



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**JOSÉ MARDÔNIO RODRIGUES SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE  
DE POTENCIAL EÓLICO**

**ACARAPE-CE  
JULHO DE 2017**

**JOSÉ MARDÔNIO RODRIGUES SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE  
DE POTENCIAL EÓLICO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

**Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho.**

**ACARAPE-CE  
JULHO DE 2017**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Silva, José Mardônio Rodrigues.

S578d

Desenvolvimento de plataforma computacional para análise do potencial eólico / José Mardônio Rodrigues Silva. - Acarape, 2017. 53f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho.

1. Ventos. 2. Ventos - características. 3. Matlab. I. Título

CE/UF/BSCL

CDD 551.518

---

**JOSÉ MARDÔNIO RODRIGUES SILVA**

**SISTEMA ACADÊMICO DE ANÁLISE DE VELOCIDADE DO VENTO  
IMPLEMENTADO EM MATLAB**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho (Orientador)  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dr. João Paulo do Vale Madeiro  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Às minhas sobrinhas,  
Cecilia e Clara.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder o dom da vida e acima de tudo me rodear por pessoas boas e sempre estar me mostrando que eu sou uma das pessoas mais sortudas do mundo.

Aos meus pais, Maria Oliveira e José Rodrigues, por sempre cuidarem muito bem de mim, por me ensinarem os valores da honestidade e da humildade e por sempre colocarem como prioridade os meus estudos.

À minha irmã, Márcia Rodrigues, por ser uma pessoa sempre ativa na minha vida, me auxiliando financeira e psicologicamente, por sempre estar me lembrando que eu sou capaz de realizar meus sonhos e por estar continuamente me alinhando quando, momentaneamente, saio dos trilhos.

Ao meu irmão, Marcos Rodrigues, por sempre me motivar e acreditar em mim, por me mostrar que é sempre bom sorrir pra vida, mesmo quando se está em momentos difíceis. E acima de tudo, por me dá meus maiores presentes, minha duas sobrinhas, Cecilia Dantas e Clara Santos, motivo pelo qual tem me dado inspiração e força pra nunca desistir.

Á minha namorada, Daniely Soto, que mesmo me conhecendo já no final dessa longa caminhada, me serviu de inspiração e motivação no decorrer deste trabalho. E por ser uma das pessoas que mais acreditam no meu potencial e na minha vitória. Obrigado, amor!

Aos meus amigos, Marcos Tadeu e Watila Oliveira. Pessoas que conheci no ensino fundamental e que tive o prazer de acompanhá-los até a graduação.

A todos os meus professores do ensino médio, em especial a Daniel Gomes, Irlana Dívía e a diretora Rita Ferreira, pessoas que se tornaram exemplo pra minha vida.

Aos meus amigos que conquistei no ensino superior, em momentos de estudo nas longas madrugadas e em momentos de lazer, os quais cito: Adriano Mendonça, Anderson Massena, Gessylane Silva, Lucas Alves (Lucão), Antônio Herbeson (Projeto), Ivan Bandeira, Aldemario Moraes, Guilherme Menezes, Alysson Christian, Pedro Henrique, Matheus Melo, Franciélío Lima, Lucilânio Evangelista, Everton Deangeles, Luis Paulo, Marcelo Rodrigues, Jairo Lima, Mabrysa Torres e Verônica Dantas. E em especial, quero destacar, Milton Neto e Lidiana Sabino.

Ao meu professor, Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Filho, pela excelente didática e sempre mostrando total imparcialidade dentro e fora da sala de aula. E claro, por me conceder o privilégio de ser meu orientador neste trabalho.

E aos professores do IEDS, mais especificamente a Mario Biague, João Paulo, George Mamede, John Hebert, Cícero Saraiva, Gustavo Henn, Janaina Almada, Karolinny Chaves, Artemis Pessoa, Alisson Guimarães, Carlos Cáceres, Ada Sanders e Sérgio Servilha.

"Nós não temos a chance de fazer muitas coisas, e cada uma deve ser realmente excelente. Porque esta é a nossa vida. A vida é breve, e então você morre, sabe? E todos nós escolhemos o que fazer com as nossas vidas. Então é melhor que seja muito bom. É melhor valer a pena."

(Steve Jobs)

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema computacional para fins acadêmicos de análise de velocidade e direção do vento, de forma a apresentar os principais parâmetros de caracterização para fins eólicos, como média, desvio padrão, curva da distribuição de Weibull e gráfico da rosa dos ventos. O sistema foi implementado no ambiente de criação de interface gráfica do software Matlab e utiliza os dados de velocidade e direção do vento provenientes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, a base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Sabe-se que o aumento no uso da energia eólica nos últimos anos, desencadeado pela necessidade de diversificação da matriz energética nacional e internacional, tem impulsionado de forma mais intensa, pesquisas e estudos neste setor. Este fato, faz com que sejam cada vez mais necessários investimentos tanto no desenvolvimento de novos materiais, na logística associada a toda a cadeia de implementação de um parque eólico, quanto em ferramentas computacionais que facilitem o processo de análise da matéria prima deste tipo de energia, o vento. Este último merece maior atenção por ser o componente principal nas fases iniciais de um projeto eólico, já que possibilita a obtenção do potencial de geração de energia. Neste sentido, vê-se a possibilidade de contribuir com os estudos relativos a análise dos ventos e potencial eólico, desenvolvendo uma ferramenta computacional que possibilite isso. Com a realização desse trabalho, concluiu-se que o sistema se apresenta como uma ótima ferramenta acadêmica para o processo de ensino-aprendizagem no campo da energia eólica, na medida em que torna essa tarefa mais dinâmica.

**Palavras-chave:** Caracterização do vento, Interface gráfica, Matlab, Programação orientada a objetos.

## ABSTRACT

This work aims to develop a computational system for academic purposes of wind velocity and wind direction, in order to present the main characterization parameters for wind purposes, such as average, standard deviation, Weibull distribution curve and rose Winds. The system was implemented in the Matlab software graphical interface creation environment and uses wind speed and direction data from the Meteorological Database for Teaching and Research - BDMEP, the National Institute of Meteorology (INMET) database. It is known that the increase in the use of wind energy in recent years, triggered by the need for diversification of the national and international energy matrix, has driven more strongly research and studies in this sector. This fact makes it increasingly necessary to invest both in the development of new materials, in the logistics associated with the whole chain of implementation of a wind farm, and in computational tools that facilitate the process of analysis of the raw material of this type of energy , the wind. The latter deserves greater attention as it is the main component in the initial phases of a wind project, since it enables the generation of energy to be obtained. In this sense, it is possible to contribute with the studies related to wind analysis and wind potential, developing a computational tool that enables this. With the accomplishment of this work, it is concluded that the system presents itself as a great academic tool for the teaching-learning process in the field of wind energy, as it makes this task more dynamic.

**Keywords:** Wind characterization, Graphical interface, Matlab, Object-oriented programming.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de um histograma de velocidade de vento.....	17
Figura 2 – Função densidade de probabilidade para diferentes valores de k. ....	18
Figura 3 – Exemplo de um gráfico de rosa dos ventos.....	19
Figura 4 – Janela inicial do <i>guide</i> .....	22
Figura 5 - Janela inicial do ambiente de desenvolvimento gráfico. ....	22
Figura 6 – Elementos gráficos do <i>guide</i> .....	23
Figura 7 – Rede de estações do INMET do estado do Ceará .....	26
Figura 8 – Formulário de pesquisa no BDMEP. ....	27
Figura 9 - Dados de velocidade de vento na estação de Fortaleza .....	27
Figura 10– Curva de distribuição de Weibull com dados não ordenados e ordenados. ....	32
Figura 11 – Curva de potência.....	33
Figura 12 – Esboço inicial do <i>layout</i> do projeto.....	35
Figura 13 – Desenvolvimento da janela principal do sistema .....	36
Figura 14 – Desenvolvimento da janela secundária do sistema .....	36
Figura 15 – Fluxograma do funcionamento básico do sistema .....	37
Figura 16 -Janela inicial do SAAVV.....	39
Figura 17 – Página de crédito desenvolvida em <i>HTML</i> .....	40
Figura 18 – Janela secundária do SAAVV .....	41
Figura 19 – Janela inicial com série histórica carregada .....	42
Figura 20 – Gráficos de variação da velocidade média.....	43
Figura 21 – Janela secundária com série histórica carregada .....	44

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BDMEP	Banco de Dados Para Ensino e Pesquisa
GUI	Graphical User Interface
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment
HTML	Hypertext Markup Language
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MATLAB	Matrix Laboratory

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{V}$	Velocidade média
$N$	Número de elementos
$\sigma_V$	Desvio padrão
$k$	Fator de forma
$c$	Fator de escala
$V_i$	Valor médio da velocidade do vento, fornecido a cada intervalo $i$ de tempo
$v_r$	Velocidade do vento na altura de referência (m/s)
$H$	Altura desejada (m)
$H_r$	Altura de referência (m)
$\alpha$	Coefficiente de atrito
$P$	Potência disponível do vento (W)
$A$	Área (m <sup>2</sup> )
$\rho$	Massa específica do ar (kg/m <sup>3</sup> );

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	Análise estatística dos dados de velocidade do vento .....	16
2.1.1	Velocidade Média .....	16
2.1.2	Desvio Padrão .....	16
2.1.3	Histograma.....	17
2.1.4	Distribuição de Weibull .....	18
2.1.5	Rosa dos ventos.....	19
2.2	Matlab.....	20
2.2.1	Ambiente de desenvolvimento gráfico .....	21
2.2.1.1	Acessando o GUIDE .....	21
2.2.1.2	Elementos gráficos .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1	Parâmetros de caracterização .....	25
3.2	Tratamento dos arquivos do INMET .....	25
3.3	Implementação das rotinas no Matlab.....	28
3.3.1	Rosa dos ventos.....	28
3.3.2	Histograma.....	30
3.3.3	Frequência acumulada .....	30
3.3.4	Variação da velocidade média .....	31
3.3.5	Gráfico da distribuição de Weibull .....	31
3.3.6	Curva de potência .....	32
3.3.7	Determinação dos parâmetros $k$ e $C$ .....	34
3.4	Desenvolvimento do layout.....	35
3.5	Implementação no GUIDE.....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1	Funcionamento do sistema .....	37
4.2	Apresentação do sistema .....	38
4.3	Demonstração do sistema.....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A vida humana se caracteriza pela constante busca de criação e aperfeiçoamento de métodos de captação e transformação da energia livre disponível no meio ambiente. O desenvolvimento de uma sociedade está diretamente atrelado ao excedente de energia disponível. Neste contexto, a energia, em sua definição mais ampla, se constitui como um elemento fundamental em qualquer atividade humana e é possível incluí-la como um componente básico da infraestrutura necessária para o desenvolvimento em todos os seus segmentos, ao lado de água, telecomunicações e transporte.

Contudo, está cada vez mais presente a problemática do uso desenfreado de recursos não-renováveis, por envolver questões sociais e principalmente ambientais, fazendo com que fontes de recursos renováveis ganhem cada vez mais destaque em termos de pesquisa & desenvolvimento.

O Brasil possui uma grande parcela de sua matriz energética composta por energia renovável, apoiada na energia hidráulica que totaliza 64,0% da oferta interna de energia elétrica (BEN, 2016). Contudo, pela riqueza expressiva e inerente de recursos renováveis que o país detém, ações de políticas de incentivo fariam com que fontes como solar, eólica e biomassa pudessem ser cada vez mais exploradas, de modo que o fator sustentabilidade esteja cada vez mais ligado ao desenvolvimento do país.

No contexto das energias renováveis, é fato que a energia eólica já é realidade em termos de fonte viável para a complementaridade da matriz energética mundial, visto que é a forma de geração de energia que mais cresceu nas últimas décadas em termos de mercado e pesquisa. Porém, ainda há a necessidade de maior apoio em termos técnicos e de ações políticas que possam impulsionar cada vez mais sua utilização.

O processo de desenvolvimento de um projeto de implementação de um parque eólico requer a execução de vários estágios. Inicialmente, é realizada a identificação de potenciais locais, onde são direcionados estudos para determinar o grau de viabilidade do projeto. Esta fase envolve a avaliação do recurso eólico disponível e análise de aspectos técnicos e econômicos do projeto. Posteriormente, antes da fase de execução do empreendimento, é necessário obter permissões de instalação do parque por parte das agências reguladoras e elaboração detalhada do projeto nas áreas de engenharia civil e elétrica, como a criação das fundações das turbinas e as instalações de conexão com a rede elétrica (LOPEZ, 2012).

Dentre estas fases, a etapa de avaliação do recurso eólico merece destaque, visto que o principal agente limitador do aproveitamento da energia eólica é a existência ou não de um bom regime de vento (LOPEZ, 2012). O processo de avaliação do recurso eólico consiste na aquisição dos dados de velocidade de vento, a partir de mapas ou atlas eólicos e instalações de torres anemométricas no local (PINTO, 2014).

Desse modo, o processo de aquisição e processamento de uma série de dados históricos de velocidade do vento se classifica como elemento fundamental para que se possa realizar uma análise minuciosa destes dados e seja possível estabelecer o perfil do regime de vento do local em que se deseja implantar o parque. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema implementado em Matlab para fins acadêmicos que possibilite realizar uma análise estatística e de potencial eólico a partir de dados de velocidade e direção do vento.

O sistema propõe uma metodologia em que seja possível o usuário entrar com uma série histórica de dados de velocidade e direção de vento e obter o gráfico da rosa-dos-ventos, diversos parâmetros estatísticos como média, desvio padrão e distribuição de Weibull, bem como dados de potencial eólico, como a energia eólica disponível por unidade de área.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Análise estatística dos dados de velocidade do vento

#### 2.1.1 Velocidade Média

A média aritmética pode ser definida, em termos estatísticos, como sendo a soma de  $n$  números divididos por  $n$ . Segundo Freund (2006), a média aritmética se constitui como um parâmetro estatístico de tendência central, ou seja, é uma medida descritiva que indica a localização dos dados.

Para fins de caracterização de vento, o cálculo da velocidade média pode ser realizado considerando períodos de tempos diferentes, no qual pode ser diário, mensal ou anual a depender do tempo em que se deseja realizar a análise. A velocidade média do vento para uma série de dados pode ser calculada utilizando (1).

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad (1)$$

Onde:

$\bar{V}$ : velocidade média (m/s);

$N$ : número de elementos;

$V_i$ : valor médio da velocidade do vento, fornecido a cada intervalo  $i$  de tempo (m/s).

#### 2.1.2 Desvio Padrão

Segundo Freund (2006), o desvio padrão é caracterizado como um parâmetro que indica o grau de dispersão de um conjunto de dados. Um alto grau de dispersão indica que os valores estão espalhados em torno da média, enquanto que um baixo grau de dispersão indica que os valores estão bem concentrados em torno da média.

O desvio padrão de uma série de velocidade de vento pode ser calculado utilizando (2).

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2} \quad (2)$$

Onde:

$\sigma_V$ : desvio padrão (m/s);

$N$ : número de elementos;

$V_i$ : velocidade (m/s);

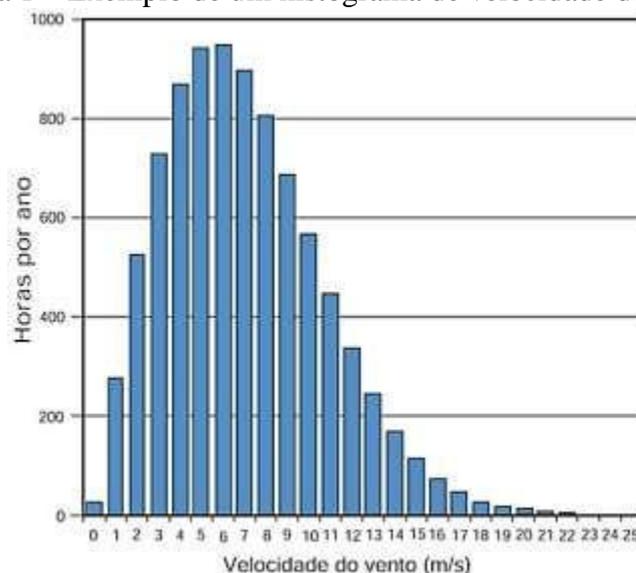
$\bar{V}$  valor médio da velocidade do vento, fornecido a cada intervalo  $i$  de tempo (m/s).

### 2.1.3 Histograma

Em estatística, a velocidade do vento tem característica estocástica, ou seja, de natureza aleatória (PINTO, 2014). Esta peculiaridade faz com que a velocidade do vento seja tratada como uma variável aleatória contínua. Neste caso, torna-se necessário fazer uma discretização para facilitar o processo de análise e estudo. Esta discretização é mostrada em forma de histogramas.

Histogramas são gráficos apresentados na forma de barra que mostram a distribuição de frequência de um determinado conjunto de dados. Nestes gráficos, a escala horizontal é quantitativa e mostra os valores dos dados distribuídos em classes (agrupamento de uma faixa de dados). A escala vertical apresenta a frequências das classes (número de ocorrência) (LARSON; FARBER, 2010). A Figura 1 mostra um exemplo de um histograma para o caso de um conjunto de valores de velocidade do vento.

Figura 1 – Exemplo de um histograma de velocidade de vento.



Fonte: PINTO (2014).

### 2.1.4 Distribuição de Weibull

Uma função densidade de probabilidade é uma função que descreve a probabilidade relativa de uma variável aleatória assumir um dado valor (FREUND, 2006). A função que é frequentemente usada como ponto de partida para caracterizar as estatísticas da velocidade do vento é chamada função densidade de probabilidade de Weibull. A função é dada por (3).

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (3)$$

Onde:

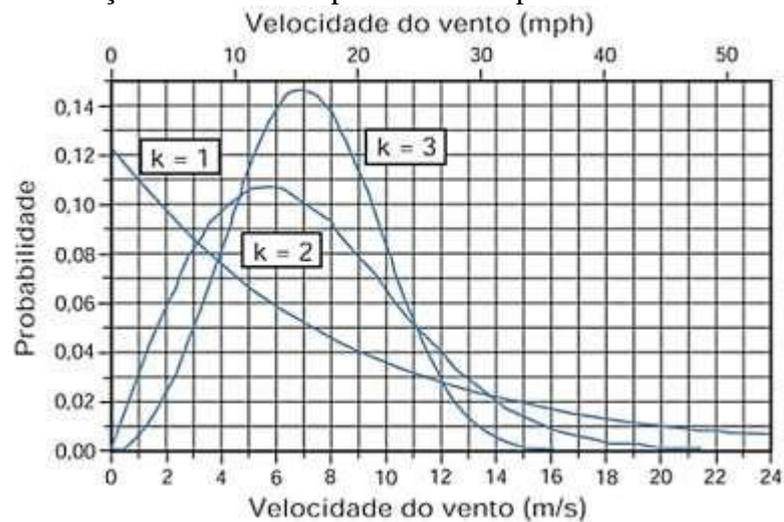
$v$ : velocidade do vento (m/s);

$k$ : fator de forma (adimensional);

$c$ : fator de escala (m/s).

O fator de forma  $k$  muda o formato da função. A Figura 2 ilustra exemplos de curvas de distribuição de Weibull para o caso  $k = 1$ ,  $k = 2$  e  $k = 3$  para um valor fixo de  $c = 8$ .

Figura 2 – Função densidade de probabilidade para diferentes valores de  $k$ .

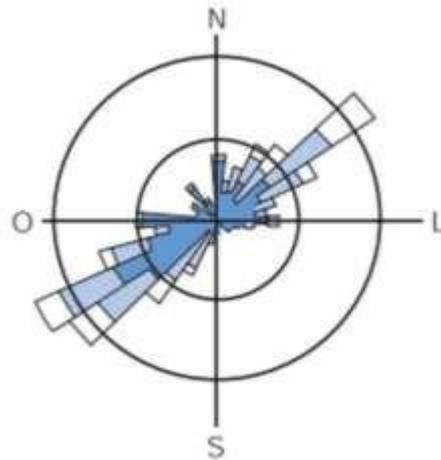


Fonte: PINTO (2014).

### 2.1.5 Rosa dos ventos

A direção do vento é indicada pela direção de onde o vento é proveniente. Uma ferramenta que possibilita a visualização deste parâmetro é a rosa dos ventos, na qual mostra como a direção do vento está distribuída em uma determinada área. A Figura 3 mostra a apresentação de um gráfico de rosa dos ventos.

Figura 3 – Exemplo de um gráfico de rosa dos ventos.



Fonte: PINTO (2014).

Em um projeto eólico, a análise da rosa dos ventos é útil para determinar a posição ótima das turbinas. Se uma boa parte da energia do vento vem de uma determinada direção, espera-se que a turbinas estejam posicionadas de forma a ter o mínimo de obstáculos possível (PINTO, 2014).

## 2.2 Ferramentas computacionais para uso em energia eólica

Devido ao vento apresentar natureza estocástica e tomando como base o desenvolvimento dos recursos computacionais disponíveis atualmente, surgiram nos últimos anos, softwares especializados em processamento e análise do vento. Convém destacar que tais softwares são amplamente utilizados para fins industriais, os quais possuem licença com alto valor de aquisição.

Como exemplo, tem-se o WasP (*Wind Atlas Analysis and application Program*), desenvolvido nos anos 1980 por uma empresa de origem dinamarquesa. Este software recebe como parâmetro de entrada dados de orografia, rugosidade, obstáculos e velocidade do vento

e é capaz de estimar e otimizar a eficiência e a produção de parques eólicos. Outro software amplamente utilizado é o WindPro, desenvolvido nos anos 1990, este software possui a peculiaridade de ser subdividido em módulos de forma a possibilitar ao usuário escolher quais módulos se queira adquirir. É possível calcular a geração de ruído e sombras, estimar a energia de uma única turbina ou de um parque eólico e calcular perdas devido a esteira (PINTO, 2014).

### 2.3 Matlab

O Matlab é um software de alto desempenho em termos de computação técnica voltado para o cálculo numérico. É utilizado no ambiente acadêmico nos cursos de matemática, ciências e principalmente nas engenharias para realizar simulações, modelagens matemáticas e desenvolvimento de algoritmos, bem como na indústria, na área de pesquisa e projeto.

O nome Matlab é proveniente das palavras *Matrix Laboratory*. Isso se deve ao fato de que a base operacional do software são matrizes, o que simplifica bastante a resolução de problemas, na medida em que os cálculos são executados em frações de segundos (GILAT, 2006). A linguagem Matlab ainda possui a característica de ser uma linguagem orientada a objetos, ou seja, a construção de rotinas pode ser divididas em componentes de acordo com sua finalidade e assim fazendo com que esses componentes se comuniquem entre si posteriormente. A facilidade que o Matlab possui na programação das rotinas usando a orientação a objetos é o que a distingue de outras linguagens de programação de igual característica como JAVA e C++, por exemplo.

O software possui a versatilidade de ser usado como uma calculadora, para a resolução de problemas simples ou como uma poderosa linguagem de programação científica para o caso de problemas mais complexos semelhante a Basic, Fortran ou C. A justificativa de seu uso se deve ao fato de que o Matlab possui funções nativas a diversas áreas do conhecimento. Além disso, seus desenvolvedores disponibilizam diversas ferramentas adicionais, as chamadas *toolboxes*, dedicadas a resolver problemas específicos.

Dentre as principais utilidades do Matlab, pode-se destacar:

- resolução de cálculos matemáticos;
- processamento de sinais;

- simulação de sistemas;
- criação de gráficos científicos;
- modelagem matemática;
- implementação de algoritmos;
- desenvolvimento de sistemas incluindo interface gráfica que possibilite a interação com o usuário.

### 2.3.1 Ambiente de desenvolvimento gráfico

De acordo com Deitel (2010), uma *GUI*, do inglês *Graphical User Interface*, ou interface gráfica com usuário, é um conceito de uma forma de interação entre o usuário do computador e um programa, por meio de elementos gráficos, representado por desenhos, imagens, botões, etc, os quais podem ser visualizados na tela, onde o usuário poderá interagir via mouse, teclado ou outro dispositivo de entrada.

Este tipo de aplicação compreende uma forma amigável ao usuário para o processo de interação com o computador, na medida em que facilita o desenvolvimento da familiaridade com o novo aplicativo, contribuindo para um melhor entendimento e maior produtividade em seu uso. É importante ressaltar que esta característica só é possível se o desenvolvedor transmitir de forma clara e intuitiva todos os recursos que o programa disponibiliza e propõe.

O Matlab possui uma função dedicada a implementação de interface gráfica, o *GUIDE* (*Graphical User Interface Development Environment*). Esta ferramenta possui como característica, a simplicidade de criação e o manuseio dos elementos gráficos (botões, gráficos, caixa de textos, imagens etc) bastando apenas o desenvolvedor associar em um segundo momento os algoritmos para cada elemento, de acordo com sua finalidade.

#### 2.3.1.1 Acessando o GUIDE

Para acessar o ambiente de desenvolvimento gráfico do Matlab, digita-se *guide* na janela *command window* e pressiona a tecla enter. Feito isso, o Matlab irá exibir a tela inicial do *guide*, conforme é mostrada na Figura 4.

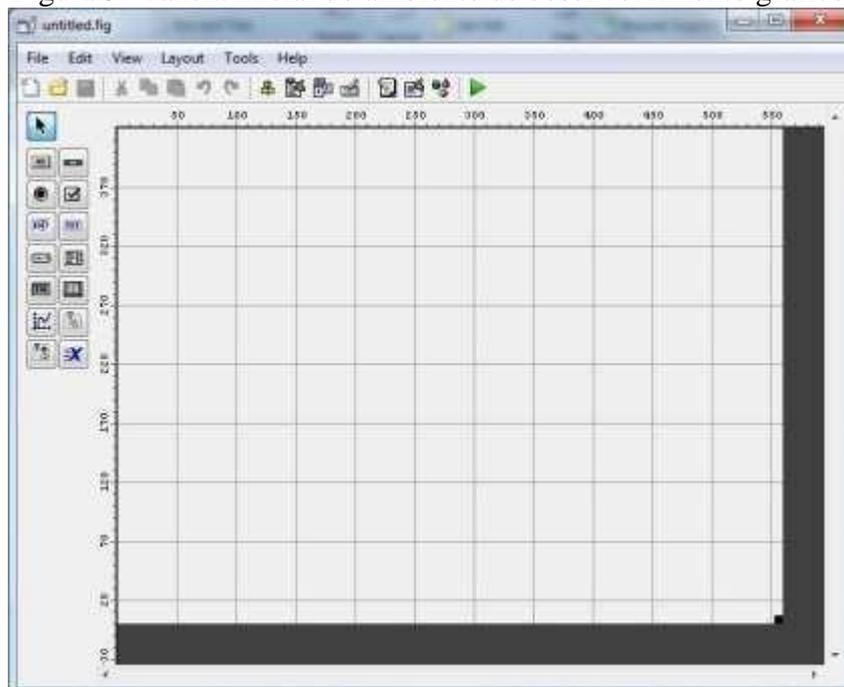
Figura 4 – Janela inicial do *guide*.



Fonte: Autor (2017).

É possível criar um novo projeto ou abrir um existente, bastando apenas alternar entre as abas designadas por “*Create new GUI*” ou “*Open Existing GUI*”. Para iniciar um novo projeto, estando na primeira aba, deve-se escolher a opção “*Blank GUI (Default)*” e em seguida clicar no botão OK. Logo após, surgirá a janela de desenvolvimento da aplicação, mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Janela inicial do ambiente de desenvolvimento gráfico.



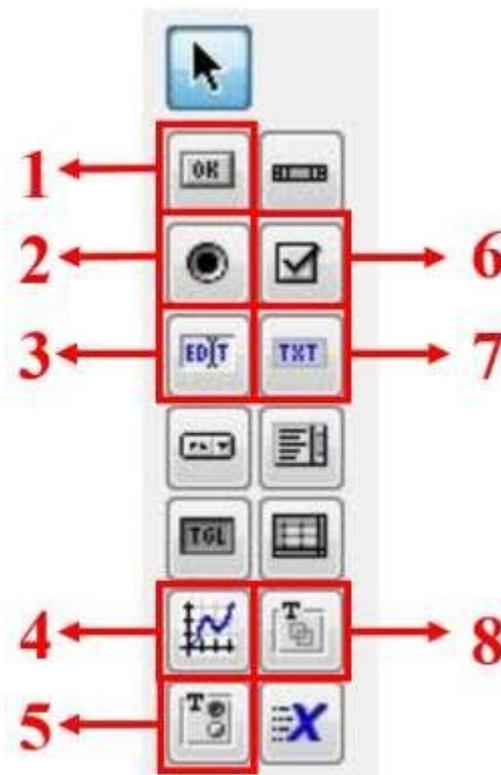
Fonte: Autor (2017).

Um projeto *GUI* no Matlab contém dois arquivos: *.m* e *.fig*. O arquivo *.fig*, contém todos os elementos gráficos da aplicação, como é mostrado na Figura 5. Já o arquivo *.m* guarda os algoritmos, ou seja, a parte lógica associado aos elementos que compõem a interface. Assim, cada vez que se adiciona algum elemento na interface gráfica, automaticamente um código é gerado no arquivo *.m*.

### 2.3.1.2 Elementos gráficos

A Figura 6 ilustra os elementos gráficos que o *guide* dispõe para se criar um projeto. Observa-se que a imagem é um recorte da janela inicial do ambiente de desenvolvimento gráfico.

Figura 6 – Elementos gráficos do *guide*.



Fonte: Autor (2017).

A seguir são apresentadas algumas das ferramentas utilizadas, as quais encontram-se em destaque na Figura 6.

- (1) **Push Button:** permite a execução de uma ação ou uma série de ações (ex.: plota um gráfico, realiza um cálculo, imprime um valor etc) quando o usuário entra com a ação de um clique.

- (2) **Radio Button:** semelhante aos check Box, porém possuem a característica de serem mutuamente exclusivos dentro de um grupo, ou seja, quando um é selecionado, outro que esteja previamente selecionado é automaticamente desmarcado.
- (3) **Edit Text:** campo que recebe a inserção ou modificação de texto pelo usuário. Utiliza-se tal ferramenta quando se deseja texto ou número como entrada. Por padrão, esta ferramenta está formatada para receber texto, porém quando é necessária a entrada de números, deve-se converter para seu equivalente numérico.
- (4) **Axes:** permite a inserção de gráficos, sejam gráficos de funções ou imagens.
- (5) **Button Group:** utilizado para agrupar e gerenciar o comportamento dos Radio Buttons.
- (6) **Check Box:** compreende um elemento que pode gerar uma ação a depender de seu estado, verificado ou não verificado.
- (7) **Static Text:** possibilita a aparição de um texto que não pode ser modificado. É utilizado para rotular elementos, por exemplo.
- (8) **Panel:** campo que permite o agrupamento de vários elementos com a finalidade de organizá-los.

O estudo dos tópicos presentes neste capítulo, possibilitou o entendimento acerca dos principais elementos relativos a caracterização dos ventos. No capítulo seguinte, serão mostrados os procedimentos adotados para a realização deste trabalho.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Este capítulo aponta os principais direcionamentos tomados para a execução deste trabalho. Convém observar que a ordem de descrição das atividades aqui apresentadas condiz com a exata ordem dos passos seguidos para o desenvolvimento do sistema proposto. Em termos gerais, destaca-se o estudo dos parâmetros de caracterização, a implementação das rotinas no ambiente Matlab e a concepção e implementação da interface gráfica.

As rotinas desenvolvidas em ambiente Matlab criadas para esse sistema estão devidamente apresentadas no Apêndice A.

#### **3.1 Parâmetros de caracterização**

Inicialmente, fez-se necessário realizar uma minuciosa investigação na literatura a respeito dos principais parâmetros de caracterização do vento que são pertinentes em um projeto de energia eólica. Esta etapa apresentou-se como um ponto fundamental, pois serviu como base para determinar os recursos de saída que o sistema apresenta.

Pinto (2014) cita como elementos de interesse, a média, desvio padrão, potência, histograma, frequência acumulada, a distribuição de frequência e a distribuição de Weibull. Outro elemento que apresenta igual importância é a rosa dos ventos, onde é possível determinar facilmente a direção do vento. Tais parâmetros encontram-se devidamente descritos no capítulo anterior.

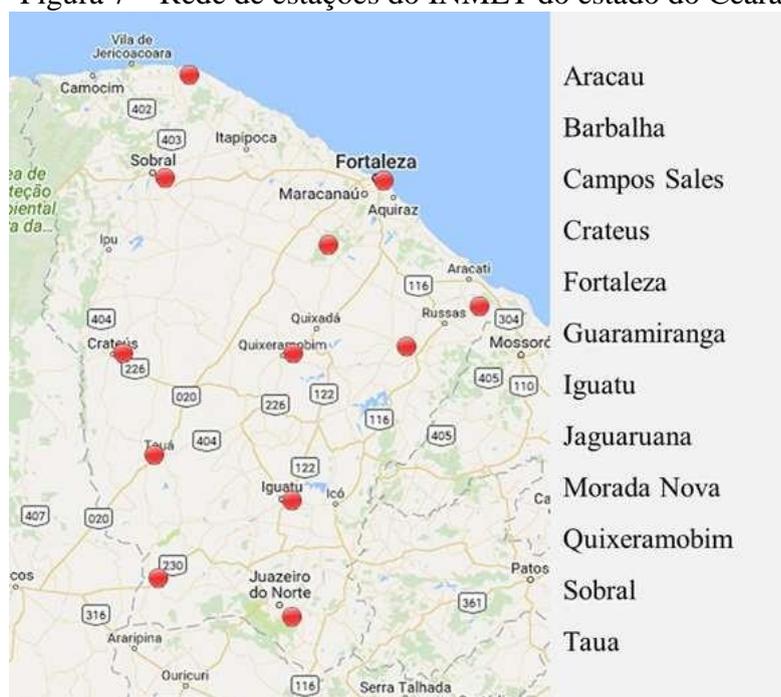
#### **3.2 Tratamento dos arquivos do INMET**

Os dados de velocidade e direção do vento que alimentam o sistema são provenientes do banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP) do INMET. O BDMEP, de acordo com INMET (2017), é um banco de dados que serve como apoio as atividades de ensino e pesquisa e outras aplicações em diversos setores, como meteorologia, hidrologia, recursos hídricos, saúde pública, meio ambiente, dentre outros.

Além de dados de velocidade e direção do vento, a base disponibiliza para consulta, dados de diversas outras variáveis atmosféricas, dentre elas, temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e insolação. Os dados relativos a tais variáveis atmosféricas são medidos e registrados nas estações meteorológicas da rede de estações do

INMET, a qual é composta por 256 estações espalhadas por todo o território brasileiro. Como exemplo, podemos citar que o estado do Ceará abriga 12 dessas estações como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Rede de estações do INMET do estado do Ceará.



Fonte: INMET (2017).

Optou-se por utilizar a base de dados do INMET por ser uma base pública, com uma grande quantidade de dados e por ser de fácil acesso, bastando apenas o usuário criar um cadastro com *login* e senha.

O acesso à base de dados se dá pelo site do INMET. Ao acessar o banco de dados, é preciso escolher o período de tempo que se queira, especificando o início e fim com dia, mês e ano, a localização da estação desejada, como região e estado e por fim, selecionar o tipo de variável atmosférica e então clicar em pesquisar. A Figura 8 ilustra a página de pesquisa do BDMEP.

Figura 8 – Formulário de pesquisa no BDMEP.

Fonte: INMET (2017).

Após esse passo, uma janela com as estações requeridas para a região e o estado selecionados, serão listadas, como é mostrado na Figura 7 para o caso do estado do Ceará. Ao clicar na estação requerida, uma nova janela será mostrada contendo os dados de interesse, bastando apenas o usuário copiar tais dados para um arquivo no bloco de notas. A Figura 9 apresenta um exemplo dos dados de velocidade de vento captados da estação de Fortaleza no período de 2010 a 2014.

Figura 9 - Dados de velocidade de vento na estação de Fortaleza.

```

BDMEP - INMET
-----
Estação      : FORTALEZA - CE (OMM: 82397)
Latitude (graus) : -3.81
Longitude (graus) : -38.53
Altitude (metros): 26.45
Estação Operante
Início de operação: 27/10/1919
Período solicitado dos dados: 01/01/2010 a 31/12/2014
Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP
Hora em UTC
-----
Obs.: Os dados aparecem separados por ; (ponto e vírgula) no formato txt.
Para o formato planilha XLS, siga as instruções
-----
Estacao:Data:Hora:VelocidadeVento
82397;01/01/2010;0000;1.6;
82397;01/01/2010;1200;1.8;
82397;01/01/2010;1800;3.1;
82397;02/01/2010;0000;3.1;
82397;02/01/2010;1200;3;
82397;02/01/2010;1800;3.3;
82397;03/01/2010;0000;1.6;
82397;03/01/2010;1200;1.5;
82397;03/01/2010;1800;2.8;
82397;04/01/2010;0000;1.1;
82397;04/01/2010;1200;3.5;
82397;04/01/2010;1800;3.3;
82397;05/01/2010;0000;2.1;

```

Fonte: Autor (2017).

A partir da observação do arquivo exemplo na Figura 9, nota-se que os dados de maior interesse, dados de velocidade do vento para o exemplo, encontram-se na última coluna logo após o cabeçalho. Ao carregar o arquivo no sistema, tais dados são alocados em variável específica utilizando funções próprias do Matlab de manipulação de arquivos e de *string*. Dados como o nome da estação e período de medição também são extraídos por meio de manipulação de *string*.

### 3.3 Implementação das rotinas no Matlab

Para que fosse possível implementar as rotinas no Matlab, foi necessário que se realizasse o estudo detalhado sobre o processo de determinação de cada parâmetro de caracterização. É utilizado como ambiente de desenvolvimento o programa Matlab ©, versão 8.0.0.783 R2012b (MATLAB, 2012). A seguir são apresentados a lógica e as principais funções utilizadas para cada parâmetro.

#### 3.3.1 Rosa dos ventos

Para plotar o gráfico da rosa dos ventos, utilizou-se a função *rose* do Matlab. Esta função cria um histograma de ângulo na forma de um gráfico polar, ordenando a distribuição de valores agrupados de acordo com a frequência.

A base do INMET fornece os dados de direção do vento em código referente aos pontos da rosa dos ventos: cardiais, colaterais e subcolaterais. O código dado é uma numeração de 1 a 36 para os pontos da rosa dos ventos e 0 e 99 para valores atípicos registrados em que não é possível determinar sua direção. É atribuído 0 para o caso em que o vento está calmo e 99 para o caso em que o vento encontra-se em estado variável. A Tabela 1 apresenta os códigos fornecidos e sua respectiva associação com os pontos da rosa dos ventos.

TABELA 1 – Código de direção.

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Desc. Simples</b>	<b>Ângulo Equivalente (°)</b>	<b>Ângulo Equivalente (rad)</b>
0	Calma	C		
1	Norte - Nordeste	NNE	67,5	1,178097245
2	Norte - Nordeste	NNE	67,5	1,178097245
3	Norte - Nordeste	NNE	67,5	1,178097245
4	Norte - Nordeste	NNE	67,5	1,178097245
5	Nordeste	NE	45	0,785398163
6	Nordeste	NE	45	0,785398163
7	Este - Nordeste	ENE	22,5	0,392699082
8	Este - Nordeste	ENE	22,5	0,392699082
9	Leste	E	0	0
10	Leste	E	0	0
11	Este - Sudeste	ESE	337,5	5,890486225
12	Este - Sudeste	ESE	337,5	5,890486225
13	Este -Sudeste	ESE	337,5	5,890486225
14	Sudeste	SE	315	5,497787144
15	Sudeste	SE	315	5,497787144
16	Sul - Sudeste	SSE	292,5	5,105088062
17	Sul - Sudeste	SSE	292,5	5,105088062
18	Sul	S	270	4,71238898
19	Sul	S	270	4,71238898
20	Sul - Sudoeste	SSW	247,5	4,319689899
21	Sul - Sudoeste	SSW	247,5	4,319689899
22	Sul - Sudoeste	SSW	247,5	4,319689899
23	Sudoeste	SW	225	3,926990817
24	Sudoeste	SW	225	3,926990817
25	Oeste - Sudoeste	WSW	202,5	3,534291735
26	Oeste - Sudoeste	WSW	202,5	3,534291735
27	Oeste	W	180	3,141592654
28	Oeste	W	180	3,141592654
29	Oeste - Noroeste	WNW	157,5	2,748893572
30	Oeste - Noroeste	WNW	157,5	2,748893572
31	Oeste - Noroeste	WNW	157,5	2,748893572
32	Noroeste	NW	135	2,35619449
33	Noroeste	NW	135	2,35619449
34	Norte - Noroeste	NNW	112,5	1,963495408
35	Norte - Noroeste	NNW	112,5	1,963495408
36	Norte	N	90	1,570796327
99	Variável	Variável		

Fonte: Autor (2017).

A partir da tabela de código de direção, foi possível associar cada ponto da rosa dos ventos a um intervalo de ângulo, considerando a rosa dos ventos como um gráfico polar e dividindo-as em 16 partes iguais. Assim, como exemplo, tem-se que os pontos cardeais leste e

oeste foram associados aos intervalos de 0 a 22,5 e 180 a 200,5, respectivamente e posteriormente convertidos em radianos, como é possível perceber pela tabela anterior. A conversão do ângulo em radianos é dada por (5).

$$\hat{\text{Ângulo equivalente}} (rad) = \frac{\pi * \hat{\text{Ângulo equivalente}}(^{\circ})}{180} \quad (5)$$

### 3.3.2 Histograma

Para o gráfico do histograma, utilizou-se a função *histogram*. Esta função recebe como parâmetro de entrada, os valores de velocidade e cria automaticamente o gráfico. É possível determinar ou não o número de classes que se queira. Para o caso em que este valor não for especificado, o *script* estabelece um número de classes ótimo com base no número de elementos. Devido a quantidade de valores de entrada ser aleatória, optou-se por não predeterminar este parâmetro.

### 3.3.3 Frequência acumulada

A lógica desenvolvida para a criação do gráfico da frequência acumulada consistiu primeiramente em determinar o tamanho de cada classe do gráfico. Para isso, determinou-se a amplitude da série de dados, subtraindo o maior valor do menor. Em seguida determinou-se o tamanho de cada classe, que é resultado da divisão da amplitude pelo número de classes, que foi especificado como 14, visto que esse número é um valor razoável para maiores ou menores quantidades de elementos da série de dados.

De posse do tamanho de cada classe e de seus limites inferiores e superiores e utilizando-se do laço de repetição *for* e do laço condicional *if*, foi possível obter a frequência simples de cada classe.

A frequência acumulada foi calculada utilizando a soma das frequências simples de cada classe com suas anteriores. Assim, o primeiro valor do vetor da frequência acumulada corresponde a frequência simples da classe 1, o segundo valor corresponde a soma das frequência simples da classe 1 e 2 e assim sucessivamente. Em seguida, foi possível determinar a frequência acumulada relativa, dividindo cada valor da frequência acumulada

simples pela quantidade total de elementos e multiplicando por 100, obtendo o valor em porcentagem.

O gráfico foi plotado utilizando a função *bar*, que constrói um gráfico de barras. Para o eixo x, utilizou-se o eixo dos múltiplos do tamanho da classe e o vetor y é correspondente a frequência acumulada relativa.

### 3.3.4 Variação da velocidade média

Como explicado no capítulo 2, a velocidade média se apresenta como um bom parâmetro de caracterização. Seguindo esse raciocínio, viu-se a necessidade de criar um gráfico da variação da velocidade média, no qual possibilitasse uma melhor análise do comportamento do perfil do vento em uma faixa de tempo. Assim, o sistema permite ao usuário escolher visualizar a velocidade média variando de forma mensal ou anualmente.

A base do INMET disponibiliza dois diferentes tipos de séries históricas: do tipo horária e diária. A série histórica do tipo horária possui três medições diárias, enquanto que a série histórica do tipo diária possui um único valor registrado em um dia. A escolha do tipo de série dependerá da finalidade da pesquisa e de critérios definidos pelo utilizador do sistema. Apesar disso, a lógica implementada nesta rotina, aceita a inserção de ambos os tipos de séries, ou seja, a lógica desenvolvida permite o processamento independentemente do caso.

Para o tipo de variação mensal, a lógica consiste em separar em um segundo vetor os arquivos correspondentes a meses semelhantes, em outras palavras, trata-se de um algoritmo de ordenação. Para tal, utilizam-se os dados de data que são previamente carregados e armazenados em um vetor específico. Após ordenar os dados, calcula-se a média de cada mês e em seguida plota-se o gráfico. Importante destacar que, apesar de o Matlab possuir funções específicas para configuração do eixo, possibilitando assim colocar dados de data no eixo, não é possível para o caso de o intervalo de tempo entre os meses não ser contínuo. Assim, foi preciso desenvolver um algoritmo a parte para mapear os meses presentes no intervalo de tempo para poder associar ao eixo no gráfico.

Para o caso de o tipo de variação da velocidade média ser anual, o processo é semelhante ao anterior, com a diferença de que a faixa de busca para a ordenação dos dados é correspondente a um ano.

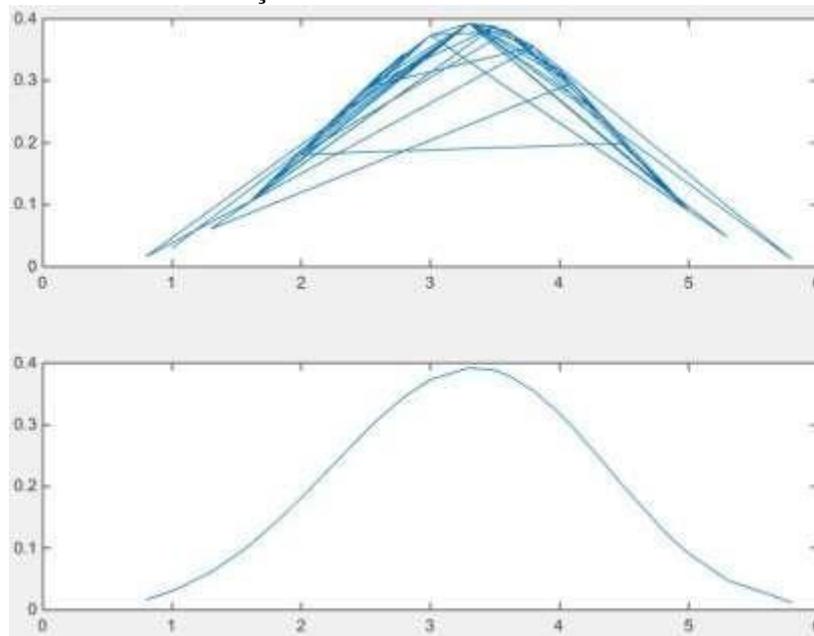
### 3.3.5 Gráfico da distribuição de Weibull

O método para traçar a curva da distribuição de Weibull consistiu na utilização da função *fitdist* do *Matlab*. Esta função recebe como parâmetro, um vetor contendo os dados de velocidade do vento e o nome da distribuição de probabilidade entre aspas simples, para o caso: *'Weibull'*. Esta função retorna dois parâmetros, nomeados de A e B, que correspondem aos valores de ajuste para a função requerida.

Posteriormente, utilizou-se a função *pdf* para obter os valores da função densidade de probabilidade. Em seguida, utilizou-se a função *sort* para ordenar de forma crescente o vetor contendo os dados de velocidade. Por fim, a partir de um laço de repetição *for*, realizou-se o rearranjo dos valores da função densidade de probabilidade a partir dos índices do vetor dos dados de velocidade ordenados.

A Figura 10 ilustra a curva da distribuição de Weibull com os dados não ordenados e após a ordenação dos dados, obtidos a partir de uma série aleatória.

Figura 10– Curva de distribuição de Weibull com dados não ordenados e ordenados.



Fonte: Autor (2017).

### 3.3.6 Curva de potência

Para a análise da potência contida nos ventos, traçou-se a curva de potência com base em (5):

$$P/A = (1/2)\rho v^3 \quad (5)$$

Onde:

$P$ : potência disponível do vento (W);

$A$ : área (m<sup>2</sup>);

$\rho$ : massa específica do ar (kg/m<sup>3</sup>);

$v$ : velocidade do vento (m/s).

Por (5), observa-se que a curva resultante é da forma exponencial, como é mostrada na Figura 11.



Fonte: PINTO (2014).

O gráfico resultante do sistema é a curva traçada utilizando (5) com o auxílio de um vetor com os valores para velocidade ( $v$ ), em um intervalo de 1 a 5 e com um passo de 0,1. Além disso um ponto é marcado sobre a curva substituindo o valor de  $v$  na equação pela velocidade média calculada para a série analisada.

O potencial eólico, para fins de projeto de energia eólica, é geralmente analisado considerando a velocidade média dos ventos a 50 metros do solo. Os dados de velocidade da

base do INMET, correspondem a altura de 10 metros. Logo, utilizou-se (6) para calcular a velocidade correspondente a 50 metros.

$$v = v_r \left( \frac{H}{H_r} \right)^\alpha \quad (6)$$

Onde:

$v$ : velocidade do vento na altura  $H$  (m/s);

$v_r$ : velocidade do vento na altura de referência (m/s);

$H$ : altura desejada (m);

$H_r$ : altura de referência (m);

$\alpha$ : coeficiente de atrito.

A velocidade média para 50 metros, foi calculada utilizando o valor do coeficiente de atrito igual a 0,3 que corresponde a regiões de pequenas cidades com árvores e arbustos. Portanto, considerou-se que provavelmente, as estações do INMET estejam situadas próximas a regiões com essa característica.

### 3.3.7 Determinação dos parâmetros $k$ e $C$

Para os cálculos dos parâmetros do fator de forma ( $k$ ) e fator de escala ( $C$ ) foram utilizados os valores da velocidade média e do desvio padrão, na qual são relacionados por (7) e (8), respectivamente.

$$k = \frac{\sigma_v - 1,086}{\bar{v}} \quad (7)$$

Onde:

$\sigma_v$ : desvio padrão (m/s);

$\bar{v}$  velocidade média (m/s).

$$C = \frac{v}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (8)$$

Onde:

$\bar{V}$  velocidade média (m/s);

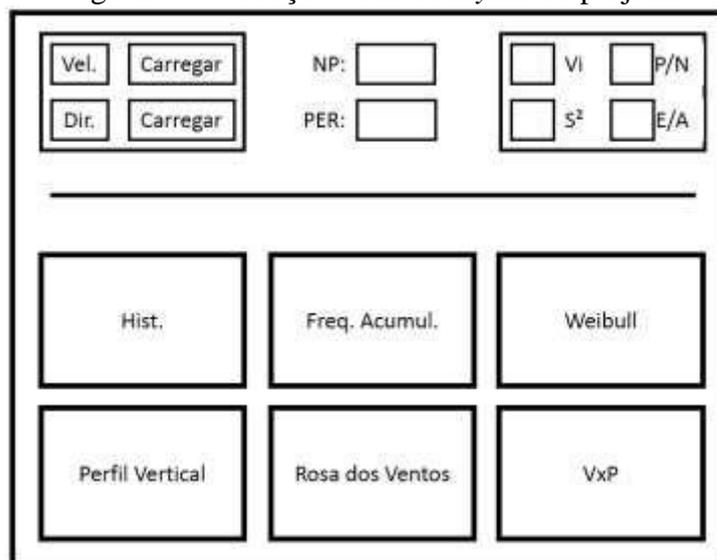
$k$ : fator de forma (adimensional).

Para o cálculo da função gama utilizou-se a função *gamma* do Matlab.

### 3.4 Desenvolvimento do layout

O processo de desenvolvimento do layout se deu inicialmente tendo em mente quais gráficos e os tipos de informações que se pretendia adicionar ao sistema. A ideia foi criar uma interface simples e intuitiva, que permita ao usuário obter facilmente as informações desejadas. Para tanto, nesta fase do trabalho, utilizou-se de diversos rascunhos da interface gráfica do sistema. A Figura 12 ilustra o primeiro esboço do *layout* criado para o sistema.

Figura 12 – Esboço inicial do *layout* do projeto.



Fonte: Autor (2017).

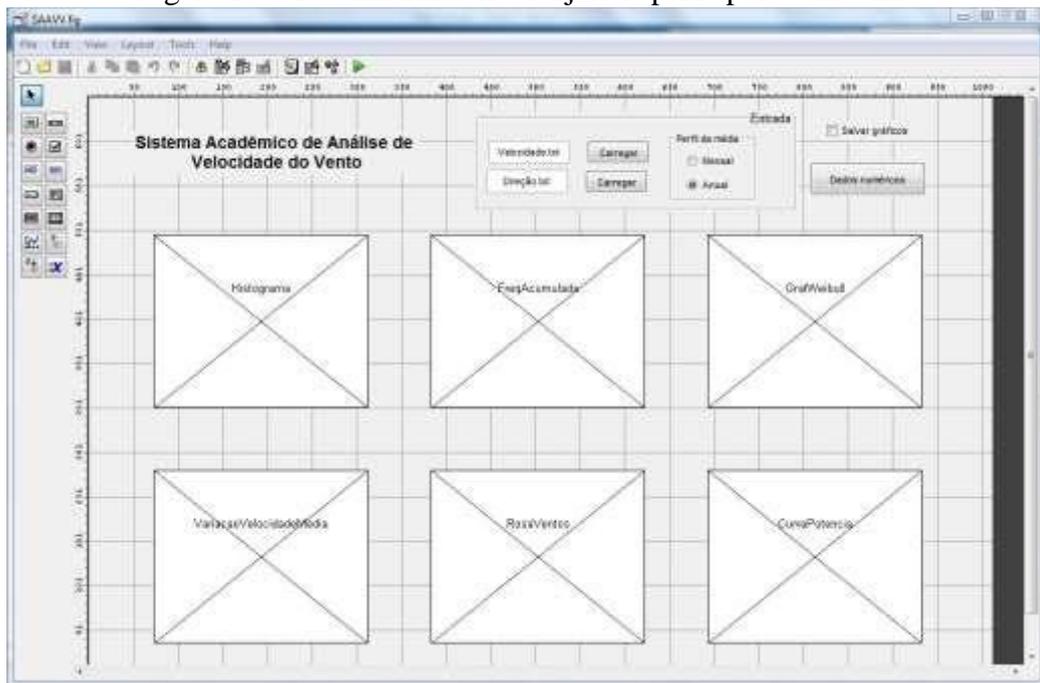
Ao longo do andamento do trabalho, o layout foi naturalmente sofrendo modificações, a medida em que surgia um novo parâmetro para acrescentar ou adicionar um novo recurso com o intuito do melhoramento da didática.

### 3.5 Implementação no GUIDE

Após a implementação das rotinas e a criação do esboço do layout do sistema e utilizando-se dos elementos gráficos disponíveis no *guide*, desenvolveu-se a interface gráfica

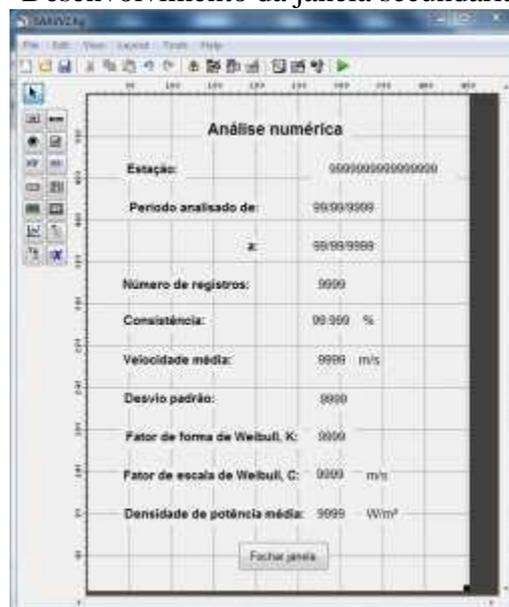
do sistema. As figuras que se representam seguidamente correspondem às duas janelas que se desenvolveram. A primeira, Figura 13, representa a janela inicial da aplicação, contendo os comandos de carregamento dos arquivos de dados e os gráficos. A segunda interface gráfica, Figura 14, representa a janela secundária, na qual mostra os elementos numéricos, como nome da estação, velocidade média, desvio padrão, dentre outros.

Figura 13 – Desenvolvimento da janela principal do sistema.



Fonte: Autor (2017).

Figura 14 – Desenvolvimento da janela secundária do sistema.



Fonte: Autor (2017).

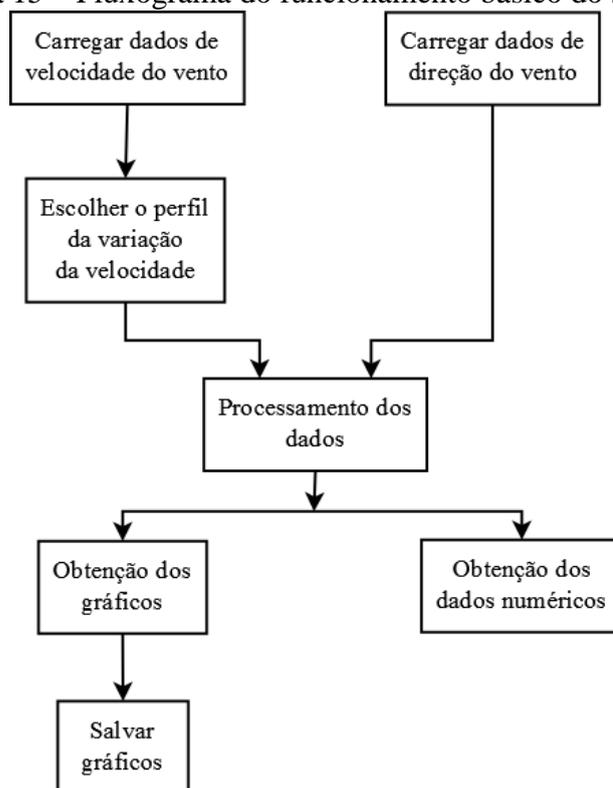
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, será apresentada a versão final do sistema bem como seu modo de operação. Em seguida, será realizada uma simulação com uma série histórica obtida no BDMEP, o banco de dados do INMET.

### 4.1 Funcionamento do sistema

O funcionamento do sistema se apresenta como mostra o fluxograma da Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma do funcionamento básico do sistema.



Fonte: Autor (2017).

O fluxograma apresenta o funcionamento básico do sistema, mostrando de forma resumida os recursos que o sistema dispõe. A seguir é mostrado detalhadamente seu modo de operação.

## 4.2 Apresentação do sistema

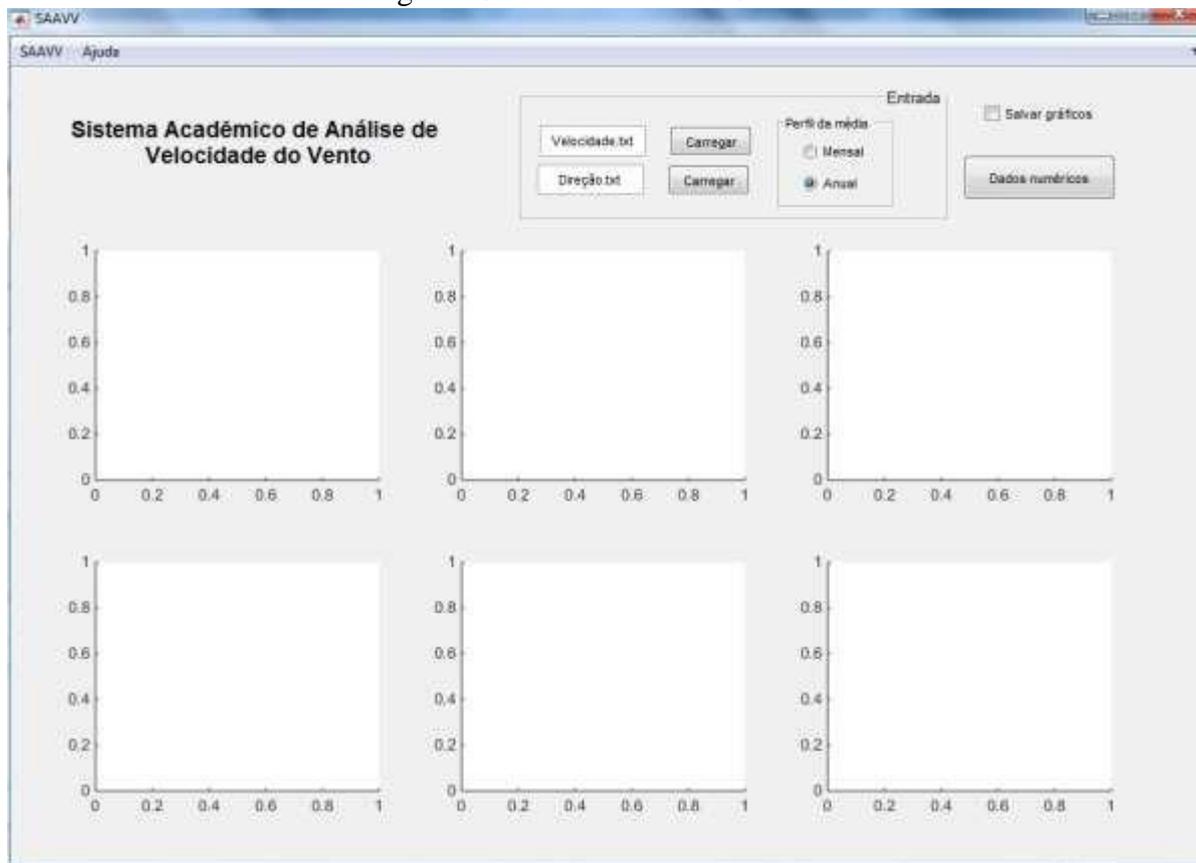
A aplicação desenvolvida foi nomeada de SAAVV que é corresponde ao acrônimo de Sistema Acadêmico de Análise de Velocidade do Vento. O sistema foi desenvolvido com o intuito de apresentar os principais parâmetros utilizados para caracterização de velocidade do vento para fins eólicos. Desse modo, o layout apresenta uma estrutura simples e bastante intuitiva, com o objetivo de facilitar ao máximo seu manuseio por parte do utilizador.

Ao abrir a aplicação, seguindo os procedimentos descritos no capítulo 3, a página inicial do sistema se apresenta como mostra a Figura 16.

Nota-se que de fato a utilização do sistema é bastante intuitiva. Para visualizar todos os gráficos de análise, na página inicial do sistema basta o utilizador digitar o nome dos arquivos que contém os dados de velocidade e direção do vento, seguido pela extensão *.txt*, e clicar em seu respectivo botão ‘Carregar’. Outro parâmetro de entrada diz respeito ao perfil de variação da velocidade média, que se encontra previamente configurado como ‘anual’. Depois que o arquivo de velocidade é carregado, para mudar o perfil de análise da média, basta marcar o botão de opção que se queira e clicar novamente em carregar.

Importante observar que não necessariamente o sistema requer que sejam carregados os dados de velocidade e de direção, simultaneamente. Para o caso em que não seja necessário carregar o arquivo de direção do vento, o gráfico da rosa dos ventos simplesmente não é exibido, não trazendo prejuízos para a análise dos outros parâmetros. Outro ponto a se ressaltar é que os arquivos de análise devem estar alocados no mesmo diretório em que se encontram os *scripts* do sistema.

Figura 16 -Janela inicial do SAAVV.



Fonte: Autor(2017).

A janela principal do sistema, como ilustrado na Figura 16, mostra seis gráficos com os principais parâmetros de análise e um painel que integra os campos de textos, os botões de entrada e a escolha do perfil da velocidade média.

O sistema apresenta ainda, uma opção de salvar os gráficos obtidos para a série de velocidade que se esteja analisando. Ao clicar nesta opção, todos os gráficos serão salvos automaticamente na pasta atual de trabalho. Para o caso em que os dados de direção não forem carregados, o gráfico não será exibido e, portanto, não será salvo. Se o utilizador optar por salvar os gráficos de uma análise, carregar uma nova série histórica e requerer que o sistema salve os novos gráficos obtidos, estes sobrescreverão os anteriores. Este detalhe não deve ser visto como uma falha, já que o usuário pode copiar os gráficos para um novo diretório, salvando-os.

Para efeito de credibilização e contato com os desenvolvedores, a página inicial do sistema possui um menu “Ajuda”, que apresenta um submenu “Crédito”. Ao selecionar esta opção, é exibida uma página implementada em *HTML (Hypertext Markup Language)*

contendo as informações básicas sobre os desenvolvedores como nome, e-mail e endereço do currículo lattes, bem como o nome da instituição a qual encontram-se vinculados.

A Figura 17 ilustra a página desenvolvida com as informações de contato.

Figura 17 – Página de crédito desenvolvida em *HTML*.

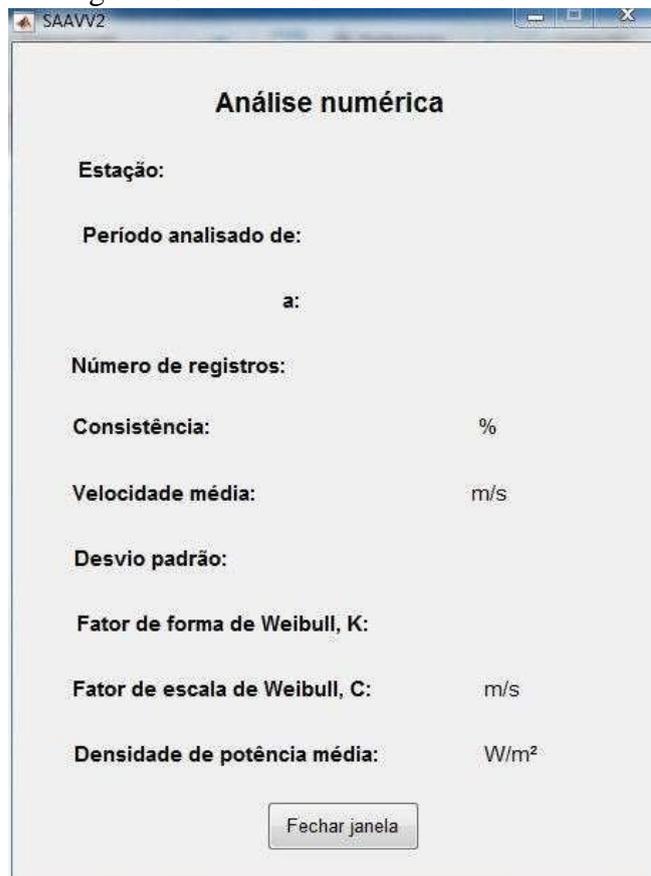


Fonte: Autor (2017).

Os parâmetros numéricos são apresentados ao clicar no botão “Dados numéricos”. Optou-se por criar uma segunda janela com o objetivo de tornar a visualização dos dados mais organizados. São apresentados dados relativos a descrição da série histórica como o nome da estação, o período analisado e o número de registros. Além disso, são mostrados os valores de velocidade média, desvio padrão, os parâmetros da distribuição de Weibull e a densidade de potência média.

A Figura 18 apresenta a janela secundária do sistema.

Figura 18 – Janela secundária do SAAVV.



The screenshot shows a window titled "SAAVV2" with a subtitle "Análise numérica". The window contains the following fields and labels:

- Estação:** (Station)
- Período analisado de:** (Analysis period from)
- a:** (to)
- Número de registros:** (Number of records)
- Consistência:** (Consistency) with a unit of %
- Velocidade média:** (Average velocity) with a unit of m/s
- Desvio padrão:** (Standard deviation)
- Fator de forma de Weibull, K:** (Weibull shape factor, K)
- Fator de escala de Weibull, C:** (Weibull scale factor, C) with a unit of m/s
- Densidade de potência média:** (Average power density) with a unit of W/m<sup>2</sup>

At the bottom center of the window is a button labeled "Fechar janela" (Close window).

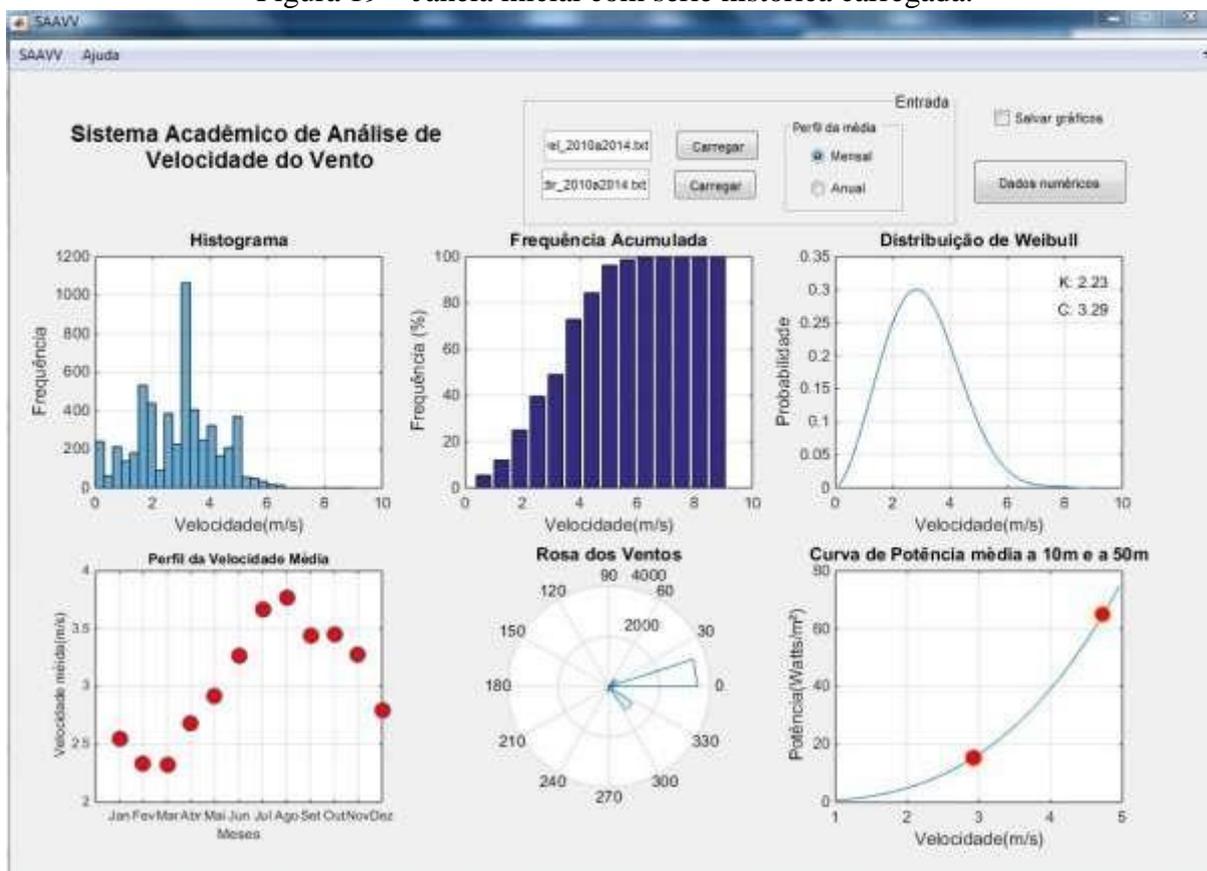
Fonte: Autor (2017).

### 4.3 Demonstração do sistema

Para fins de demonstração de utilização do sistema, utilizou-se uma série histórica de dados de velocidade e de direção do vento fornecidos pela base do INMET. A série analisada é referente a estação de Fortaleza – CE e corresponde ao período de 2010 a 2014.

Ao carregar os arquivos no sistema, os gráficos de análise são mostrados. A Figura 19, ilustra a página inicial com os arquivos de velocidade e direção carregados.

Figura 19 – Janela inicial com série histórica carregada.

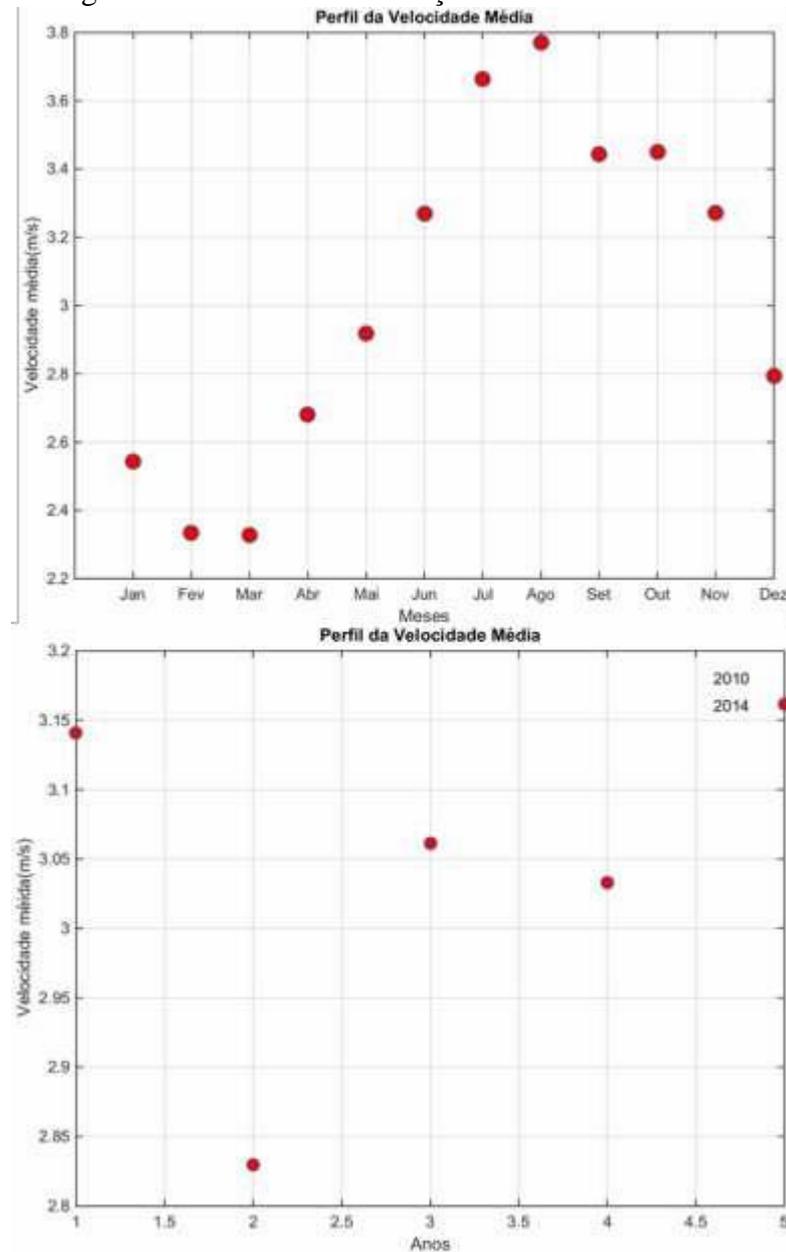


Fonte: Autor (2017).

Durante o estudo e análise de algumas séries históricas da base do INMET, observou-se que estes podem apresentar valores de velocidades distantes da média, os quais são resultados de erros no processo de medição na própria estação ou por outros motivos adversos. Isso faz com que o gráfico do histograma possa se apresentar com o valor superior do eixo x bem maior do que a média dos valores de velocidade. Isso explica o motivo do gráfico do histograma mostrado para o exemplo da estação de Guaramiranga se mostrar dessa forma, já que o gráfico é calculado automaticamente a partir da função *histogram*, como já mencionado.

O gráfico do perfil da velocidade média pode ser apresentada de duas formas, a depender do perfil de variação escolhido. A Figura 20 apresenta um comparativo com os dois perfis para essa série analisada.

Figura 20 – Gráficos de variação da velocidade média.

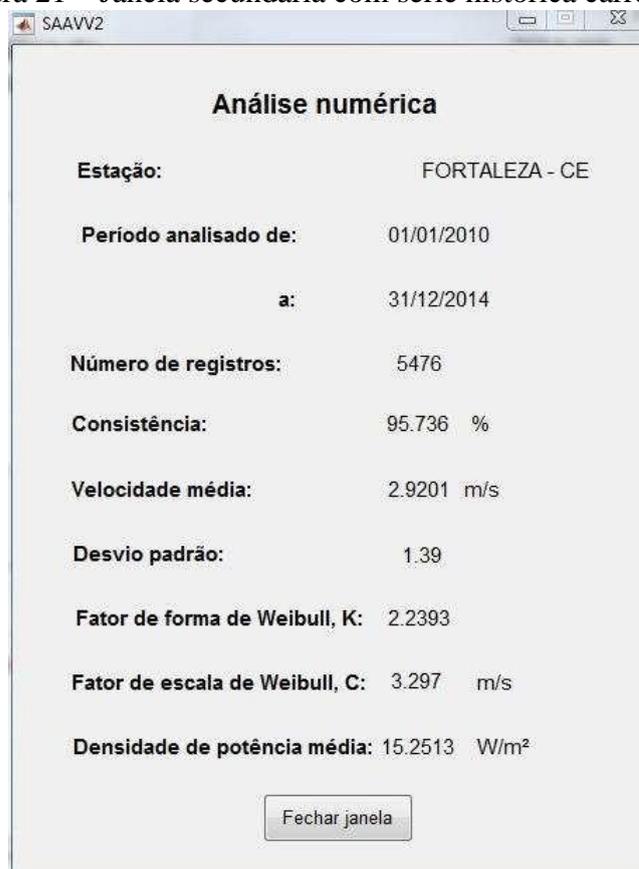


Fonte: Autor (2017).

Observa-se que para o caso em que o perfil da variação da velocidade média for mensal, o eixo apresenta os nomes dos meses. Para o caso em que a faixa de tempo da série analisada não totalizar os doze meses, apenas os meses em que houver valor serão mostrados. Quando o usuário selecionar o perfil anual, uma anotação indicando o ano inicial e final é mostrada no gráfico.

Ao clicar no botão “Dados numéricos”, uma janela contendo dados detalhados da série é mostrada conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21 – Janela secundária com série histórica carregada.



Fonte: Autor (2014).

Os dados mostrados correspondem a caracterização da série em si, indicando o nome da estação, o período analisado e o número de registros da série histórica. Os demais parâmetros apresentam a caracterização estatística e a densidade de potência média, calculada a partir da velocidade média. Além disso, é mostrado o valor de consistência de dados da série, cujo valor, expresso em porcentagem, corresponde ao número de elementos registrados para a série de dados em relação ao número de elementos esperados.

Utilizou-se o MS Excel 2013 para efeito de comparação dos resultados numéricos obtidos para a mesma série histórica analisada. A Tabela 2 mostra os valores provenientes do MS Excel 2013 e do SAAVV.

TABELA 2 – Comparativo dos valores obtidos no MS Excel 2013 e no SAAVV.

	<b>SAAVV</b>	<b>Exce l</b>
Velocidade Média (m/s)	2.93	2.93
Desvio Padrão	1.02	1.02
Fator de forma de Weibull, K	3.14	3.14
Fator de escala de Weibull, C (m/s)	3.28	3.28
Densidade de potência média (W/m <sup>2</sup> )	15.46	15.47

Fonte: Autor (2017).

Os dados foram calculados utilizando as fórmulas diretas disponíveis no MS Excel 2013 e conforme apresentado na Tabela 2, os valores são exatamente iguais aos obtidos a partir do SAAVV, apresentando apenas uma pequena diferença no valor da densidade média de potência. Tal diferença se justifica pelo número de casas decimais consideradas nas duas ferramentas serem distintos.

## 5 CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido, denominado SAAVV, se apresenta como uma ferramenta computacional bastante prática e intuitiva para a utilização no ambiente acadêmico, na medida em que facilita o processo de ensino-aprendizagem. O sistema possibilita realizar o processamento de uma série histórica de dados de velocidade e direção do vento e extrair diversos parâmetros de caracterização. Não se viu a necessidade de realizar um estudo sobre o tempo de processamento dos dados, já que o sistema se mostrou bastante rápido mesmo para séries longas.

O estudo dos diferentes parâmetros de caracterização do vento proporcionou maior entendimento dos principais elementos utilizados no projeto de energia eólica, na medida em que se fez necessário realizar uma extensa pesquisa sobre o modo como se obtém cada parâmetro. A implementação computacional requereu estudos de tópicos avançados em programação, sobretudo no ambiente Matlab para a criação de uma GUI. Desse modo, foi possível potencializar os conhecimentos adquiridos em diferentes áreas, como energia eólica, programação de computadores e estatística.

A base de dados do INMET, de modo geral, se mostra como uma excelente fonte de pesquisa de dados por vários motivos, a destacar seu fácil acesso e manuseio da plataforma, bem como o fato de possuir dados de velocidade do vento relativo a todas as regiões do território brasileiro, o que possibilita o estudo do perfil do vento em diferentes áreas.

Dessa maneira, propõe-se como sugestão para trabalhos futuros realizar a inserção de recursos ao sistema que possibilite a leitura de outras bases de dados bem como arquivos provenientes de anemômetros, já que os dados proveniente do INMET apresentam uma limitação de 3 medições diárias. Além disso, adicionar uma opção de analisar mais de uma série histórica simultaneamente, no qual permitirá uma comparação dos resultados obtidos em datas diferentes para uma mesma estação ou séries de regiões diferentes. Por fim, propõe-se o estudo e implementação de algoritmos baseados em redes neurais artificiais para a predição do potencial de geração de energia.

## REFERÊNCIAS

DEITEL, Harvey M.; DEITEL Paul J.. **Java Como Programar**. São Paulo, SP. Pearson Prentice Hall. 2010.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2016**: Ano Base 2015. Rio de Janeiro, 2016. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. [<http://www.epe.gov.br>].

FADIGAS, Eliane A Faria Amaral. **Energia Eólica**. Barueri, SP. Manole. 2011.

FERNANDES, Paulo da Veiga. **Caracterização de regimes de vento visando seu aproveitamento energético**. 2005. 107. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Universidade do Porto.2005.

FREUND, John E. **Estatística Aplicada: economia, administração e contabilidade**. Porto Alegre, RS. Bookman. 1006.

GILAT, Amos. **MATLAB com aplicações em engenharia**. 2. ed. Porto Alegre. Bookman. 2006.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>> Acesso em: Jun. 2017.

LARSON, Ron; FARBER, Betsy. **Estatística Aplicada**. 4ª ed. São Paulo, SP. Pearson Prentice Hall, 2010.

LIMA, Francisco José Lopes de; CVALCANTI, Enilson Palmeira; SOUZA, Enio Pereira de. **Avaliação do potencial eólico em cinco regiões do estado da Paraíba**. Revista de Geografia. Recife. v. 27, n. 1, jan/mar. 2010.

LOPES, Ricardo Aldabó. **Energia Eólica**. 2ª ed. São Paulo, SP. Artliber Editora., 2012.

MATHWORKS®. **Creating Graphical User Interfaces - R2015b**. 2015. 502p.

MATHWORKS®. **MATLAB Central**. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/>> Acesso em: Jun. 2017.

MATLAB. Version 8.0.0.783 R2012b. The Mathworks, Inc. August, 2012. Disponível em: <<http://www.mathworks.com>>.

MICROSOFT® Excel® 2013. Version 15.0.4420.1017. Microsoft Corporation, Inc. 2013.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro, RJ. LTC. 2014.

RIBEIRO, I. S., RODRIGUES, M. C., PINHEIRO, A. U. P., **Desenvolvimento de Interface Gráfica para o Modelo de Monitoramento da Integridade Estrutural de Hastes de**

**Bombeio (BCP) para Poços de Petróleo Onshore.** In: XVII Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos, 2008, 10 p., junho, São PauloSP

SANTOS, Romeu José Correia dos. **Ferramenta computacional de modelação do desempenho de painéis fotovoltaicos.** 2011. 104. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electromecânica) - Departamento de Engenharia Electromecânica, Universidade da Beira Interior. 2011.

SILVA, E. M.CAVALCANTE, F. S. A.LIRA, M. A. T.. **Estimativas da Velocidade do Vento em Altitude Usando o Software Windographer®.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Física) - Universidade Estadual do Ceará.

SILVA, Juliane Kayse Albuquerque da Silva. **Caracterização do vento e estimativa do potencial eólico para a região de tabuleiros costeiros (PILAR, ALAGOAS).** 2007. 84f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. 2007.

## APÊNDICE A

```

%% ROSA DOS VENTOS

dadosVB = importdata('NomeDoArquivo.txt'); %Dados dados de ventos brutos
dadosD = dadosVB.data(:,2);

%dadosDr; %dados de direção em radiano
d = 0; %variável auxiliar para os casos de '0' e '99'

%%converte p/ radianos
for i=1:length(dadosD)
    if dadosD(i) == 1 || dadosD(i) == 2 || dadosD(i) == 3 || dadosD(i) == 4
        dadosDr(i-d) = 1.178097245;
    elseif dadosD(i) == 5 || dadosD(i) == 6
        dadosDr(i-d) = 0.785398163;
    elseif dadosD(i) == 7 || dadosD(i) == 8
        dadosDr(i-d) = 0.392699082;
    elseif dadosD(i) == 9 || dadosD(i) == 10
        dadosDr(i-d) = 0;
    elseif dadosD(i) == 11 || dadosD(i) == 12 || dadosD(i) == 13
        dadosDr(i-d) = 5.890486225;
    elseif dadosD(i) == 14 || dadosD(i) == 15
        dadosDr(i-d) = 5.497787144;
    elseif dadosD(i) == 16 || dadosD(i) == 17
        dadosDr(i-d) = 5.105088062;
    elseif dadosD(i) == 18 || dadosD(i) == 19
        dadosDr(i-d) = 4.71238898;
    elseif dadosD(i) == 20 || dadosD(i) == 21 || dadosD(i) == 22
        dadosDr(i-d) = 4.319689899;
    elseif dadosD(i) == 23 || dadosD(i) == 24
        dadosDr(i-d) = 3.926990817;
    elseif dadosD(i) == 25 || dadosD(i) == 26
        dadosDr(i-d) = 3.534291735;
    elseif dadosD(i) == 27 || dadosD(i) == 28
        dadosDr(i-d) = 3.141592654;
    elseif dadosD(i) == 29 || dadosD(i) == 30 || dadosD(i) == 31
        dadosDr(i-d) = 2.748893572;
    elseif dadosD(i) == 32 || dadosD(i) == 33
        dadosDr(i-d) = 2.35619449;
    elseif dadosD(i) == 34 || dadosD(i) == 35
        dadosDr(i-d) = 1.963495408;
    elseif dadosD(i) == 36
        dadosDr(i-d) = 1.570796327;
    elseif dadosD(i) == 0 || dadosD(i) == 99
        d = d + 1;
    end
end

rose(dadosDr);

```

```

%% FREQUÊNCIA ACUMULADA

%Calcula as classes de velocidade
valMin = min(dadosV); %Menor valor da série de dados
valMax = max(dadosV); %Maior valor da série de dados
amp = valMax - valMin; %amplitude da série

nc = 5; %número de classes.
tamC = amp/nc; %Tamanho da classe

%inicializar vetores
for i = 1:nc
    C(i)=0; %frequencia de cada classe
    Cac(i)=0; %frequencia acumulada
    LimSupC(i)=0; %Limite superior de cada classe
    CacR(i)=0; %frequencia relativa de cada classe
end

%Constroi as classes
for i = 1:length(dadosV)
    for j = 1:nc
        if dadosV(i)>=(valMin+tamC*(j-1)) && dadosV(i)<(valMin+tamC*j)
            C(j) = C(j)+1;
        end
    end
end
C(nc) = C(nc)+1; %Adiciona 1 a frequencia da ultima classe

% Cria o vetor de frequencia acumulada
for i = 1:nc
    if i == 1
        Cac(i) = C(i);
    elseif i>=2 && i<=nc
        Cac(i) = Cac(i-1) + C(i);
    end
end
keyboard;
%cria o vetor de frequencia acumulada relativa
for i = 1:nc
    CacR(i) = (Cac(i)*100)/sum(C);
end

% Cria o vetor com os valores dos limites superiores das classes
for i = 1:nc
    LimSupC(i) = tamC*i;
end

bar(LimSupC, CacR);
grid;

```

```

%% VARIAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA

% Importa os dados
dV = importdata('NomeDoArquivo.txt');
dadosV = dV.data(:,2); % dados de velocidade do vento.
dadosD = dV.textdata(18:length(dV.textdata),2); % dados de data de cada
velocidade correspondente

% Variáveis de entrada
varmed = 'm'; %Tipo de variação escolhida. Pode ser Mensal (m) ou Anual (a)

% Processamento dos dados

%Cálculo aproximado das faixas de temp
% Calcula a quantidade de anos
anoAtual = char(dadosD(1));
anoAtual = str2double(anoAtual(7:10));
quantAnos = 1;
for i=1:length(dadosV)
    VarAuxD1 = char(dadosD(i));
    VarAuxD1 = str2double(VarAuxD1(7:10)); % (4:5) -> referencia o
ano
    if VarAuxD1 ~= anoAtual
        quantAnos = quantAnos + 1;
        anoAtual = VarAuxD1;
    end
end

if varmed == 'm' % Tipo de variação m (Mensal)
    VarAuxD1 = 0; % Variável auxiliar de data
    nummes = 1;
    mesesvalidos = 0;
    %Separa os valores de velocidade por mês
    for j=1:12 %12 meses
        for i=1:length(dadosV)
            VarAuxD1 = char(dadosD(i));
            VarAuxD1 = str2double(VarAuxD1(4:5)); % (4:5) ->
referencia o mês
            if VarAuxD1 == nummes
                VelocidadeMeses(j,i) = dadosV(i);
            else
                VelocidadeMeses(j,i) = 9999;
            end
        end
        end
        nummes = nummes+1;
    end
    %Calcula a média de cada mês
    for j=1:12
        valoresmes = VelocidadeMeses(j,:);
        valoresmes(find(valoresmes==9999)) = [];
        MediaMes(j) = mean(valoresmes);
        if MediaMes(j)>0
            mesesvalidos = mesesvalidos + 1;
        end
    end

    %Cria o vetor definitivo somente com as médias (Cria um vetor
que não tenha nenhum valor 'NaN')

```

```

z = 1;
for j=1:12
    if MediaMes(j)>0
        MediaMesPlotar(z) = MediaMes(j);
        z = z + 1;
    end
end
%Cria a matriz com os meses da série de dados
mesqmedia = find(MediaMes>0); %Encontra os meses que tem média
/ retorna os índices
for i=1:mesesvalidos
    if mesqmedia(i) == 1
        meseseixo(i,:) = 'Jan'
    elseif mesqmedia(i) == 2
        meseseixo(i,:) = 'Fev';
    elseif mesqmedia(i) == 3
        meseseixo(i,:) = 'Mar';
    elseif mesqmedia(i) == 4
        meseseixo(i,:) = 'Abr';
    elseif mesqmedia(i) == 5
        meseseixo(i,:) = 'Mai';
    elseif mesqmedia(i) == 6
        meseseixo(i,:) = 'Jun';
    elseif mesqmedia(i) == 7
        meseseixo(i,:) = 'Jul';
    elseif mesqmedia(i) == 8
        meseseixo(i,:) = 'Ago';
    elseif mesqmedia(i) == 9
        meseseixo(i,:) = 'Set';
    elseif mesqmedia(i) == 10
        meseseixo(i,:) = 'Out';
    elseif mesqmedia(i) == 11
        meseseixo(i,:) = 'Nov';
    elseif mesqmedia(i) == 12
        meseseixo(i,:) = 'Dez';
    end
end

%Atribui o valor 'NaN' aos meses que não foram encontrados na
série de dados
if mesesvalidos<12
    meseseixo((mesesvalidos+1):12,:) = NaN;
end
%Plota a média com seu respectivo mês no eixo :)
plot(MediaMesPlotar,'o','markersize', 12, 'markerface','r');
set(gca,'Xtick',1:1:mesesvalidos); %Atribui ao eixo a
quantidade de meses da série. (somente número inteiros)
set(gca,'XtickLabel',
{meseseixo(1,:),meseseixo(2,:),meseseixo(3,:),meseseixo(4,:),meseseixo(5,:)
,meseseixo(6,:),meseseixo(7,:),meseseixo(8,:),meseseixo(9,:),meseseixo(10,:)
},meseseixo(11,:),meseseixo(12,:));grid;
end

if varmed == 'a' % Tipo de variação a (Anual)
%Separa os valores de velocidade por Ano
anoAtual = char(dadosD(1));
anoAtual = str2double(anoAtual(7:10));
for j=1:quantAnos
    for i=1:length(dadosV)

```

```

        VarAuxD1 = char(dadosD(i));
        VarAuxD1 = str2double(VarAuxD1(7:10)); %(4:5) ->
referencia o ano
        if VarAuxD1 == anoAtual
            VelocidadeAno(j,i) = dadosV(i);
        else
            VelocidadeAno(j,i) = 9999;
        end
    end
    anoAtual = anoAtual + 1;
end
% Calcula a média de cada Ano
for j=1:quantAnos
    valoresAno = VelocidadeAno(j,:);
    valoresAno(find(valoresAno==9999)) = [];
    MediaAno(j) = mean(valoresAno);
%    disp(length(valoresAno));
end
plot(MediaAno,'o','markersize', 8, 'markerface','r'); grid;
end

%% DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

dadosV(find(dadosV==0)) = [];
pd = fitdist(dadosV,'Weibull')
weib = pdf('Weibull',dadosV, pd.A,pd.B);

[dadosV_ord,I] = sort(dadosV);

for j = 1:length(I)
    weib_ord(j) = weib(I(j));
end
figure;
subplot(2,1,1);
plot(dadosV,weib);
keyboard;
subplot(2,1,2);
plot(dadosV_ord,weib_ord);

%% CURVA DE POTÊNCIA
j=1;
for i=1:1:10
    potencia(j) = (0.5)*1.225*(i^3);
    velocidade(j) = i;
    j = j + 1;
end

% plota o gráfico
figure; plot(velocidade,potencia);
hold on
plot(5,76.5625,'*', 'MarkerSize', 10); grid;

```