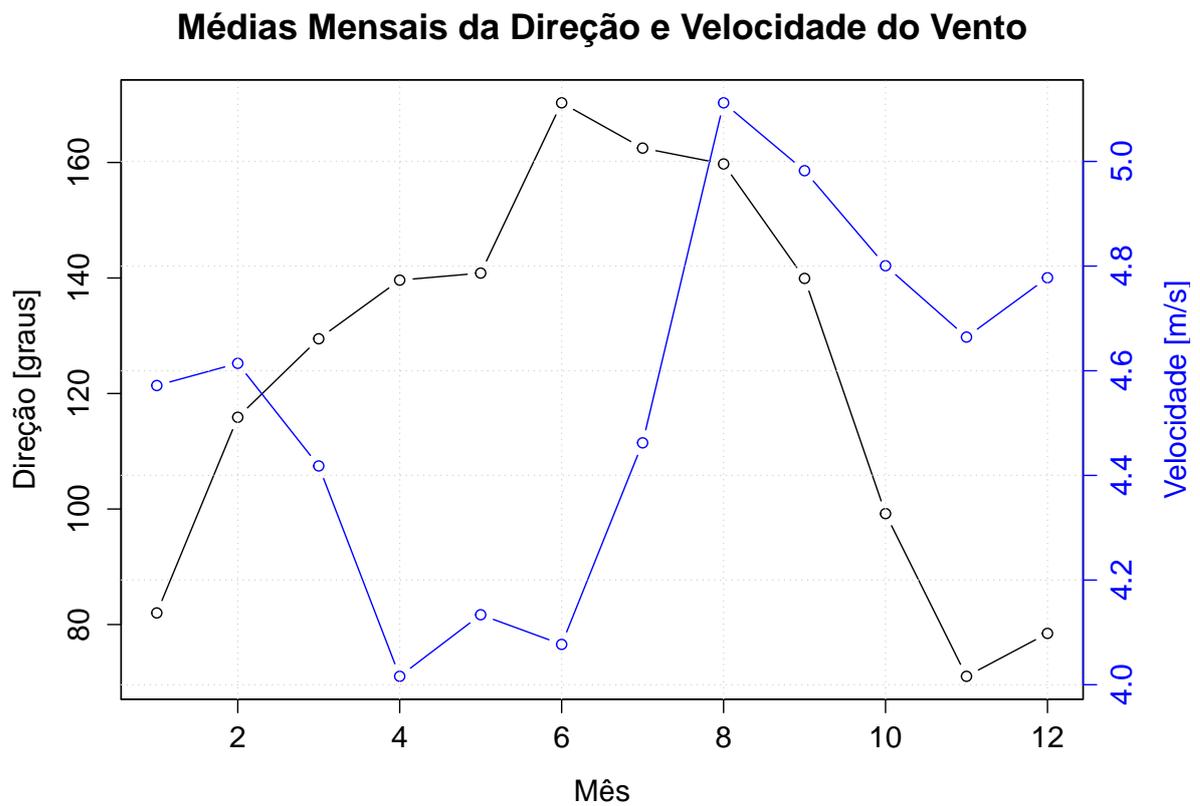


No eixo das abscissas são apresentadas as horas do dia. No eixo das ordenadas do lado esquerdo, está a escala, em graus, da direção de incidência dos ventos, e no do lado direito, a magnitude desse vento incidente.

4.4.2.2 Gráfico das Médias Mensais da Intensidade e Direção de Incidência dos Ventos

Este gráfico é muito semelhante ao gráfico apresentado no tópico anterior. Porém, ao invés de apresentar as médias horárias, o gráfico apresenta as médias mensais da magnitude e da direção dos ventos. Logo, o eixo das abscissas representa os meses do período de análise, conforme é mostrado nas Figuras 22.

Figura 22: Gráfico das médias horárias da magnitude e direção da velocidade dos ventos. Médias de 10 minutos.



4.4.2.3 Rosa dos Ventos pela Densidade de Energia

Para a criação da rosa dos ventos, optou-se pela graduação por densidade de energia, uma vez que o mais interessante na instalação de um aerogerador é que ele capte a maior quantidade de energia possível disponível no vento.

A rosa dos ventos possui uma graduação por cor, como pode ser visto nas Figuras 23 e 24, onde cada mudança de cor representa um acréscimo de 50 W/m^2 na densidade de energia disponível em cada direção.

Figura 23: Gráfico da rosa dos ventos por densidade de energia disponível nos ventos. Médias de 10 minutos

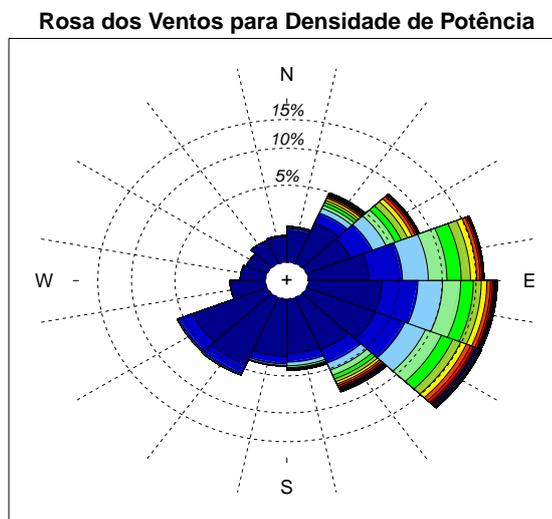
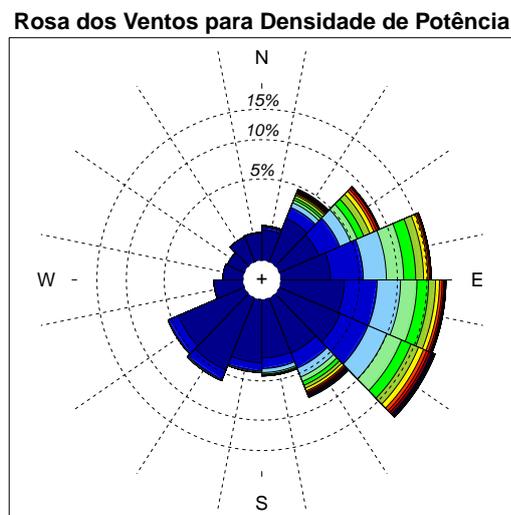


Figura 24: Gráfico da rosa dos ventos por densidade de energia disponível nos ventos. Médias de 1 hora.



Como já era esperado, a predominância dos ventos na região fica entre as direções Leste (E) e Sudeste (SE).

4.4.2.4 Histograma da Magnitude da Velocidade dos Ventos com Linha de Densidade da Distribuição de Weibull

O histograma das magnitudes das velocidades do ventos nos fornece uma ideia da distribuição dos ventos no período analisado¹. A curva de Weibull de melhor ajuste aos dados é apresentada nos gráficos das Figuras 25 e 26.

Figura 25: Histograma das magnitudes das velocidades do vento, bem como a curva teórica de Weibull. Média de 10 minutos.

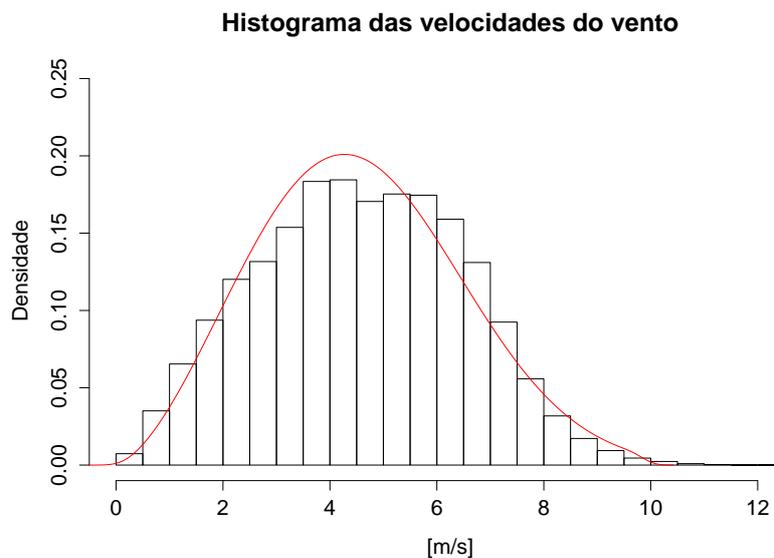
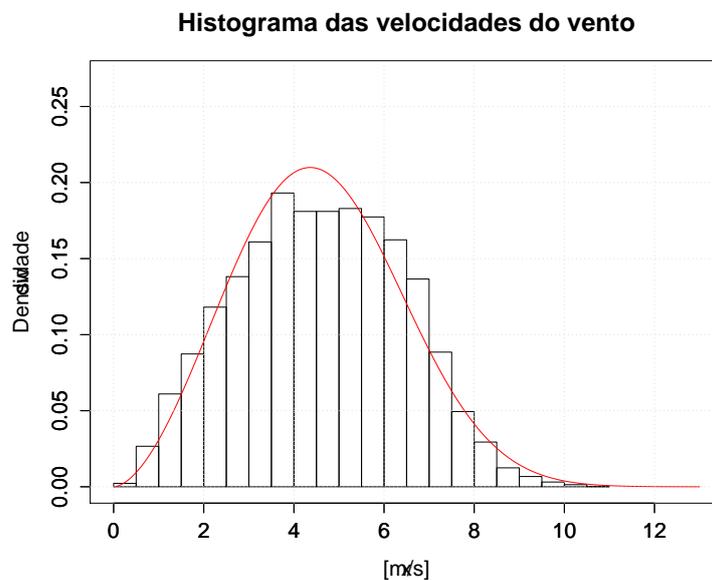


Figura 26: Histograma das magnitudes das velocidades do vento, bem como a curva teórica de Weibull. Média de 1 hora.



¹ O período de coleta utilizado para este trabalho está compreendido entre 08 de Outubro de 2011 e 31 de Janeiro de 2013.

4.4.2.5 Parâmetros da Distribuição de Weibull

Para o cálculo dos parâmetros de Weibull da curva que melhor se ajusta aos dados, foram utilizadas as abordagens dos mínimos quadrados e da máxima verossimilhança, conforme apresentado nos Apêndices do trabalho.

Como ambas as abordagens deram resultados semelhante, com grande aproximação, o critério de seleção passou a ser o que apresentasse a menor constante de energia (K_e), uma vez que esse parâmetro está ligado ao cálculo da densidade de energia. Logo, optando-se pelo menor K_e , está se optando pelo pior caso.

4.4.2.6 Valores de Saída do Sistema

O programa fornece, ainda, valores estatísticos dos dados selecionados para análise. Esses dados são:

- Velocidade média;
- Velocidade máxima;
- Desvio padrão;
- Parâmetro de forma de Weibull;
- Parâmetro de escala de Weibull;
- Ângulo médio do período selecionado.

O valores para o período de coleta são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Tabela com os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull para o período de 8 de Outubro de 2011 a 31 de Janeiro de 2013 - Ipojuca/PE.

Parâmetro	Valor	
	10 minutos	1 hora
Velocidade média	4.58	4.58
Velocidade máxima	12.46	10.60
Desvio padrão	1.92	1.83
Parâmetro de forma k	2.57	2.72
Parâmetro de escala c	5.16	5.15
Ângulo médio	112.1	112.5

Para o cálculo da média dos ângulos, utilizou-se a Equação 4.1.

$$\bar{\alpha} = \arctan \left(\frac{\sum \sin(\alpha)}{\sum \cos(\alpha)} \right) \quad (4.1)$$

4.5 Validação do Sistema Desenvolvido

Para realizar a verificação da consistência dos resultados gerados pelo Sistema PILACAS, os mesmos foram confrontados com os resultados obtidos pelo programa Windographer[®], adotando as etapas apresentadas a seguir.

- Seleção das saídas que serão confrontadas;
- Escolha dos conjuntos de dados com características específicas;
- Confrontação dos resultados.

4.5.1 Seleção das Saídas que Serão Confrontadas

Para a validação dos dados, estabeleceu-se as seguintes comparações para verificação da consistência dos resultados:

- Perfil diário dos ventos;
- Rosas dos ventos;
- Parâmetros de Weibull

4.5.2 Escolha dos Conjuntos de Dados com Características Específicas

Foram definidos três conjuntos de dados distintos para os testes.

- Março de 2012;
- Agosto de 2012;
- Conjunto completo dos dados - Outubro de 2011 a Janeiro de 2013.

Foram selecionados os meses de Março e de Agosto por serem meses representativos das estações secas e chuvosas, respectivamente. Essas estações apresentam características de ventos bem definidas e distintas.

4.5.3 Confrontação dos Resultados

Cada conjunto de dados foi processado pelo sistema PILACAS e também pelo programa Windographer[®]. Para que se possa efetuar a validação do sistema PILACAS, as confrontações são apresentada a seguir.

4.5.3.1 Perfil Diário do Vento

Para a validação do perfil diário do vento, utilizou-se as metodologias do erro quadrado médio (MSE) e do desvio percentual para as médias de velocidade dos ventos para cada uma das 24 horas do mês de Março de 2012.

O erro quadrado médio mínimo “mede a dispersão em torno do verdadeiro valor do parâmetro” (GUJARATI, 2006) e é dado por

$$\text{MSE}(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta} - \theta)^2. \quad (4.2)$$

Uma forma mais prática e direta para o cálculo do MSE é dada pela Eq. 4.3.

$$\text{MSE}(\hat{\theta}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (4.3)$$

Já o erro percentual pode ser calculado pela Eq. 4.4.

$$\text{Erro}\% = 100 * \frac{|V_W - V_P|}{V_W} \quad (4.4)$$

Desde que:

- V_W : Valor registrado pelo software Windographer;
- V_P : Valor registrado pelo sistema PILACAS.

O erro quadrado médio do período foi de apenas 9,81E-10. Já a variação percentual foi de 0,0007%. Essa variação é extremamente pequena e pode ser atribuída a erro de arredondamento dos valores utilizados, como apresentado na Tabela 8.

O comparativo gráfico da validação dos resultados para o perfil diário dos ventos para o mês de Março de 2012 é apresentado na Figura 27.

Como pode ser visto no gráfico da Figura 27, o sistema PILACAS apresenta duas curvas para o perfil diário. São elas:

- Em azul, a magnitude da velocidade de incidência dos ventos para os horários dos dias;
- Em preto, a direção da velocidade de incidência dos ventos para os horários dos dias.

A ordem de grandeza dos erros para no teste de validação foi a mesma para os outros dois períodos testados.

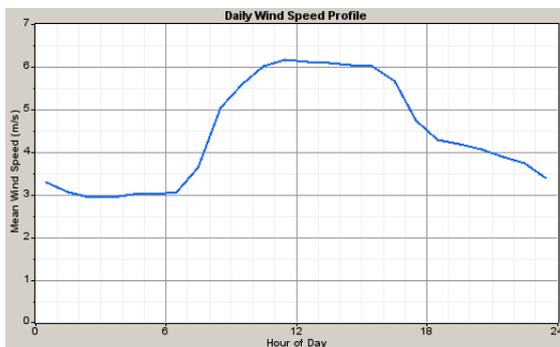
Como o erro foi considerado desprezível, admite-se que ambos os programas estão calculando os mesmos valores para as horas do dia.

Tabela 8: Erro quadrado médio e variação percentual para os dados do perfil diário do vento do mês de Março de 2012 calculados pelo Windographer[®] e pelo sistema PILACAS.

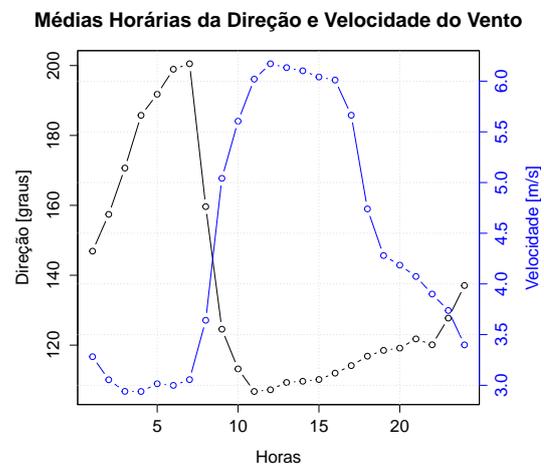
Horário	Windographer	PILACAS	MSE	Erro %
00:00 - 01:00	3,2822	3,282161	1,52E-009	0,0012%
01:00 - 02:00	3,0546	3,054581	3,61E-010	0,0006%
02:00 - 03:00	2,9404	2,940400	0,00E+000	0,0000%
03:00 - 04:00	2,9391	2,939129	8,41E-010	0,0010%
04:00 - 05:00	3,0152	3,015158	1,76E-009	0,0014%
05:00 - 06:00	2,9992	2,999216	2,56E-010	0,0005%
06:00 - 07:00	3,056	3,056006	3,60E-011	0,0002%
07:00 - 08:00	3,6415	3,641484	2,56E-010	0,0004%
08:00 - 09:00	5,0415	5,041452	2,30E-009	0,0010%
09:00 - 10:00	5,6052	5,605161	1,52E-009	0,0007%
10:00 - 11:00	6,0199	6,019871	8,41E-010	0,0005%
11:00 - 12:00	6,1715	6,171548	2,30E-009	0,0008%
12:00 - 13:00	6,1336	6,133613	1,69E-010	0,0002%
13:00 - 14:00	6,1022	6,102161	1,52E-009	0,0006%
14:00 - 15:00	6,0413	6,041323	5,29E-010	0,0004%
15:00 - 16:00	6,0106	6,010645	2,03E-009	0,0007%
16:00 - 17:00	5,6636	5,663613	1,69E-010	0,0002%
17:00 - 18:00	4,7398	4,739806	3,60E-011	0,0001%
18:00 - 19:00	4,2798	4,279839	1,52E-009	0,0009%
19:00 - 20:00	4,1854	4,185387	1,69E-010	0,0003%
20:00 - 21:00	4,0736	4,073645	2,03E-009	0,0011%
21:00 - 22:00	3,9002	3,900161	1,52E-009	0,0010%
22:00 - 23:00	3,738	3,738032	1,02E-009	0,0009%
23:00 - 24:00	3,3987	3,398671	8,41E-010	0,0009%
Erro Médio			9,81E-010	0,0007%

Figura 27: Perfil diário do vento para o mês de Março.

(a) Windographer[®]



(b) PILACAS



4.5.3.2 Rosa dos Ventos

Para a validação da rosa dos ventos, a metodologia utilizada foi a construção da tabela de frequência para os ângulos de incidência do vento. Nessa verificação, utilizou-se os dados do mês de Agosto.

Primeiramente, construiu-se a rosa dos ventos para as 12 possíveis direções de incidência, o que resultou em intervalos de 30 graus. Após isso, foi analisado quantas ocorrências houveram para cada um dos intervalos construídos e chegou-se à Tabela 9.

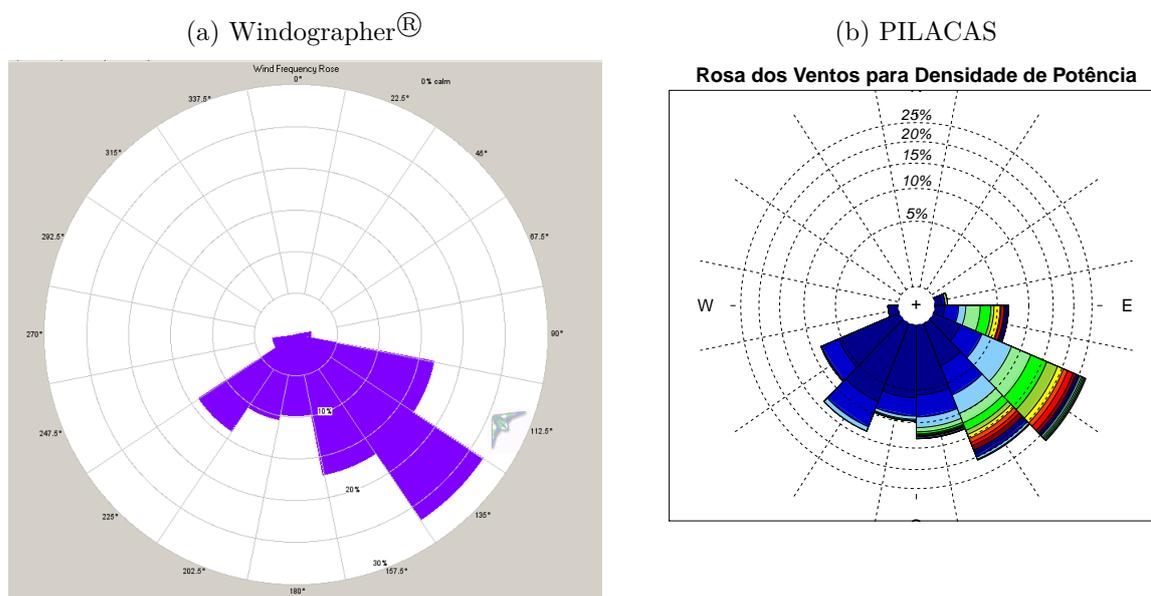
Tabela 9: Tabela de frequência para as direções de incidência dos ventos obtidas pelo Windographer[®] e pelo sistema PILACAS para o mês de Agosto de 2012.

Ângulo	Windographer [®]		PILACAS	
345° - 15°	0	0,00%	0	0,00%
15° - 45°	0	0,00%	0	0,00%
45° - 75°	0	0,00%	0	0,00%
75° - 105°	21	2,82%	21	2,82%
105° - 135°	234	31,45%	234	31,45%
135° - 165°	195	26,21%	195	26,21%
165° - 195°	102	13,71%	102	13,71%
195° - 225°	128	17,20%	128	17,20%
225° - 255°	64	8,60%	64	8,60%
255° - 285°	0	0,00%	0	0,00%
285° - 315°	0	0,00%	0	0,00%
315° - 345°	0	0,00%	0	0,00%

Analisando a Tabela 9, verifica-se que houve 100% de coincidência dos dados. Assim, conclui-se que ambos os programas estão construindo a mesma rosa dos ventos.

Como exemplo gráfico da validação da rosa dos ventos, apresentam-se as rosas de incidência dos ventos para o mês de Agosto de 2012 construídas por ambos os programas na Figura 28.

Figura 28: Rosa dos ventos para o mês de Agosto.



4.5.3.3 Parâmetros de Weibull

A seguir, é apresentada a Tabela 10, que contem os parâmetros de Weibull para os períodos analisados.

Tabela 10: Parâmetros de Weibull encontrados pelo Windographer® e pelo sistema desenvolvido para os períodos.

Período	Windographer®		PILACAS			
	k	c[m/s]	Mín. Quadrados		Máx. Verossimilhança	
			k	c [m/s]	k	c [m/s]
Março - 2012	2,91	4,96	2,85	4,96	2,91	4,96
Agosto - 2012	2,95	5,74	2,97	5,73	2,95	5,74
Geral	2,72	5,16	2,69	5,16	2,72	5,16

4.5.4 Análise dos Resultados de Validação

Na comparação dos resultados obtidos para o perfil diário do vento, verificou-se que os resultados são praticamente idênticos. As diferenças observadas nos gráficos ficam a cargo exclusivamente das escalas dos mesmos, mas com os valores absolutos sendo iguais.

Já para as rosas dos ventos, observou-se alguma diferença entre os gráficos. Esta diferença é explicada em função da escala e principalmente ao fato de a rosa dos ventos plotada pelo programa Windographer® mostrar a frequência das incidências dos ventos. Já no programa desenvolvido, apresenta-se, em paralelo à frequência de incidência, a densidade de potência dos ventos para cada direção. Esse fato leva à rosas dos ventos ligeiramente diferentes.

Com relação aos parâmetros de Weibull, as pequenas variações observadas podem ser explicadas pelo fato do programa desenvolvido calcular os parâmetros pelos mínimos quadrados e pela máxima verossimilhança, sendo selecionado o conjunto de valores que apresentar a menor constante de energia. Assim, o programa trabalha sempre com o pior caso possível.

Para os casos dos cálculos das médias, valores máximos, valores mínimos e variâncias, os dados são validados pela própria confiabilidade do conjunto R/SQL.

Conclusão

Considerando as proposições apresentadas no desenvolvimento que justificaram a realização da presente dissertação, destacam-se os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de um sistema para gerenciamento e análise de dados eólicos para geração de energia;
- Desenvolvimento de um sistema computacional em código livre para transferência de conhecimento;
- Desenvolvimento de um ambiente dotado de dados e informações sobre o vento que propiciasse aos pesquisadores de energia eólica a geração de trabalhos científicos.

Pode-se afirmar que os objetivos foram amplamente atendidos.

Quanto ao desenvolvimento de um sistema para gerenciamento e análise dos dados eólicos, pode-se afirmar que o sistema resultante PILACAS ficou dotado de recursos que muito contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa e da utilização da energia eólica.

No quesito flexibilidade, o sistema mostrou atender essa expectativa. Esse comportamento fica evidente na parte do cálculo das médias. Apesar do sistema possuir bases de dados dedicadas apenas para os tempos de 1 minuto, 10 minutos e 1 hora, qualquer outro intervalo de tempo no qual o usuário queira calcular média, ou que necessite dos dados brutos, ele obterá um único arquivo txt para posterior processamento.

Quanto ao desenvolvimento em código livre, foi planejada uma plataforma que permitisse a possibilidade de futuros usuários conhecerem o código fonte do programa que estão usando, uma vez que o mesmo está detalhadamente comentado, permitindo, assim, o entendimento e a adaptação do programa para as suas necessidades, além de futuras ampliações do código.

Além disso, o sistema ficou multiplataforma, podendo ser utilizado nos principais sistemas operacionais sem a necessidade de adaptações no código.

Quanto ao desenvolvimento de um ambiente dotado de dados e informações sobre o vento que propiciassem aos pesquisadores o desenvolvimento de trabalhos científicos, o projeto já gerou o artigo “Uma ferramenta computacional para análise de dados eólicos” (ALVAREZ *et al.*, 2012), além da presente dissertação. Com a consolidação da base de dados, ter-se-á um vasto campo para o desenvolvimento de trabalhos científicos, tais como:

- Trabalhos para desenvolvimento de interface gráfica;
- Trabalhos utilizando séries temporais para as análises;
- Desenvolvimento de uma plataforma web.

Verificou-se, também, no decorrer do trabalho, que apesar da baixa produção de energia eólica no país, percebe-se que essa fonte vem apresentando um grande incremento na participação da nossa matriz elétrica, onde espera-se que o Brasil até 2020 seja um dos 5 maiores produtores de energia eólica no mundo ([World Wind Energy Association - WWEA, 2013](#)). Esse fato é muito bom para a diversidade da nossa matriz, para a geração de empregos e renda no país, garantindo novos investimentos internos para o crescimento da nossa economia.

Porém, para a realização de investimentos em qualquer área, os investidores necessitam de informações para que se tenha maior probabilidade de sucesso na atividade. Como o país é carente em dados de ventos para fins de geração elétrica, o projeto consegue preencher parte dessa lacuna, uma vez que as saídas do sistema podem ser usadas na geração de mapas eólicos mais precisos para a região de estudo.

Referências

- ALVAREZ, F. S. et al. Uma ferramenta computacional para análise de dados eólicos. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. *CONEM 2012 - Engenharia em Destaque*. São Luís - MA, Brasil, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 59.
- AMARANTE, O. et al. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2001. 48 p. Citado 5 vezes nas páginas 17, 18, 26, 28 e 29.
- ARAÚJO, A. M. *Piloto de um laboratório em campo aberto para certificação de aerogeradores de pequeno porte - PILACAS*. Recife, 2010. Citado na página 31.
- Brasil Nosso. *Matrizes energéticas do Brasil*. 2012. <http://brasilnosso.wordpress.com/matrizes-energeticas-do-brasil/>. Citado na página 17.
- BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P. A. *Estatística Básica*. 5ªed. [S.l.]: Editora Saraiva, 2003. 525 p. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 67.
- DARAYA, V. *NASA migra computadores do Windows para Linux*. 2013. <http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/nasa-migra-computadores-do-windows-para-linux-09052013-36.shl>. Citado na página 34.
- Global Wind Energy Council - GWEC. *Annual Market Update 2012*. [S.l.], 2012. 72 p. Citado na página 29.
- GUIJARRO, J. A. *Package climatol*. 2013. <http://cran.r-project.org/web/packages/climatol/climatol.pdf>. Citado na página 37.
- GUJARATI, D. *Econometria Básica*. 4ªed. [S.l.]: Campus, 2006. 812 p. Citado na página 54.
- HAU, E. *Wind Turbines*. Second. United Kingdom: Springer, 2005. 783 p. Citado 6 vezes nas páginas 18, 20, 21, 22, 23 e 27.
- Index Mundi. *Index Mundi*. 2013. Citado na página 24.
- JAMES, D. A.; FALCON, S.; SQLITE. *Package RSQLite*. 2013. <http://cran.r-project.org/web/packages/RSQLite/RSQLite.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.
- JANNUZZI, G. M. et al. *Sumário para Tomadores de Decisão: Além das Grandes Hidrelétricas. Políticas para Fontes Renováveis de Energia Elétrica no Brasil*. [S.l.], 2012. Citado na página 28.
- JUSTUS, C. G. et al. Methods for estimating wind speed frequency distributions. *Journal Applied Meteorology*, 1978. v. 3, n. 17, p. 350–353, 1978. Citado na página 70.

- LUND, U.; AGOSTINELLI, C. *Package circular*. 2013. <http://cran.r-project.org/web/packages/circular/circular.pdf>. Citado na página 37.
- LYSEN, E. H. *Introduction to Wind Energy*. Second. Netherlands: CWD, 1983. 310 p. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 27.
- MANWELL, J. F.; MACGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. *Wind Energy Explained - Theory, Design an Application*. 2ª ed. [S.l.]: WILEY, 2009. 689 p. Citado na página 24.
- MAYBAUB, A. B.; AZZAM, A. A survey on the assessment of wind energy potential in Egypt. *Renewable Energy*, 1997. v. 2, n. 11, p. 235–247, 1997. Citado na página 70.
- MELO, G. M. *Um estudo da viabilidade de pequenos aerogeradores na produção de energia elétrica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 33.
- National Instruments. *What is a Data Logger?* 2012. <http://www.ni.com/white-paper/2946/en/>. Citado na página 39.
- OLIVEIRA, O. D. Q. de. *Uma Metodologia Simplificada para Estimativa do Aproveitamento Eólico Offshore no Litoral Brasileiro. Estudo de Caso: A Ilha de Itamaracá/PE*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Citado na página 27.
- ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. 2011. Santos, p. 4, 2011. Citado na página 29.
- OVERA, A. *Ubuntu 11.10 Review: Benchmarked Against Windows 7*. 2012. <http://www.tomshardware.com/reviews/ubuntu-oneiric-ocelot-benchmark-review,3121-22.html>. Citado na página 34.
- RIPLEY, B. et al. *Package MASS*. 2013. <http://cran.r-project.org/web/packages/MASS/MASS.pdf>. Citado na página 37.
- SALAS, C. *Por qué comprar un programa estadístico si existe R?* 2008. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2008000200007&script=sci_arttext. Citado 3 vezes nas páginas 11, 37 e 38.
- SARKAR, D. *Package lattice*. 2013. <http://cran.r-project.org/web/packages/lattice/lattice.pdf>. Citado na página 37.
- SARKAR, D.; ANDREWS, F. *Package latticeExtra*. 2013. <http://cran.r-project.org/web/packages/latticeExtra/latticeExtra.pdf>. Citado na página 37.
- SEGURO, J. V.; LAMBERT, T. W. Modern estimation of parameters of the weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2000. n. 85, p. 75–84, 2000. Citado na página 71.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados*, 2013. São Paulo, v. 27, n. 77, 2013. Citado na página 29.
- STANLEY, W. D.; DOUGHERTY, G. R.; DOUGHERTY, R. *Digital Signal Processing*. 2ª ed. [S.l.]: Reston Publishing Company, INC, 1984. 514 p. Citado na página 42.

STEVENS, M. J.; SMULDERS, P. T. The estimation of parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purpose. *Wind Energy*, 1979. v. 2, n. 3, p. 132–145, 1979. Citado na página 70.

VENTURA, A. *Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas*. 2013. <http://interessenacional.uol.com.br/2013/04/energia-eletrica-no-brasil-contexto-atual-e-perspectivas/>. Citado na página 17.

World Wind Energy Association - WWEA. *Annual Report - 2012*. Charles-de-Gaulle-Str.5, 53113 Bonn, Germany, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 26 e 60.

Apêndices

APÊNDICE A – Revisão de Estatística

Como o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional com o intuito de processar e analisar dados de ventos, nada mais interessante do que fazermos uma breve revisão sobre os conceitos de estatística.

Nesta revisão, serão apresentados desde os termos estatísticos mais simples até uma boa visão sobre distribuição de Weibull.

A.1 Medidas Resumo

As medidas resumo servem para nos passar informações sobre o a distribuição dos dados em estudo. Essas informações vem de encontro com as informações obtidas através dos gráficos. Temos duas categorias de medidas resumo. São elas:

- Medidas de Posição;
- Medidas de Dispersão.

Ambas medidas são explicadas a seguir.

A.1.1 Medidas de Posição

Gráficos como o ramo e folha ou tabelas de frequência são capazes de nos fornecer uma boa quantidade de informações sobre a nossa coleção de dados de forma resumida. Quando necessitamos resumir ainda mais essa informação, podemos recorrer às técnicas de medidas de posição. Existem três técnicas nesse grupo:

- Média;
- Moda;
- Mediana.

A.1.1.1 Média

Formalmente, a média amostral é definida como uma medida da posição central dos dados. Ela é soma dos valores das observações dividido pelo número de observações,

conforme apresentado na Equação A.1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{A.1})$$

A média nos dá uma ideia da grandeza dos valores. Porém, ela sozinha não nos dá nenhuma informação sobre o nível de dispersão dos valores observados, sendo necessárias outras medidas para esta finalidade.

A.1.1.2 Moda

Em estatística, moda é realização com a maior frequência de observações na nossa coleção de dados. Graficamente, é fácil de descobrir a moda da nossa distribuição, basta construir um histograma e verificar qual a coluna mais elevada. Em alguns casos, pode existir mais de uma moda na coleção.

Se a moda e a mediana forem próximas, já começamos a ter uma ideia da nossa distribuição. Quanto mais próximos forem estes dois valores, mais simétrica tende a ser a nossa distribuição.

A.1.1.3 Mediana

A mediana é realização central da coleção ordenada. Em uma linguagem mais simplificada, significa dizer que se colocarmos todas as nossas observações em ordem crescente, a mediana será o valor que separa a lista em dois grupos com iguais números de observações.

O valor da mediana é dado pela seguinte expressão.

$$md(X) = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}}, & n \text{ ímpar,} \\ \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2}, & n \text{ par.} \end{cases} \quad (\text{A.2})$$

A.1.2 Medidas de Dispersão

“O resumo de um conjunto de dados por uma única medida representativa de posição central esconde toda a informação sobre a variabilidade do conjunto observado.” (BUSSAB; MORETTIN, 2003)

Duas formas de sumarização da dispersão dos dados são mais utilizados, o desvio médio (Equação A.3) e a variância (Equação A.4), expressos por:

$$dm(X) = \frac{\sum_i^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (\text{A.3})$$

$$var(X) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (\text{A.4})$$

A grande vantagem de usarmos valores médios é que, assim, podemos comparar conjuntos com tamanhos diferentes.

Outra medida comumente utilizada para a representação da variabilidade dos dados é o desvio padrão e é obtida pela Eq. A.5.

$$dp(X) = \sqrt{\text{var}(X)} \quad (\text{A.5})$$

Essa medida é interessante pois nos fornece uma dispersão na mesma unidade dos dados, haja vista que a variância é dada pela diferença ao quadrado dos dados.

A.2 Quantis

O p -quantil de uma distribuição, representado por $Q(p)$, “é o valor tal que a soma das probabilidades dos valores menores do que ele, é p .” (BUSSAB; MORETTIN, 2003)

Os quantis são pontos que dividem a função distribuição acumulada (F.D.A.) em intervalos de iguais dimensões.

Os quantis de maior interesse e que recebem nomes especiais são:

- Percentis (P): 100 quantis;
- Duo-deciles (Dd): 12 quantis;
- Decis (D): 10 quantis;
- Quintis (QU): 5 quantis;
- Quartis (Q): 4 quantis;
- Tercis (T): 3 quantis

O segundo quartil coincide com o quinto decil e com o quinquagésimo percentil e são a própria mediana dos dados.

A.3 Distribuições Exponencial, Gama e χ^2

A.3.1 Distribuição Exponencial

A Distribuição Exponencial é de grande uso nos estudos de confiabilidade de sistemas (BUSSAB; MORETTIN, 2003). Sua função densidade de probabilidade (f.d.p.) é dada pela Equação A.6:

$$f(t, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-t/\beta}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (\text{A.6})$$

Em que $\beta > 0$ é o tempo médio de vida do experimento.

A distribuição exponencial tem como principal característica a falta de memória. Isso significa que independentemente de quanto tempo já tenha se passado, a probabilidade de que um evento ocorra é sempre o mesmo a partir deste ponto.

Outra característica dessa distribuição é que o valor esperado e a variância da mesma são sempre em função do parâmetro β . O valor esperado $E(T)$ da distribuição é dado por:

$$E(T) = \beta \quad (\text{A.7})$$

Já a variância é dada por:

$$\text{Var}(T) = \beta^2 \quad (\text{A.8})$$

A F.D.A da distribuição exponencial é dada pela Equação A.9:

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1 - e^{-t/\beta}, & t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{A.9})$$

A.3.2 Distribuição Gama

A distribuição Gama, como já visto, é uma extensão da distribuição exponencial. Sua f.d.p. pode ser dada pela Equação A.10:

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (\text{A.10})$$

Em que

- α : Parâmetro de forma, $\alpha \geq 1$;
- β : Parâmetro de escala, $\beta > 0$.

Na Eq. A.10, $\Gamma(\alpha)$ é a função Gama e é dada por

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\alpha-1} dx, \alpha > 0 \quad (\text{A.11})$$

O valor esperado da distribuição é dado por

$$E(X) = \alpha\beta \quad (\text{A.12})$$

e a variância por

$$\text{Var}(X) = \alpha\beta^2 \quad (\text{A.13})$$

A.3.3 Distribuição χ^2

A distribuição χ^2 pode ser vista de duas formas distinta:

- Caso particular da distribuição Gama;
- Soma de várias distribuições normais padronizadas.

Uma função χ^2 com ν graus de liberdade geralmente é escrita na forma χ_ν^2 e é dada pela Eq. A.14.

$$f(y; \nu) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\nu/2)2^{\nu/2}} y^{\nu/2-1} e^{-y/2}, & y > 0, \\ 0, & y < 0. \end{cases} \quad (\text{A.14})$$

Quando calculamos a distribuição com $\alpha = \nu/2$ e $\beta = 2$, temos a distribuição Gama.

O valor esperado é dado por $E(Y) = \nu$, enquanto a variância é $Var(Y) = 2\nu$.

A.4 Distribuição de Weibull

A Distribuição de Weibull foi apresentada na década de 1930 por, Waloddi Weibull. Porém, apenas na década de 1950, ela passou a ser utilizada. Hoje em dia, a distribuição de Weibull é amplamente utilizada principalmente nos estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativas de falhas. Já na área de eólica, a distribuição de Weibull é considerada padrão para os estudos de análise de vento.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x; k, c) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right] \quad (\text{A.15})$$

Desde que:

- $k, c, x > 0$.

Já a função probabilidade acumulada é dada por

$$F(x; k, c) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right] \quad (\text{A.16})$$

em que

- k : Fator de forma, adimensional . Dá o formato da distribuição. Variando-se o fator de forma podemos encontrar outras distribuições, como Exponencial ($k = 1$), Rayleigh ($k = 2$) ou Normal ($k \approx 4$).

- c : Fator de escala, mesma dimensão da variável x . Transmite uma ideia da grandeza da média das observações. Ficará mais claro adiante.

Para se encontrar os valores de k e c pode-se utilizar umas das três formas a seguir:

- Método dos Mínimos Quadrados;
- Método da Máxima Verossimilhança;
- Método da Máxima Verossimilhança Modificado.

A.4.1 Método dos Mínimos Quadrados

Pegando-se a Equação A.16, reagrupando-se os termos e aplicando a função do logaritmo normal em ambos os lados, conforme descrito em (JUSTUS et al., 1978), tem-se que

$$\ln\{-\ln[1 - F(x)]\} = k \ln(x) - k \ln(c) \quad (\text{A.17})$$

O que nos resulta numa equação da reta típica no formato $y = Ax + B$. Resolvendo-se pela reta dos mínimos quadrados, encontra-se que o valor de k pode ser dados por

$$k = \left(\frac{0.9874}{\sigma \bar{x}} \right)^{1.0983} \quad (\text{A.18})$$

e que σ é o desvio padrão da amostra de dados; e \bar{x} , sua média.

Segundo (MAYBAUB; AZZAM, 1997) os parâmetros k e c são fortemente relacionado com a média dos valores. O valor médio da distribuição pode ser encontrado por

$$\bar{x} = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (\text{A.19})$$

De onde tira-se que o fator de escala c é dado por

$$c = \frac{\bar{x}}{\Gamma(1 + 1/k)}. \quad (\text{A.20})$$

A.4.2 Método da Máxima Verossimilhança

Quando o conjunto dos dados de ventos são utilizados para análise de séries temporais, o método mais indicado é o da Máxima Verossimilhança. (STEVENS; SMULDERS, 1979) usaram este método em seus estudos para estimar os parâmetros da distribuição de Weibull com o intuito de aproveitamento de energia eólica. A obtenção dos parâmetros k e c seguem como apresentados nas Equações A.21 e A.22.

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{n} \right]^{-1} \quad (\text{A.21})$$

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k \right)^{1/k} \quad (\text{A.22})$$

Em que n é o número de observações diferentes de 0.

A.4.3 Método da Máxima Verossimilhança Modificado

Este método é utilizado quando se quer transformar uma série temporal de dados de vento em uma distribuição de frequência. Os parâmetros k e c são obtidos conforme demonstrados em (SEGURO; LAMBERT, 2000). As equações para se obter os valores são a Equação A.23 e a Equação A.24.

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n V_i^k \ln(V_i) P(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k P(V_i)} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i) P(V_i)}{P(V \geq 0)} \right]^{-1} \quad (\text{A.23})$$

$$c = \left(\frac{1}{P(V \geq 0)} \sum_{i=1}^n V_i^k \right)^{1/k} \quad (\text{A.24})$$

Em que:

- V_i : Valor central do intervalo de velocidades de vento;
- n : Número de intervalos de velocidade de vento;
- $P(V_i)$: Frequência com a qual o vento caiu dentro do intervalo de velocidade de vento.

APÊNDICE B – Código Fonte do Programa

```
#####
##### Programa para Analise Estatistica dos Ventos #####
##### Versao 1.0 de Abril de 2013 #####
#####
#####
## Carregando pacotes necessarios
require(circular)
require(climatol)
require(RSQLite)
require(MASS)
require(lattice)
require(latticeExtra)
#require(multicore)
#####

#####
##### Une as Datas com os Dados das Leituras #####
#####
## Unindo os arquivos do data-logger
une = function(){

  # Le o arquivo com os horarios das leituras
  readline("Escolha o arquivo com os horarios das leituras")
  aux = read.table(file.choose())

  # Seleciona apenas o horario no arquivo
  tempo = data.frame(aux[,1])

  # Remove o arquivo auxiliar e limpa a memoria
  rm(aux)
  gc(reset = TRUE, verbose = TRUE)
```

```

# Selecao do tipo de arquivo de dados
var <- readline("Formato do arquivo de dados:
#####1- CSV 2- Tabulacao:")
if(as.numeric(substr(var,1,1)) == 1){
  # Le o arquivo com os dados coletados no formato CSV
  aux = read.table(file.choose(), sep = ",", dec = ",")
  # Une a hora com os dados
  leituras = cbind(tempo, aux[,3:9])
} else {
  # Le o arquivo com os dados coletados separados
  #por tabulacao
  aux = read.table(file.choose())
  # Une a hora com os dados
  leituras = cbind(tempo, aux[,2:8])
}

# Remove o arquivo auxiliar e limpa a memoria
rm(aux,tempo)
gc(reset = TRUE, verbose = TRUE)

# Coloca os nomes das colunas no arquivo
colnames(leituras) = c("horario", "VBat", "kPa", "va1",
                      "va2", "dir", "temp", "umirel")

# Selecao e entrada do destino para salvar o arquivo txt
var <- readline("Deseja salvar o arquivo txt?
#####(1 para sim e 2 para nao):")
if(as.numeric(substr(var,1,1)) == 1){
  #arg = readline("Entre com o arquivo de destino: ")
  write.table(leituras, file = "leituras.txt",
             row.names = F, dec = ".", sep = ",",
             eol = "\r\n", quote = F)
}

# Selecao e entrada para exportar
#para o banco de dados SQLite
var <- readline("Deseja salvar o arquivo na base de dados?
#####(1 para sim e 2 para nao):")
if(as.numeric(substr(var,1,1)) == 1){

```

```

# Conectando ao banco de dados
drv = dbDriver("SQLite")
con = dbConnect(drv, dbname = "PILACAS.sqlite")
# Inserindo os dados no banco de dados
dbWriteTable(con, "leituras", leituras, append = T,
             row.names = F)
}

SQL = "SELECT_ strftime('%Y',_horario)_as_ano,
      _strftime('%m',_horario)_as_mes_FROM_ leituras
      _GROUP_BY_ ano, _mes"
tab = dbGetQuery(con, SQL)
if (dim(tab)[1] > 1){
  tabm = paste("tab_", tab$ano[i], "_", tab$mes[i],
             sep = "")
}

dbDisconnect(con)
gc(reset = T, verbose = T)
}

#####
##### Separa o Mes de Interesse #####
#####
## Funcao para separar os meses da base geral
separa.mes = function() {
  # Conectando ao banco de dados
  drv = dbDriver("SQLite")
  con = dbConnect(drv, dbname = "PILACAS.sqlite")

  # Obtem os meses disponiveis na base geral
  meses = dbGetQuery(con, "SELECT_DISTINCT
      STRFTIME('%Y',_horario)_AS_ano,
      STRFTIME('%m',_horario)_AS_mes
      FROM_ leituras_ORDER_BY_ ano, _mes")
  # Separa os campos da tabela para facilitar o acesso
  attach(meses)
  # Imprime a tabela dos meses disponiveis na tabela geral
  print(meses)
}

```

```

# Selecao do mes que se deseja separar
mes_int <- as.numeric(readline("Entre com a linha contendo
o ANO/MES que deseja separar:"))

# Estrutura de criacao do comando SQL e criacao da tabela
#com o mes de interesse
decC = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS "
decAS = " AS SELECT DISTINCT * FROM leituras
WHERE STRFTIME('%Y', horario) = "
decAND = " ' AND STRFTIME('%m', horario) = "
tabmes = paste("tab_", ano[mes_int], "_",
               mes[mes_int], sep = "")
SQL = paste(decC, tabmes, decAS, ano[mes_int], decAND,
            mes[mes_int], "' ", sep = "")
drv = dbDriver("SQLite")
con = dbConnect(drv, dbname = "PILACAS.sqlite")
dbGetQuery(con, SQL)

# Criacao do comando SQL para apagar o mes separado
# da tabela geral
decR = "DELETE FROM leituras WHERE
STRFTIME('%Y', horario) = "
SQL = paste(decR, ano[mes_int], " ' AND
STRFTIME('%m', horario) = ",
            mes[mes_int], "' ", sep = "")
drv = dbDriver("SQLite")
con = dbConnect(drv, dbname = "PILACAS.sqlite")
dbGetQuery(con, SQL)

# Laco de repeticao para a separacao de mais um mes que se
# tenha interesse
var <- readline("Deseja separar mais um mes?
(1 para sim e 2 para nao):")
while(as.numeric(substr(var, 1, 1)) == 1){
  print(meses)
  mes_int <- as.numeric(readline("Entre com a linha
contendo o ANO/MES que deseja separar:"))
  decC = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS "
  decAS = " AS SELECT DISTINCT * FROM leituras

```

```

WHERE STRFTIME('%Y', horario) = '
decAND = " ' AND STRFTIME('%m', horario) = '
tabmes = paste("tab_", ano[mes_int], "_",
               mes[mes_int], sep = "")
SQL = paste(decC, tabmes, decAS, ano[mes_int],
           decAND, mes[mes_int], "' ", sep = "")
drv = dbDriver("SQLite")
con = dbConnect(drv, dbname = "PILACAS.sqlite")
dbGetQuery(con, SQL)
decR = "DELETE FROM leituras WHERE
STRFTIME('%Y', horario) = '
SQL = paste(decR, ano[mes_int],
           " ' AND STRFTIME('%m', horario) = '",
           mes[mes_int], "' ", sep = "")
drv = dbDriver("SQLite")
con = dbConnect(drv, dbname = "PILACAS.sqlite")
dbGetQuery(con, SQL)
var <- readline("Deseja separar mais um mes?
(1 para sim e 2 para nao): ")
}
dbDisconnect(con)
}

#####
##### Calculo das Medias as Leituras #####
#####
## Procedimento para calculo das medias
## Caso o tempo seja igual a 1 hora, 10 minutos ou 1 minuto,
## salva o arquivo das medias no respectivo banco de dados.
## Para qualquer outro tempo,
## retorna as medias para salvar em uma variavel
calc.media = function(var1, tempo){

# Realiza a conexao com o Banco de Dados
con = dbConnect("SQLite", dbname = "PILACAS.sqlite")

# Consulta as tabelas disponivel no BD
tabs = dbListTables(con)

```

```

# Verifica o primeiro dia disponivel no mes selecionado
SQL = paste("SELECT min(strftime('%d', horario)) FROM ",
           tabs[var1], sep = "")
di = as.numeric(dbGetQuery(con, SQL))

# Verifica o ultimo dia disponivel no mes selecionado
SQL = paste("SELECT max(strftime('%d', horario)) FROM ",
           tabs[var1], sep = "")
df = as.numeric(dbGetQuery(con, SQL))

# Verifica a quantidade de leituras por dia no mes
SQL = paste("SELECT strftime('%d', horario), count(val)
           FROM ", tabs[var1], " GROUP BY date(horario)",
           sep = "")
nodia = dbGetQuery(con, SQL)
names(nodia) = c("d", "nd")

# Calculo do numero de repeticoes segundo o intervalo
# temporal desejado
tempo = as.numeric(tempo)
nr = 86400/tempo

tamanho = (df - di + 1)*nr

medias = matrix(data = NA, nrow = tamanho, ncol = 14)

# Variavel para controle interno do programa
l = 1

# Laco de repeticao para varrer o mes selecionado
for (j in 1:length(nodia$d)){

  # Cria a tabela temporaria para o dia em processamento
  if (nodia$nd[j] >= 86400){
    SQL = paste("SELECT DISTINCT * FROM ", tabs[var1],
               " WHERE strftime('%d', horario) = ",
               nodia$d[j], "'", sep = "")
    dados = dbGetQuery(con, SQL)
  }
}

```

```
inicio = 1
fim = tempo

# Laco para o calculo das medias
for (i in 1:nr){

  dados2 = dados[inicio:fim,]

  # Define o vetor das direcoes como unidades
  # circulares
  dir = circular(as.numeric(dados2$dir),
                units = "degrees",
                rotation = "clock",
                template = "geographics")

  # Calculo das medias, minimos, maximos e desvios
  # padroes necessarios
  medias[1,2] = signif(mean(as.numeric(dados2[,2]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,3] = signif(mean(as.numeric(dados2[,3]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,4] = signif(mean(as.numeric(dados2[,4]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,5] = min(as.numeric(dados2[,4]), na.rm = T)
  medias[1,6] = max(as.numeric(dados2[,4]), na.rm = T)
  medias[1,7] = signif(sd(as.numeric(dados2[,4]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,8] = signif(mean(as.numeric(dados2[,5]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,9] = min(as.numeric(dados2[,5]), na.rm = T)
  medias[1,10] = max(as.numeric(dados2[,5]),
                    na.rm = T)
  medias[1,11] = signif(sd(as.numeric(dados2[,5]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,12] = signif(mean(dir, na.rm = T), 4)
  medias[1,13] = signif(mean(as.numeric(dados2[,7]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,14] = signif(mean(as.numeric(dados2[,8]),
                          na.rm = T), 4)
```

```
# Adquirindo o dia da medicaçao
dia = substr(dados2$horario[tempo], start= 1,
             stop= 10)

## Adquirindo a hora final da media
# Segundos
seg = as.numeric(substr(dados2$horario[tempo],
                       start= 18, stop= 19))

if (seg == 59){
  s = 0
} else {
  s = seg + 1
}
if (s < 10){s = paste("0", s, sep = "")}
# Minutos
min = as.numeric(substr(dados2$horario[tempo],
                       start= 15, stop= 16))

if (min == 59){
  m = 0
} else {
  m = min + 1
}
if (m < 10){m = paste("0", m, sep = "")}
# Horas
hora = as.numeric(substr(dados2$horario[tempo],
                        start= 12, stop= 13))

if (tempo == 3600){
  h = hora + 1
} else {
  h = hora
  if (seg == 59 & min == 59){
    h = hora + 1
  }
}

if (h < 10){
  h = paste("0", h, sep = "")
}
```

```

    }

    hms = paste(h, ":", m, ":", s, sep = "")

    medias[l,1] = paste(dia, hms, sep = " ")

    l = l + 1

    # Atualiza o tempo inicial
    inicio = fim + 1
    fim = inicio + tempo - 1
  }
} else {
  SQL = paste("SELECT_*_FROM_", tabs[var1], "_WHERE
  strftime('%d',_horario)=", nodia$d[j],
  "' ", sep = "")
  dados = dbGetQuery(con, SQL)

  # Adquirindo o dia da medicaao
  dia = substr(dados$horario[1], start= 1, stop= 10)

  ti = "00:00:00"
  SQL = paste("SELECT_time(horario)_FROM_", tabs[var1],
  "_WHERE_strftime('%d',_horario)=",
  nodia$d[j],
  "'_AND_time(horario)=", time(' ', ti,
  "'_'+' ", tempo, "_seconds' ", sep = "")
  tf = as.character(dbGetQuery(con, SQL))

  SQL = paste("SELECT_count(va1)_FROM_", tabs[var1],
  "_WHERE_strftime('%d',_horario)=",
  nodia$d[j], "'_AND_time(horario)_>=", ti,
  "'_AND_time(horario)_<_",
  tf, "' ", sep = "")

  nobs = as.numeric(dbGetQuery(con, SQL))

  inicio = 1
  fim = inicio + nobs - 1

```

```
# Laco para o calculo das medias
for (i in 1:nr){

  dados2 = dados[inicio:fim,]

  # Define o vetor das direcoes como unidades circulares
  dir = circular(as.numeric(dados2$dir),
                units = "degrees",
                rotation = "clock",
                template = "geographics")

  # Calculo das medias, minimos, maximos e desvios
  # padroes necessarios
  medias[1,2] = signif(mean(as.numeric(dados2[,2]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,3] = signif(mean(as.numeric(dados2[,3]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,4] = signif(mean(as.numeric(dados2[,4]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,5] = min(as.numeric(dados2[,4]), na.rm = T)
  medias[1,6] = max(as.numeric(dados2[,4]), na.rm = T)
  medias[1,7] = signif(sd(as.numeric(dados2[,4]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,8] = signif(mean(as.numeric(dados2[,5]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,9] = min(as.numeric(dados2[,5]), na.rm = T)
  medias[1,10] = max(as.numeric(dados2[,5]), na.rm = T)
  medias[1,11] = signif(sd(as.numeric(dados2[,5]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,12] = signif(mean(dir, na.rm = T), 4)
  medias[1,13] = signif(mean(as.numeric(dados2[,7]),
                          na.rm = T), 4)
  medias[1,14] = signif(mean(as.numeric(dados2[,8]),
                          na.rm = T), 4)

  # Dia e hora da medicao
  medias[1,1] = paste(dia, tf, sep = " ")
```

```

l = l + 1

# Atualiza o tempo inicial
ti = tf
SQL = paste("SELECT time(hora) FROM tempo",
            " WHERE time(hora) = time('", ti, "',' +",
            tempo, "seconds')", sep = "")
tf = as.character(dbGetQuery(con, SQL))

SQL = paste("SELECT count(va1) FROM ", tabs[var1],
            " WHERE strftime('%d', horario) = '",
            nodia$d[j], "' AND time(horario) >=",
            ti, "' AND time(horario) <=",
            tf, "'", sep = "")

nobs = as.numeric(dbGetQuery(con, SQL))

inicio = fim + 1
fim = inicio + nobs - 1
}
}
}

# Transforma a tabela num data frame
medias = data.frame(medias)

# Corrige os nomes do data frame das medias
names(medias) = c("Horario", "VBat", "kPa", "VA1",
                 "minVA1", "maxVA1", "sdVA1", "VA2",
                 "minVA2", "maxVA2", "sdVA2", "dir",
                 "temp", "umirel")

# Exportando o arquivo para .txt
var = readline("Deseja salvar o arquivo em .txt?
               1-Sim 2-Nao: ")
if (as.numeric(substr(var, 1, 1)) == 1){
  # Nome da tabela para exportacao
  arq = paste(tabs[var1], "_med_", tempo, ".txt", sep = "")
  write.table(medias, arq, row.names = F, sep = ";",

```

```

        dec= ", ", quote= F, eol= "\r\n")
    }

# Exportando o arquivo para a base de dados
arq = tabs[var1]
if (tempo == 3600){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED3600.sqlite")
    dbWriteTable(con, arq, medias, row.names = F)
} else if (tempo == 600) {
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED600.sqlite")
    dbWriteTable(con, arq, medias, row.names = F)
} else if (tempo == 60){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED60.sqlite")
    dbWriteTable(con, arq, medias, row.names = F)
} else{
    return(medias)
}

dbDisconnect(con)
}

medias = function(tempo){
    for (i in 2:17)
        calc.media(var1 = i, tempo = tempo)
}

seleciona = function(){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "PILACAS.sqlite")
    tabs = dbListTables(con)
    for (i in 2:length(tabs) - 1){
        SQL = paste("SELECT_□va1,□va2□FROM_□", tabs[i], sep = "")
        dados = dbGetQuery(con, SQL)
        nome = paste(tabs[i], ".txt", sep = "")
        write.table(dados, nome, row.names = F, sep= ", ",
                    eol="\r\n", col.names=T)
    }
}

#####

```

```
##### Funcao para Processamento dos Dados Medios #####
##### e Geracao dos Graficos #####
#####
```

```
analisa = function(tempo) {

  #Carrega as bibliotecas necessarias para o processamento
  #library(circular)
  #library(climatol)
  #library(tseries)
  #library(MASS)

  if (tempo == 3600){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED3600.sqlite")
  } else if (tempo == 600){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED600.sqlite")
  } else if (tempo == 60){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED60.sqlite")
  }
  SQL = paste ("CREATE TABLE IF NOT EXISTS temp",
              "( Horário DATETIME, VBat DOUBLE,
              kPa DOUBLE, VA1 DOUBLE, minVA1 DOUBLE,
              maxVA1 DOUBLE, "sdVA1 DOUBLE, VA2 DOUBLE,
              minVA2 DOUBLE, maxVA2 DOUBLE, "sdVA2 DOUBLE,
              dir DOUBLE, temp DOUBLE, umirel DOUBLE)",
              sep = " ")
  dbSendQuery(con, SQL)

  SQL = "DELETE FROM temp"
  dbSendQuery(con, SQL)

  SQL = "SELECT strftime('%Y', horario) as ano,
          strftime('%m', horario) as mes
          FROM medias GROUP BY ano, mes"
  tab = dbGetQuery(con, SQL)

  var = readline(" Deseja processar algum mes em especifico?
          1- Sim 2- Todos ")
}
```

```

if (substr(var,1,1) == "1"){
  print(tab)
  k = 1
  while (k == 1){
    j = as.numeric(readline(
      "Qual a linha do seu mes de interesse?: ")
    SQL = paste("INSERT INTO temp SELECT * FROM medias WHERE",
      " strftime('%Y', horario) = ", tab$ano[j],
      " ' AND",
      " strftime('%m', horario) = ", tab$mes[j],
      " ' ", sep = " ")
    dbSendQuery(con, SQL)
    k = as.numeric(readline(
      "Deseja mais algum mes? 1-Sim 2-Nao: "))
  }
} else {
  SQL = "INSERT INTO temp SELECT * FROM medias"
  dbSendQuery(con, SQL)
}

##### Nova Rosa dos Ventos pela Densidade de Energia
#Calcula os parametros de Weibull
# Obtendo as velocidades
SQL = "SELECT VA1, DIR FROM temp WHERE VA1 > 0 ORDER BY VA1"
dados = dbGetQuery(con, SQL)
vel = dados$VA1
vel = as.vector(t(vel), mode= "numeric")
vmax = max(vel)
vm = mean(vel)
dp = sd(vel)

# Metodo da Maxima Verossimilhanca
aw = unlist(fitdistr(vel, "Weibull"))
kmv = as.numeric(aw[1])
cmv = as.numeric(aw[2])

# Metodo dos Minimos Quadrados Perfeitos
kmq = (0.9874*mean(vel)/sd(vel))^1.0983
cmq = mean(vel)/gamma(1 + 1/kmq)

```

```

# Gerando vetor de velocidades
#passo = (max(vel) - min(vel)) / (length(vel) - 1)
passo = (max(vel) - min(vel)) / 1e6
x = seq(from = min(vel), to = max(vel), by = passo)
# Normalizando as velocidades
x = x / max(x)

# Gerando as distribuicoes de Weibull
dw_mv = cmv * (-log(x))^(1/kmv)
dw_mq = cmq * (-log(x))^(1/kmq)

## Escolhendo k e c pelo teste do Chi-Quadrado
passo = readline(
  "Entre com o intervalo dos quantis (entre 0 e 1): ")
passo = as.numeric(passo)
quantis1 = quantile(dw_mq, probs = seq(passo, 1, passo))
quantis2 = quantile(dw_mv, probs = seq(passo, 1, passo))
quantis3 = quantile(vel, probs = seq(passo, 1, passo))

X2_1 = X2_2 = 0

for (i in 2:length(quantis1)){
  nq1 = length(dw_mq[dw_mq > quantis1[i-1] & dw_mq <= quantis1[i]])
  nq2 = length(dw_mv[dw_mv > quantis2[i-1] & dw_mv <= quantis2[i]])
  nq3 = length(vel[vel > quantis3[i-1] & vel <= quantis3[i]])
  X2_1 = X2_1 + ((nq3 - nq1)^2) / nq1
  X2_2 = X2_2 + ((nq3 - nq2)^2) / nq2
}

#Calculo da Constante de Energia Ke pela Funcao Gamma
kemq = gamma(1+3/kmq) / (gamma(1+1/kmq))^3
kemv = gamma(1+3/kmv) / (gamma(1+1/kmv))^3

#Escolha dos k e c pela menor Ke
if (kemq < kemv){
  ke = kemq
  k = kmq
  c = cmq
}

```

```

    dw = dw_mq
  } else{
    ke = kemv
    k = kmv
    c = cmv
    dw = dw_mv
  }

x = seq(from=0, to=round(max(vel))+2, by=0.01)
aux = x/c
dw = (k/c)*(aux^(k-1))*exp(-aux^k)

# Histograma
t1 = max(density(dw_mv)$y)
t2 = max(density(dw_mq)$y)
t3 = max(density(vel)$y)
teto = 1.25*max(c(t1, t2, t3))
par(mar = c(4,4,4,4))
hist(vel, freq = F, ylim = c(0, teto),
      xlim = c(0, round(max(vel))+2),
      main = "Histograma das velocidades do vento",
      xlab = "[m/s]", ylab = "Densidade")
par(new = T)
plot(x, dw, col = "red", type="l", ylim = c(0, teto),
      xlim = c(0, round(max(vel))+2))
grid()

#Define o Vetor da Escala de Cores
vc = c("darkblue", "blue3", "lightskyblue", "lightgreen",
       "green", "yellowgreen", "yellow", "orangered",
       "red", "darkred")

#Cria o Vetor Direcoes com os Parametros Corretos para a Rosa
dv = dados$dir
dv = as.vector(t(dv), mode = "numeric")
dv = circular(dv, units = "degrees", rotation = "clock",
              template = "geographics")
dm = mean(dv)

```

```

#Calcula o Vetor da Densidade de Potencia
de = 0.6125*ke*vel^3

#Plota a Rosa dos Ventos para a
#Densidade de Energia em Escala de 50 W/m2
windrose(dv, vel, bins = 16, increment = 50, fill.col = vc,
          label.freq = T, cir.ind = .05,
          main = "Rosa dos Ventos", )

##### Calculo e grafico das medias diarias horarias
##### da magnitude e da direcao dos ventos
mediahvel = mediahdir = 0
for (i in 1:24){
  if(i < 10){
    aux = paste("0", i, sep = "")
  } else {
    aux = i
  }
  SQL = paste("SELECT VA1 as vel, DIR as dire FROM temp
              WHERE strftime('%H', HORARIO) = ",
              aux, " ", sep = "")
  dados = as.data.frame((dbGetQuery(con, SQL)),
                        mode = "numeric")
  mediahvel[i] = mean(dados$vel)
  mediahdir[i] = mean(circular(dados$dir, units = "degrees",
                              rotation = "clock",
                              template = "geographics"))
}

par(mar = c(4,4,4,4))
plot(mediahdir,
     main = "Medias Horarias da Direcao e Velocidade do Vento",
     xlab = "Horas", ylab = "Direcao [graus]", type = "b")
par(new = T)
plot(mediahvel,
     ylab = "Velocidade [m/s]", type = "b", col = "blue",
     axes = F, frame = T, ann = F)
axis(4, col.axis = "blue", col = "blue")

```

```

mtext("Velocidade [m/s]", side = 4, line = 3, col = "blue")
grid()

#gc(reset = TRUE)

##### Calculo e grafico das medias mensais da magnitude e
##### da direcao dos ventos

mediamvel = mediamdir = 0

SQL = "SELECT DISTINCT strftime('%m', horario) AS mes
FROM temp ORDER BY mes"
meses = dbGetQuery(con, SQL)

for (i in 1:dim(meses)[1]){
  SQL = paste("SELECT VA1, dir FROM temp WHERE
  strftime('%m', horario) = '", meses[i],
  "'", sep = ")
  dados = as.data.frame((dbGetQuery(con, SQL)),
                        mode = "numeric")
  mediamvel[i] = mean(dados$VA1, na.rm = TRUE)
  mediamdir[i] = mean(circular(dados$dir, units = "degrees",
                              rotation = "clock",
                              template = "geographics"))
}

par(mar = c(4,4,4,4))
plot(meses, mediamdir,
      main = "Medias Mensais da Direcao e Velocidade do Vento",
      xlab = "Mes", ylab = "Direcao [graus]", type = "b")
par(new = T)
plot(meses, mediamvel,
      ylab = "Velocidade [m/s]", type = "b", col = "blue",
      axes = F, frame = T, ann = F)
axis(4, col.axis = "blue", col = "blue")
mtext("Velocidade [m/s]", side = 4, line = 3, col = "blue")
grid()

```

```

gc(reset = TRUE)

# Escreve as mensagens com s paramentos calculados
vmp = substr(as.character(vm),1,4)
msg = paste("Velocidade_media_dos_ventos:", vmp, sep = "")
print(msg)
msg = paste("Maxima_velocidade_registrada_no_periodo:",
            vmax, sep = "")
print(msg)
dpp = substr(as.character(dp),1,4)
msg = paste("Desvio_padrao_das_velocidades_do_vento:",
            dpp, sep = "")
print(msg)
kp = substr(as.character(k),1,4)
msg = paste("Valor_da_constante_de_forma_de_Weibull:",
            kp, sep = "")
print(msg)
cp = substr(as.character(c),1,4)
msg = paste("Valor_da_constante_de_escalade_Weibull:",
            cp, sep = "")
print(msg)
dmp = substr(as.character(dm),1,5)
msg = paste("Valor_da_direcao_media_da_incendencia_dos_ventos:",
            dmp, sep = "")
print(msg)
}

#####
##### Selecciona mes de interesse e salva em .txt #####
#####

seleciona = function(){
  # Entrada da media de interesse
  med = as.numeric(readline("Separar_mes_com_que_media?"))

  # Realizacao da conexao
  if (med == 60) {
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED60.sqlite")
  } else if (med == 600){

```

```

    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED600.sqlite")
  } else if (med == 3600){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED3600.sqlite")
  }

# Criando tabela auxiliar
SQL = paste ("CREATE TABLE IF NOT EXISTS aux",
             "( Horário DATETIME, VBat DOUBLE,
              kPa DOUBLE, VA1 DOUBLE, minVA1 DOUBLE,
              maxVA1 DOUBLE, "sdVA1 DOUBLE, VA2 DOUBLE,
              minVA2 DOUBLE, maxVA2 DOUBLE, "sdVA2 DOUBLE,
              dir DOUBLE, temp DOUBLE, umirel DOUBLE)",
             sep = " ")
dbSendQuery(con, SQL)

SQL = "DELETE FROM aux"
dbSendQuery(con, SQL)

SQL = "SELECT strftime('%Y', horario) AS ano,
           strftime('%m', horario) AS mes FROM medias
           GROUP BY ano, mes"
tab = dbGetQuery(con, SQL)
k = 1
while (k == 1){
  print(tab)
  mes = as.numeric(readline(
    "Qual a linha do seu mes de interesse?: "))
  SQL = paste("INSERT INTO aux SELECT * FROM medias WHERE",
              " strftime('%Y', horario) = ", tab$ano[mes],
              " ' AND",
              " strftime('%m', horario) = ", tab$mes[mes],
              " ' ", sep = " ")
  dbSendQuery(con, SQL)
  k = as.numeric(readline(
    "Deseja mais algum mes? 1-Sim 2-Nao: "))
}
}

arruma = function(tempo){

```

```

if (tempo == 3600){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED3600.sqlite")
} else if (tempo == 600){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED600.sqlite")
} else if (tempo == 60){
    con = dbConnect("SQLite", dbname = "MED60.sqlite")
}
SQL = paste("CREATE_TABLE_IF_NOT_EXISTS_medias",
            "(Horario_DATETIME, VBat_DOUBLE, ",
            "kPa_DOUBLE, VA1_DOUBLE, minVA1_DOUBLE,
            maxVA1_DOUBLE, ", "sdVA1_DOUBLE, VA2_DOUBLE,
            minVA2_DOUBLE, maxVA2_DOUBLE, ", "sdVA2_DOUBLE,
            dir_DOUBLE, temp_DOUBLE, umirel_DOUBLE)",
            sep = "")
dbSendQuery(con, SQL)

tabelas = dbListTables(con)

for (mes in 3:length(tabelas)){
    SQL = paste("INSERT INTO medias SELECT * FROM",
                tabelas[mes], sep = "")
    dbSendQuery(con, SQL)
    SQL = paste("DROP TABLE", tabelas[mes], sep = "")
    dbSendQuery(con, SQL)
}
}

```