

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS – DEPARTAMENTO DA COMPUTAÇÃO –**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**Leonel Lorca Biolcati**

**Desenvolvimento de um sistema de simulação de geração de energia eólica e análise de  
eficiência para a região de Bauru/SP**

**Bauru**  
**2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS – DEPARTAMENTO DA COMPUTAÇÃO –**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

Leonel Lorca Biolcati

Desenvolvimento de um sistema de simulação de geração de energia eólica e análise de  
eficiência para a região de Bauru/SP

Trabalho de Conclusão de Curso do  
Curso de Ciência da Computação da  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências,  
Campus Bauru.

Orientador: Professor Doutor João  
Eduardo Machado Perea Martins

Bauru  
2024

B615d

Biolcati, Leonel Lorca

Desenvolvimento de um sistema de simulação de geração de energia eólica e análise de eficiência para a região de Bauru/SP / Leonel Lorca Biolcati. -- Bauru, 2024

78 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciência da Computação) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru

Orientador: João Eduardo Machado Perea Martins

1. Turbina eólica. 2. Potencial elétrico. 3. Simulação por computador. 4. Energia eólica. I. Título.

Leonel Lorca Biolcati

Desenvolvimento de um sistema de simulação de geração de energia eólica e análise  
de eficiência para a região de Bauru/SP

Trabalho de Conclusão de Curso do  
Curso de Ciência da Computação da  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de  
Mesquita Filho", Faculdade de Ciências,  
Campus Bauru.

Banca Examinadora

---

**Prof. Dr. João Eduardo Machado Perea Martins**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" de Bauru  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Ciência da Computação

---

**Profa. Dra. Simone das Graças Domingues Prado**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" de Bauru  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Ciência da Computação

---

**Prof. Dr. Rogério Zanarde Barbosa**

Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos  
Faculdade de Ensino Superior e Formação Integral de Garça

Bauru, 11 de novembro de 2024.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à UNESP pela oportunidade de estar na Faculdade de Ciências da computação, podendo aprender conteúdos e conceitos com professores que maximizam meu interesse e esforço pela área, fazendo me esforçar em ser um melhor programador sempre.

Agradeço especialmente meu orientador João Eduardo Machado Perea Martins, que me ensinou sobre a área de simulação computacional, me deu a confiança em me esforçar ao máximo no desenvolvimento deste projeto, sempre entendendo as dificuldades que passava por conta de meus compromissos com o estágio e afins, demonstrando paciência e reforçando sua confiança em mim.

Agradeço muito também meus pais, que sempre mostraram interesse e suporte nas coisas que eu queria aprender, desenvolver e fazer, mesmo estes sendo tão diferentes de sua área de trabalho. Agradeço muito pela paciência comigo em meus momentos de incerteza e medo, mostrando que posso sim confiar em mim mesmo para dar o meu melhor.

Sou extremamente grato pela Rhayssa Yuki Ishii Godoi que sempre estará perto do meu coração, por seu carinho, amor e apoio sem fim. Seu amor e atenção tornou os dias mais difíceis melhores. Meu tempo em Bauru e na faculdade foram incrivelmente brilhantes e especiais por causa de você. Você é a minha luz, sempre.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer meus amigos mais próximos que fiz durante meu tempo nesta faculdade, um grupo carinhosamente apelidado de “Caosnesp”. Todos vocês são incríveis e nossos tempos juntos vão ser valorizados pro resto da minha vida.

“Be strong enough to be gentle.”  
- Capitão H. L. “Larry” Cullen

## RESUMO

A energia eólica é um dos tipos de energia limpa que continua a ser fortemente desenvolvido e cresce no mercado energético atual, porém um aspecto importante desta tecnologia é que sua instalação deve ser feita em locais apropriados para que os sistemas possam funcionar eficientemente. Para isso, neste trabalho foi desenvolvido um programa na plataforma *Mathematical Laboratory*, ou MATLAB, para simular a geração de energia de uma turbina eólica, com base em seus parâmetros e dados meteorológicos relevantes para um sistema ideal que ainda considera valores possíveis do coeficiente de potência da Lei de Betz. Os resultados permitem uma análise da eficiência de um aerogerador dentro da região dos dados usados, assim o estudo da capacidade e aplicação desta forma de geração de energia pode ser mais facilmente explorado, considerado ou desconsiderado.

**Palavras chave:** Turbina eólica, potencial elétrico, simulação por computador e energia eólica.

## **ABSTRACT**

Wind energy is one of the kinds of clean energy that continues to be strongly developed and continues to grow in the current energy market, but an important aspect of this technology is its installation which must be made in appropriate locations so its systems may function efficiently. For that, in this work it was developed a program in the Mathematical Laboratory, or MATLAB, platform to simulate the energy production of a wind turbine, using it's parameters and relevant meteorological data as a base for an ideal system that still considers possible values for the potency coefficient known as the Betz's Law. The results allow an efficient analysis of a wind generator within the region of the data that was used, that way the study of capacity and application of this form of energy production can be more easily explored, considered or disregarded.

**Key words:** Wind turbine, electric potential, computer simulation and wind energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do Brasil com o fluxo de potência eólica anual.....	20
Figura 2: Gráfico de energia total de cada mês do ano 1997 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 4.159.594,77 MJ.....	29
Figura 3: Gráfico de energia total de cada mês do ano 1997 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 5.942.278,25 MJ.....	29
Figura 4: Gráfico de energia total de cada mês do ano 1998 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.924.381,46 MJ.....	29
Figura 5: Gráfico de energia total de cada mês do ano 1998 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 5.606.259,23 MJ.....	29
Figura 6: Gráfico de energia total de cada mês do ano 1999 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.409.710,13 MJ.....	29
Figura 7: Gráfico de energia total de cada mês do ano 1999 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 4.871.014,47 MJ.....	29
Figura 8: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2000 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.543.094,81 MJ.....	30
Figura 9: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2000 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.632.992,58 MJ.....	30
Figura 10: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2001 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.632.124,36 MJ.....	30
Figura 11: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2001 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.760.177,66 MJ.....	30
Figura 12: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2002 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.881.418,46 MJ.....	30
Figura 13: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2002 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.687.740,66 MJ.....	30
Figura 14: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2003 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.881.841,20 MJ.....	31
Figura 15: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2003 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.688.344,57 MJ.....	31
Figura 16: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2004 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.886.108,75 MJ.....	31
Figura 17: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2004 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 5.551.583,92 MJ.....	31
Figura 18: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2005 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.457.452,65 MJ.....	31
Figura 19: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2005 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 4.939.218,07 MJ.....	31
Figura 20: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2006 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.738.779,51 MJ.....	32
Figura 21: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2006 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.912.542,16 MJ.....	32
Figura 22: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2007 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.842.054,70 MJ.....	32
Figura 23: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2007 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 4.060.078,14 MJ.....	32
Figura 24: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2008 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.581.288,48 MJ.....	32

Figura 25: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2008 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.687.554,97 MJ.....	32
Figura 26: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2009 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.368.803,01 MJ.....	33
Figura 27: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2009 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.384.004,30 MJ.....	33
Figura 28: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2010 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.695.888,91 MJ.....	33
Figura 29: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2010 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.851.269,87 MJ.....	33
Figura 30: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2011 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.737.212,44 MJ.....	33
Figura 31: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2011 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.910.303,48 MJ.....	33
Figura 32: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2012 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.345.799,14 MJ.....	34
Figura 33: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2012 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.351.141,62 MJ.....	34
Figura 34: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2013 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.526.582,44 MJ.....	34
Figura 35: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2013 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.609.403,49 MJ.....	34
Figura 36: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2014 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.543.616,89 MJ.....	34
Figura 37 Gráfico de energia total de cada mês do ano 2014 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.633.738,42 MJ.....	34
Figura 38: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2015 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 1.767.726,71 MJ.....	35
Figura 39: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2015 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.525.323,88 MJ.....	35
Figura 40: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2016 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.146.353,01 MJ.....	35
Figura 41: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2016 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.066.218,59 MJ.....	35
Figura 42: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2017 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.105.470,59 MJ.....	35
Figura 43: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2017 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 3.007.815,13 MJ.....	35
Figura 44: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2018 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 1.912.543,54 MJ.....	36
Figura 45: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2018 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.732.205,05 MJ.....	36
Figura 46: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2019 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 1.880.484,66 MJ.....	36
Figura 47: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2019 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.686.406,66 MJ.....	36
Figura 48: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2020 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 300.652,59 MJ.....	36
Figura 49: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2020 para coeficiente de potência 50%.	

Energia gerada no ano inteiro: 429.503,71 MJ.....	36
Figura 50: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2021 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 1.963.369,55 MJ.....	37
Figura 51: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2021 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.804.813,65 MJ.....	37
Figura 52: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2022 para coeficiente de potência 35%.	
Energia gerada no ano inteiro: 1.897.478,14 MJ.....	37
Figura 53: Gráfico de energia total de cada mês do ano 2022 para coeficiente de potência 50%.	
Energia gerada no ano inteiro: 2.710.683,06 MJ.....	37
Figura 54: Gráfico de energia total gerada no mês de Janeiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	39
Figura 55: Gráfico de energia total gerada no mês de Janeiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	39
Figura 56: Gráfico de energia total gerada no mês de Fevereiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	39
Figura 57: Gráfico de energia total gerada no mês de Fevereiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	39
Figura 58: Gráfico de energia total gerada no mês Março em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	40
Figura 59: Gráfico de energia total gerada no mês Março em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	40
Figura 60: Gráfico de energia total gerada no mês Abril em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	40
Figura 61: Gráfico de energia total gerada no mês Abril em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	40
Figura 62: Gráfico de energia total gerada no mês Maio em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	41
Figura 63: Gráfico de energia total gerada no mês Maio em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	41
Figura 64: Gráfico de energia total gerada no mês Junho em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	41
Figura 65: Gráfico de energia total gerada no mês Junho em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	41
Figura 66: Gráfico de energia total gerada no mês Julho em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	42
Figura 67: Gráfico de energia total gerada no mês Julho em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	42
Figura 68: Gráfico de energia total gerada no mês Agosto em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	42
Figura 69: Gráfico de energia total gerada no mês Agosto em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	42
Figura 70: Gráfico de energia total gerada no mês Setembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	43
Figura 71: Gráfico de energia total gerada no mês Setembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	43
Figura 72: Gráfico de energia total gerada no mês Outubro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	43
Figura 73: Gráfico de energia total gerada no mês Outubro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	43

Figura 74: Gráfico de energia total gerada no mês Novembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	44
Figura 75: Gráfico de energia total gerada no mês Novembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	44
Figura 76: Gráfico de energia total gerada no mês Dezembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.....	44
Figura 77: Gráfico de energia total gerada no mês Dezembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.....	44
Figura 78: Gráfico de potência média gerada de todos os gráficos para coeficiente de potência em 35%.....	45
Figura 79: Gráfico de potência média gerada de todos os gráficos para coeficiente de potência em 50%.....	45

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Tabela de classificação de rugosidade com comprimento, index de energia e tipo de terreno para fórmula de cisalhamento de vento.....	25
Tabela 2: Dados de medida de posição e dispersão do potencial de energia eólico gerado para um Coeficiente de Potência de 35%.....	46
Tabela 3: Dados de medida de posição e dispersão do potencial de energia eólico gerado para um Coeficiente de Potência de 50%.....	46
Tabela 4: Tabela com o valor médio de energia gerada em cada um dos meses, a quantidade de casas que podem ser supridas com tal média e a porcentagem em relação com a cidade de Bauru para um Coeficiente de Potência de 35%.....	48
Tabela 5: Tabela com o valor médio de energia gerada em cada um dos meses, a quantidade de casas que podem ser supridas com tal média e a porcentagem em relação com a cidade de Bauru para um Coeficiente de Potência de 50%.....	49

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Fórmula de potência total eólica.....	22
Equação 2: Fórmula alterada de potência total eólica para energia elétrica.....	22
Equação 3: Fórmula de cisalhamento de vento.....	24

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IPMET Instituto de Pesquisas Meteorológicas

MATLAB *Matrix Laboratory*

MJ Megajoules

kWh Kilowatts-por-hora

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Modelo matemático para simulação.....</b>	<b>22</b>
2.1.1. Potência Total (Pt).....	23
2.1.2. Energia Total (Et).....	23
2.1.3. Densidade do Ar ( $\rho$ ).....	23
2.1.4. Área da circunferência ( $A = \pi * Raio^2$ ).....	23
2.1.5. Coeficiente de Potência ( $C_p$ ).....	23
2.1.6. Velocidade do Vento ( $V_v$ ).....	24
2.1.7. Velocidade de referência ( $V_{ref}$ ).....	24
2.1.8. Altura esperada ( $z$ ).....	24
2.1.9. Altura de referência ( $z_{ref}$ ).....	24
2.1.10. Valor de rugosidade ( $z_0$ ).....	25
<b>2.2. Conjunto de dados meteorológicos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3. Modelo de turbina: Enercon E53/800.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4. Programa de processamento de tabela.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5. Programa para geração de resultados.....</b>	<b>27</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
3.1. Gráficos de energia gerada em cada mês anuais.....	28
3.2. Gráficos de comparação de energia gerada mensalmente.....	38
3.3. Gráficos e tabela para média total de energia gerada.....	45
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>54</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>58</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

A diversificação da matriz elétrica, junto da diminuição no uso de energias vindas de combustíveis fósseis, é um ponto discutido muito globalmente, devido à importância de proteger o planeta como também reforçar as matrizes energéticas para que não ocorram falhas ou blackouts que comprometam a vivência das pessoas e cidades. O Brasil é um país cuja matriz elétrica já é diversificada (ALVES, 2010)(ARGENTINO E BEPPU, 2007), mas apresenta uma composição onde 61,9%, é hidráulica (BRASIL, 2023), uma fonte de energia limpa e renovável. Para o desenvolvimento contínuo do país é necessária a continuação desta diversificação que traz um aumento na quantidade geral de eletricidade que pode ser usada pelo país. Uma fonte de energia limpa e renovável como resposta para este possível aumento é a energia eólica, vinda de aerogeradores, modelos de turbinas atuais são eficientes o bastante para competir com outros geradores de energia, possibilitando o uso no Brasil com esse aumento em viabilidade (ARGENTINO E BEPPU, 2007).

Atualmente a matriz elétrica do Brasil apresenta uma presença de 11,8% da energia eólica, esse percentual é o segundo maior e comprova a viabilidade desta tecnologia no país (BRASIL, 2023). A implementação de aerogeradores, no entanto, é cara e precisa passar por análises para que esta realmente seja interessante na região de instalação. A maior fonte de informações sobre energia eólica no Brasil vem de acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de Amarante et al (2001), com tais dados a visualização de regiões viáveis se torna mais fácil, porém existe a falta de um teste que mostre a quantidade de energia possível, sendo ela nula ou não.

A humanidade utiliza a energia dos ventos há muito tempo, com um de seus possíveis primeiros usos registrados no ano 3.000 a.C pelo povo egípcio na propulsão de barcos à vela. Já a tecnologia de moinhos de vento em si tem seu início na moagem de grãos e bombeamento de água, criados na Pérsia durante o século V (BRIESCH, 2016). A turbina eólica para produção de energia começou a ser desenvolvida no final do século XVIII em diferentes países, porém o primeiro aerogerador foi construído por Josef Friedländer em 1883 na Áustria (WWEA, 2023). Desde então essa tecnologia continua sendo desenvolvida e melhorada até os tempos atuais, onde energia limpa é um objetivo cada vez mais procurado.

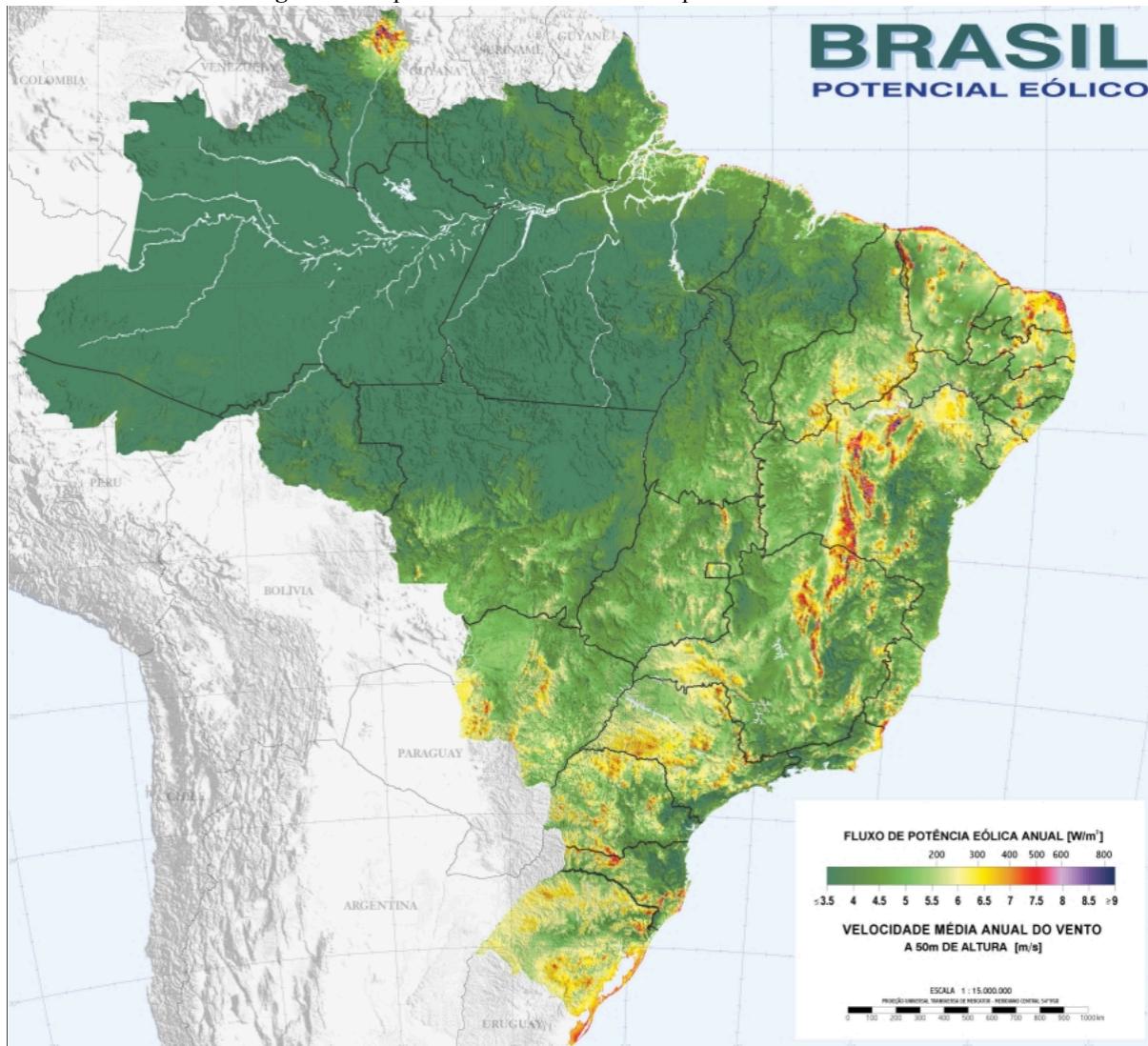
Moinhos de vento são agora reconhecidos como uma das tecnologias renováveis mais promissoras, mesmo considerando seu possível impacto social e ambiental. Os primeiros aerogeradores eram capazes de somente gerar de 30 até 55 kW, enquanto modelos mais novos conseguem gerar 2 MW, sendo eles instalados em fazendas eólicas com dezenas de outras turbinas iguais. Durante o ano de 2006, o potencial elétrico total da energia eólica alcançou

74223 MW, esses dados mostram que, no começo do século XXI, a energia eólica já se demonstrou forte e capaz de atender requisitos energéticos (MARTINS et al, 2008). Mesmo com a crise econômica global, dados mostram que a energia eólica no Brasil continuou a se expandir e que ainda demonstra muito potencial não explorado (SAMPAIO e BATISTA, 2021).

Utilizando o atlas eólico brasileiro e sua figura de fluxo de potência eólica anual, é possível concluir que as melhores localizações para a instalação de parques eólicos e turbinas eólicas são para as regiões litorâneas nas costas do nordeste e do Rio Grande do Sul do Brasil, especificamente nas regiões de Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará para o nordeste. Enquanto isso, nas regiões internas do país existem duas áreas interessantes: a região ao norte de Boa Vista, Roraima e uma linha que se inicia no norte da Bahia até Minas Gerais.

Na região de São Paulo como um todo, a costa e o norte do estado apresentam uma capacidade eólica baixa, mas o centro e a área próxima da fronteira dividida com o Paraná demonstram uma capacidade média, usando a legenda do mapa como referência. Devido a esse possível desempenho maior presente no centro do estado de São Paulo e a facilidade de acesso a dados meteorológicos da região a partir do Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Estadual Paulista de Bauru, a região da cidade será usada como base para os testes e seus dados resultantes feitos neste projeto.

**Figura 1:** Mapa do Brasil com o fluxo de potência eólica anual.



**Fonte:** Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001 (AMARANTE, 2001).

Estudos referentes a energia eólica, sua simulação e o desenvolvimento de modelos matemáticos para melhor definir a geração de energia potencial de aerogeradores. O artigo “Simulador didático para estudo de controle de potência de turbinas eólicas” trabalha similarmente a este projeto desenvolvendo um programa que utiliza os modelos matemáticos de turbinas eólicas para o potencial elétrico, desenvolvendo também no MATLAB um aplicativo que permite a alteração de diversos parâmetros, para poder simular os resultados da eficiência, potência e capacidades de um aerogerador imaginário ou de algum modelo real. O trabalho, diferentemente deste projeto, utiliza o coeficiente da Lei de Betz como uma variável e as possíveis variações dos ângulos de ataque das pás que esta consideração traz (SOUZA E LEMOS, 2022).

Outro trabalho recentemente feito é o artigo “Modelagem e Simulação de um Aerogerador com Gerador de Indução Duplamente Alimentado e Controle de Velocidade para Maximização da Potência Gerada” que trata de uma visão mais aprofundada no modelo para a geração de energia eólica ao considerar o gerador de indução e outros componentes internos necessários na transformação da energia cinética das pás para a energia elétrica final, assim o modelo e simulação é mais realista não apresentando mudanças ou considerações para um sistema ideal. Os resultados deste trabalho são focados na curva de potência da turbina eólica para o coeficiente de Betz, velocidade de rotor e potência elétrica geradas em uma simulação dinâmica do modelo como um todo (RAMOS et al, 2021).

O projeto desta monografia, procura fazer uma simulação próxima das feitas nestes outros trabalhos, mas com um foco para um sistema ideal que desconsidera os sistemas internos e a variabilidade do coeficiente de potência da Lei de Betz, assim desenvolvendo o estudo de uma maneira diferente.

A partir do que foi estabelecido, o objetivo deste trabalho é desenvolver um programa na plataforma MATLAB capaz de simular a geração de energia, o potencial eólico ideal, de turbinas eólicas na cidade de Bauru, São Paulo, a partir de dados meteorológicos e os parâmetros de um aerogerador.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são descritos aspectos importantes que tornaram possível o desenvolvimento do projeto, assim como a maneira que os programas criados para o projeto funcionam em si.

### 2.1. Modelo matemático para simulação

Uma simulação correta do potencial eólico elétrico gerado por uma turbina qualquer é necessária à aplicação de um modelo matemático que corretamente representa o fenômeno. Com este intuito, a melhor fórmula encontrada foi utilizada também no trabalho de Junior et al (2020), que trata da utilização de modelos matemáticos para uma simulação no MATLAB para auxiliar no aprendizado de sistemas de controle. A função matemática é fornecida pela equação 1:

**Equação 1:** Fórmula de potência total eólica.

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot V_v^3$$

No entanto, com o intuito de simular a energia que uma turbina ideal teórica geraria, foi necessário fazer dois ajustes ao adicionar o período de tempo de cada uma das entradas de dados e dividir o resultado por 100.000. Sobre o período de tempo, que é explicado melhor na seção 3.2, é adicionado um valor de 300 segundos para que os 5 minutos do período de tempo sejam considerados. A seguir, serão descritos o que cada uma das variáveis representa e como tais serão usadas no programa principal que executa tal função para a criação dos resultados, junto da nova equação 2 resultante dos ajustes necessários:

**Equação 2:** Fórmula alterada de potência total eólica para energia elétrica.

$$E_t = \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p(\lambda, \beta) \cdot V_v^3 \cdot 300}{1.000.000}$$

### 2.1.1. Potência Total ( $P_t$ )

Esta variável representa a potência total, ou seja, todo o potencial eólico que é gerado em um instante. Este resultado é representado em um valor de Watts.

### 2.1.2. Energia Total ( $E_t$ )

Esta variável representa a energia gerada total, ou seja, toda a energia elétrica que é gerada em um período de 5 minutos, no caso dos dados utilizados. Este resultado é representado em um valor de Megajoules, devido à conversão feita utilizando a divisão por 1.000.000.

### 2.1.3. Densidade do Ar ( $\rho$ )

A variável de densidade do ar, representada pela letra grega  $\rho$ , é calculada a partir da divisão da pressão atmosférica pelo resultado da multiplicação da constante de gás específico e temperatura absoluta. Medida em quilogramas por metros cúbicos, o valor normalmente atribuído é 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.1.4. Área da circunferência ( $A = \pi * Raio^2$ )

A área da circunferência é encontrada a partir da multiplicação de pi com raio elevado ao quadrado, onde o raio é o tamanho das pás da turbina eólica. No caso deste projeto, o valor da área e do raio serão dados em metros quadrados e metros, respectivamente, enquanto o valor da letra  $\pi$  é o valor padrão de 3,14.

### 2.1.5. Coeficiente de Potência ( $C_p$ )

A geração de energia eólica a partir de aerogeradores é limitada devido à Lei de Betz, um coeficiente calculado pelo físico Albert Betz que conclui que uma turbina ideal seria capaz de converter somente 59,3% de energia do vento em seu máximo (Briesch, 2016). Este valor do limite é apenas para valores ideais e teóricos, devido isso, com o intuito de fazer um estudo diferenciado e considerando os valores deste coeficiente que ocorrem nos aerogeradores modernos, foram utilizadas duas porcentagem diferentes para este estudo, 35% e 50%, assim pode ser calculado os resultados de uma máquina teórica com pouca eficiência e outra com uma eficiência muito próxima do Limite de Betz ideal.

### 2.1.6. Velocidade do Vento ( $V_v$ )

Vento é o principal componente para o funcionamento de um aerogerador, sem uma rajada de vento com um valor mínimo de velocidade que é definido de acordo com o modelo da turbina, dado em metros por segundo, o sistema inteiro não funciona e nenhuma energia é gerada. Os vários dados de velocidade do vento têm grande variedade, podendo ser altos ou baixos dependendo da localização e aspectos meteorológicos da região escolhida, na próxima seção são explicados quais são os dados selecionados e como estes são organizados.

Um fator importante da velocidade do vento é que seu valor aumenta à medida que a altura aumenta, devido à diferença de altura considerável entre o eixo de um aerogerador e o anemômetro utilizado para a geração de dados meteorológicos, que normalmente está no padrão de 10 metros, é necessária a aplicação da equação 3 (RENSMART, 2003):

**Equação 3:** Fórmula de cisalhamento de vento.

$$V_v = V_{ref} * (\ln(z/z_0) / \ln(z_{ref}/z_0))$$

### 2.1.7. Velocidade de referência ( $V_{ref}$ )

Esta variável é a velocidade de vento em metros por segundo conhecida, adquirida através de uma simulação ou um anemômetro.

### 2.1.8. Altura esperada (z)

A altura esperada, dada em metros, tem o valor que for necessário para o resultado, no caso da simulação da produção de energia eólica é a altura do eixo de um aerogerador, que no caso deste trabalho terá um valor de 73 metros, devido ao modelo de turbina utilizado, explicado na seção 2.3.

### 2.1.9. Altura de referência ( $z_{ref}$ )

Esta é a altura do equipamento ou dado de velocidade do vento conhecido, que no caso deste projeto será 10 metros, o padrão de altura para anemômetros, melhor explicado na seção 2.2.

### 2.1.10. Valor de rugosidade ( $z_0$ )

O valor de rugosidade é um comprimento, dado em metros, referindo ao tipo de terreno por onde os ventos passam. O valor pode ser adquirido a partir da tabela 1 abaixo, mas para este projeto foi escolhido o valor de 1.6, por ser o valor mais realista para a região de Bauru.

**Tabela 1:** Tabela de classificação de rugosidade com comprimento, index de energia e tipo de terreno para fórmula de cisalhamento de vento.

Classe de Rugosidade	Comprimento de Rugosidade m	Index de Energia %	Tipo de Terreno
0	0,0002	100	Superfície da água.
0.5	0,0024	73	Terreno plano limpo.
1	0,03	52	Área agrícola de planícies e construções esparsas.
1.5	0,055	45	Área agrícola com algumas casas. Distância aproximada de 1250 metros.
2	0,1	39	Área agrícola com muitas casas e plantas. Distância aproximada de 500 metros.
2.5	0,2	31	Área agrícola com muitas casas e plantas. Distância aproximada de 250 metros.
3	0,4	24	Vilas, cidades pequenas e florestas com terrenos desnivelados.
3.5	0,8	18	Cidades maiores com prédios.
4	1.6	13	Cidades grandes com prédios e arranha céus.

**Fonte:** Documentação da fórmula de cisalhamento de vento (RENSMART, 2003).

## 2.2. Conjunto de dados meteorológicos

O conjunto de dados meteorológicos utilizados no projeto, que foram disponibilizados pelo IPMET da Universidade Estadual Paulista de Bauru a partir do modelo de anemômetro 05106 da marca Young na altura padrão de 10 metros, é organizado em dias julianos e horários com periodicidade de 5 minutos, possuindo vários dados como temperatura média, máxima e mínima, pressão atmosférica, velocidade do vento média, máxima e mínima, direção do vento, desvio da direção do vento, umidade relativa, radiação solar global e precipitação acumulada. Dos dados presentes, somente foram usados os seguintes dados: dia

juliano, horário e velocidade de vento médio. Fazendo uma observação básica dos dados, descobriu-se que existe uma falta de entradas grande em alguns períodos de tempo: em Janeiro, Fevereiro, Maio e Junho do ano de 2000 existem somente algumas entradas de dados ou nenhuma no caso de Maio. Enquanto isso, no ano de 2002, o mês de Setembro não possui dados e Outubro apresenta poucas entradas. Por último, no ano de 2020, existem somente entradas para os primeiros três meses do ano, provavelmente devido à pandemia inesperada do COVID-19 interferindo no armazenamento destes dados.

### 2.3. Modelo de turbina: Enercon E53/800

A Enercon E-53 800,0 kW foi produzida pela Enercon, uma produtora alemã de turbinas eólicas que está ativa desde 1984. Este aerogerador possui um potencial elétrico avaliado em 800 kW com o mínimo de velocidade de vento sendo 3 metros por segundo e seu máximo aceitável sendo 34 metros por segundo, a velocidade mais eficiente é de 12 metros por segundo, onde outros valores acima não causam um aumento de produção energética. O tamanho das pás deste modelo é de 26,45 metros, assim tendo uma área de 2.198 metros quadrados. Por último, um fator muito importante para a determinação da velocidade do vento é a altura do eixo, que para este modelo pode variar de 60 a 73 metros, sendo escolhido para a equação de velocidade de vento o valor maior (WIND TURBINE MODELS, 2024).

A instalação do E-53 é somente em terra, diferente de outros modelos que podem ser instalados em alto mar. A altura do centro da turbina é de 60 até 73 metros de sua base, protegida contra corrosão com pintura e tendo uma estrutura construída com tubos de aço e outros materiais. A turbina com todas estas configurações é ideal para uma cidade como a de Bauru, utilizada neste projeto, por ter dentro de seus limites o valor da maior rajada de vento registrada na cidade ser de 86,8 quilômetros por hora, sendo aproximadamente 24,1 em metros por segundo (96FM, 2023).

### 2.4. Programa de processamento de tabela

Foi criado um programa na linguagem de programação Java, com o ambiente de desenvolvimento integrado *IntelliJ IDEA*, que tem como entrada os dados meteorológicos e então filtra os dados em dois arquivos diferentes. O primeiro é um arquivo de texto, com a formatação “ErrosEncontrados-[x].txt” onde x é o ano, que aponta em qual linha do *.dat* original ocorre um erro por dados meteorológicos não reais e onde ocorrem faltas de dados, tendo uma falta de um período de tempo de horas, dias, semanas ou meses, para que tais faltas de dados possam ser consideradas na análise final dos dados. O segundo arquivo

resultante é um *.csv* contendo o ano, dia juliano, hora, velocidade de vento média e máxima, sendo feitas correções para o programa principal poder corretamente ler os dados recebidos, como, por exemplo, valores de velocidade não existentes não serem representados por -9999, mas sim como 0. A formatação do segundo arquivo é a seguinte “Processado-[x].csv” onde, novamente, o x representa o ano do arquivo analisado.

## 2.5. Programa para geração de resultados

O programa principal para a execução deste projeto foi feito na plataforma MATLAB, uma abreviação de *Matrix Laboratory*, com o intuito de utilizar os dados processados pelo programa de Java anterior para gerar gráficos e tabelas depois dos valores de velocidade de vento serem processados e transformados em potencial elétrico. A linguagem é a base de matrizes, criada pelo matemático e programador Cleve Moler, foi inicialmente criada a base do Fortran no início dos anos de 1970. Futuramente sendo desenvolvida uma versão comercial para uso em computadores IBM, na linguagem C. Atualmente, o sistema continua a ser atualizado para suprir as necessidades de engenheiros, cientistas e matemáticos, possuindo computação paralela, capacidade de equações diferenciais ordinárias e também suporte para diversos tipos de dados.

A plataforma e linguagem de programação, ambas chamadas MATLAB, foram escolhidas para este trabalho, devido a sua facilidade para trabalhar com conjuntos de dados, criando novos conjuntos e os utilizando para a geração de gráficos a fim de uma análise fácil e rápida. O projeto utiliza o modelo matemático discutido na seção anterior para que o potencial eólico, em uma situação sem perda de energia, seja um sistema ideal. A única parte do sistema não ideal é o coeficiente de potência da Lei de Betz. Os resultados gerados são melhor discutidos nas próximas seções de resultados e conclusão.

### 3. RESULTADOS

Utilizando o método desenvolvido e discutido na seção prévia, os dados gerados foram consolidados em diferentes tipos de gráficos e em uma tabela para uma melhor análise dos resultados.

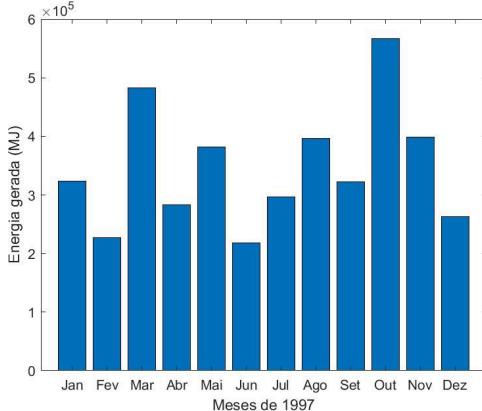
Esses resultados foram feitos com valores em Megajoules em vez de Joules, por causa de dois fatores, um técnico e outro analítico. O problema técnico tem como origem os limites dos computadores e seu armazenamento de números, sendo eles inteiros ou de vírgula flutuante, porque quando os valores são somados em Joules um estouro de número inteiro acontece, fazendo com que os dados tivessem o mesmo valor sempre. Enquanto isso, o problema analítico vem da dificuldade de analisar e corretamente quantificar valores nos milhões ou bilhões de unidades, não sendo o caso com Megajoules pelos valores serem contidos nos milhares.

#### 3.1. Gráficos de energia gerada em cada mês anuais

O primeiro grupo de gráficos criados tem como objetivo a análise da quantidade de energia em Megajoules teórica que poderia ser gerada nos anos do conjunto de dados, providenciado pelo IPMET. Devido à análise procurada, os gráficos criados são do tipo de barras com doze delas, cada uma representando um mês do ano no eixo das abscissas. Já no eixo das ordenadas está a soma total da energia gerada em Megajoules para cada mês correspondente.

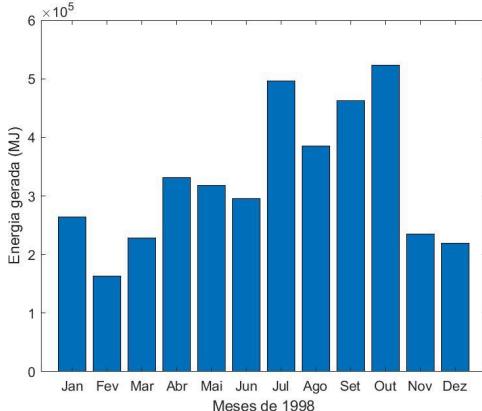
Os gráficos criados estão presentes abaixo nas figuras 2 até a 53, apresentando a somatória de todos os períodos de dados possíveis, para cada um dos anos separados em meses, permitindo uma análise anual mais fácil. O título de cada uma das figuras apresenta também a soma total de energia gerada em Megajoules do ano inteiro. Como mencionado na seção 2.2 algumas figuras apresentam faltas de dados mais perceptíveis, tais falhas podem ser observadas nas figuras 8 e 9 que tratam do ano de 2000, as figuras 12 e 13 do ano 2002 e os gráficos das figuras 48 e 49 representando os dados de 2020. Em algumas outras figuras, pode ser visto que essas falhas observadas não são as únicas, com alguns meses de certos anos possuindo pouquíssimas entradas de dados.

**Figura 2:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 1997 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 4.159.594,77 MJ.



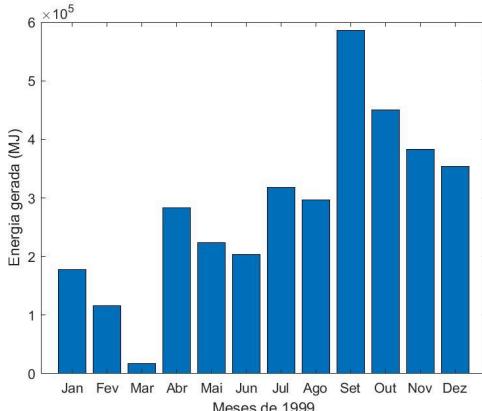
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 4:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 1998 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.924.381,46 MJ.



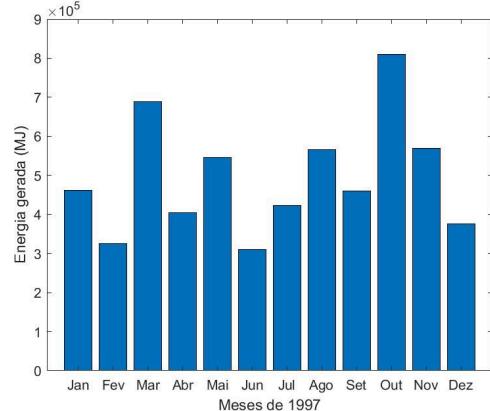
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 6:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 1999 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.409.710,13 MJ.



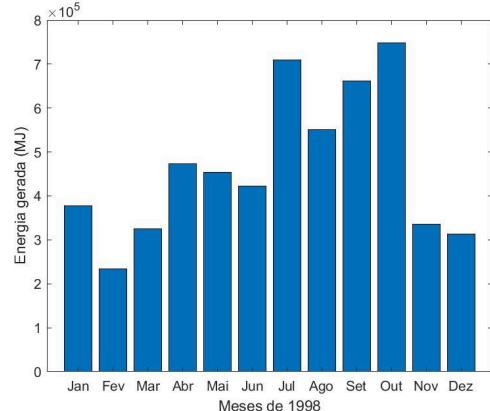
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 3:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 1997 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 5.942.278,25 MJ.



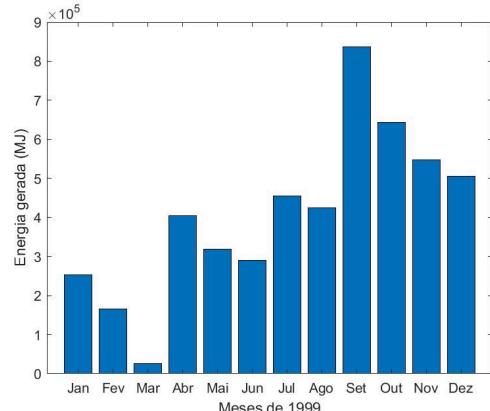
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 5:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 1998 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 5.606.259,23 MJ.



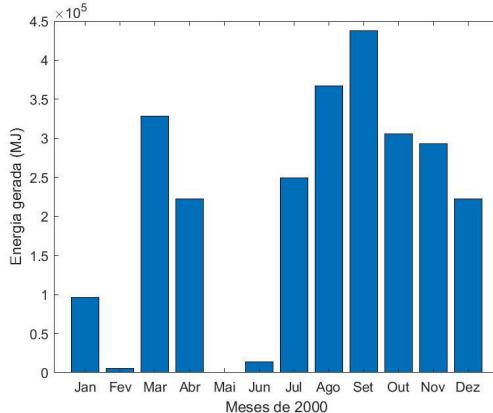
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 7:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 1999 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 4.871.014,47 MJ.



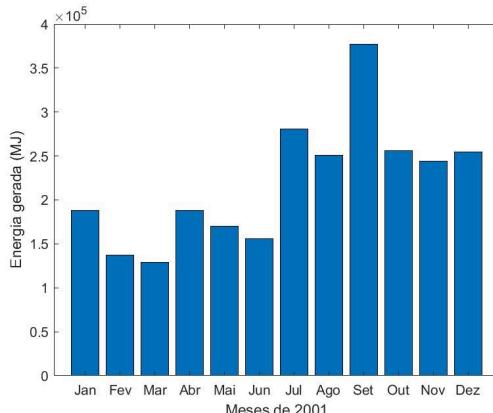
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 8:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2000 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.543.094,81 MJ.



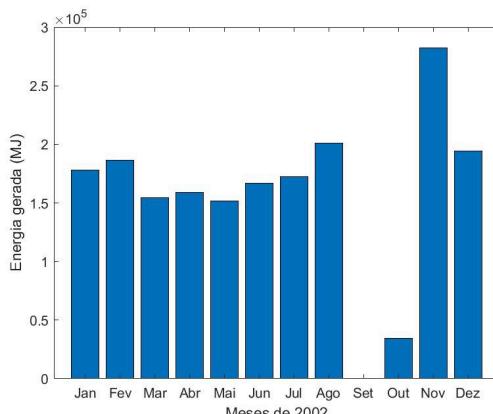
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 10:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2001 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.632.124,36 MJ.



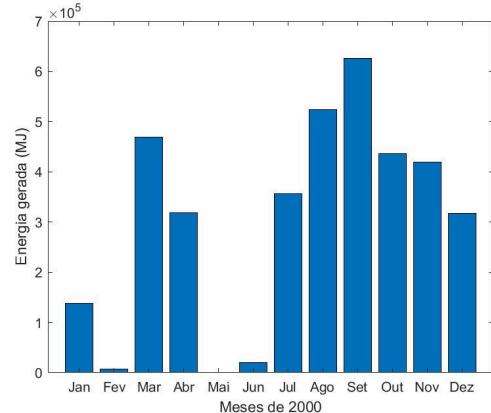
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 12:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2002 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.881.418,46 MJ.



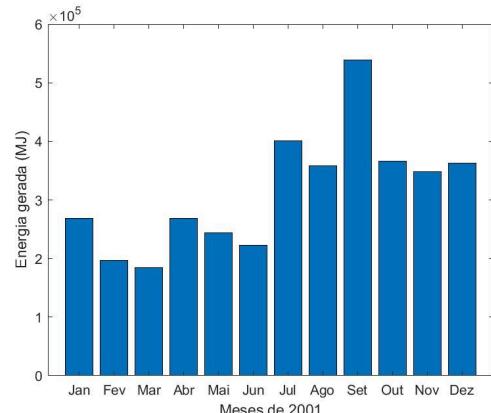
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 9:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2000 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.632.992,58 MJ.



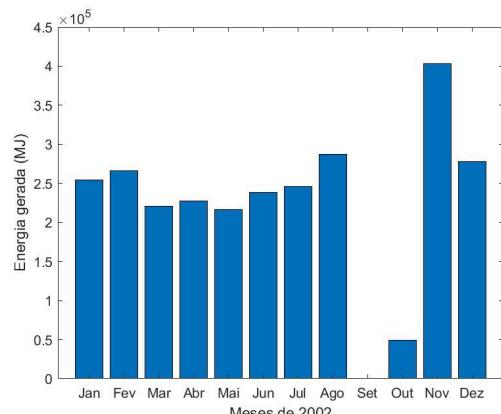
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 11:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2001 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.760.177,66 MJ.



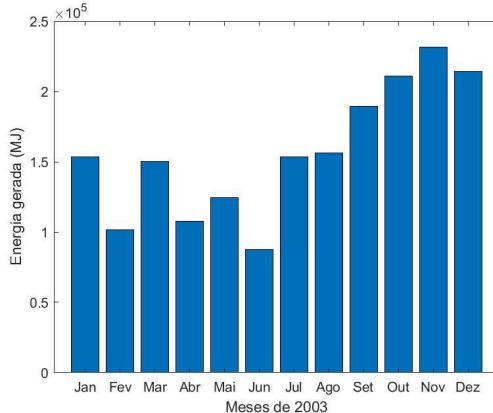
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 13:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2002 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.687.740,66 MJ.



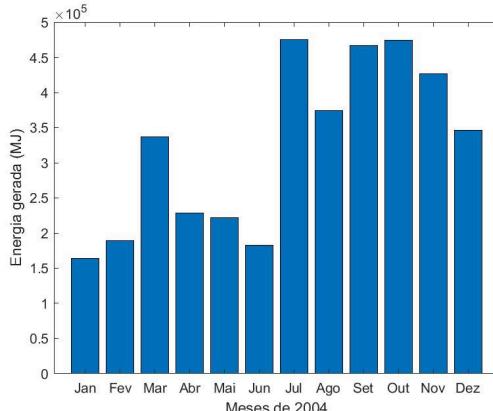
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 14:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2003 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.881.841,20 MJ.



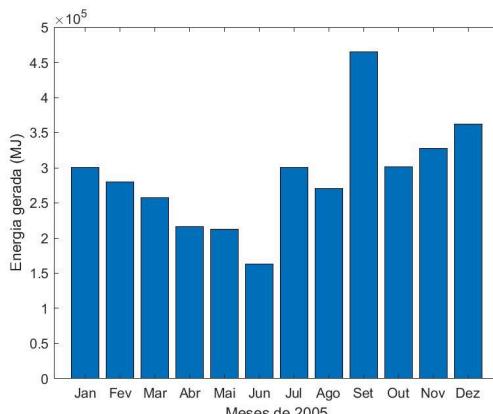
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 16:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2004 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.886.108,75 MJ.



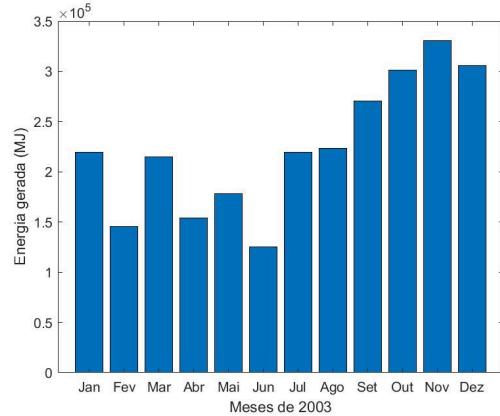
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 18:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2005 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 3.457.452,65 MJ.



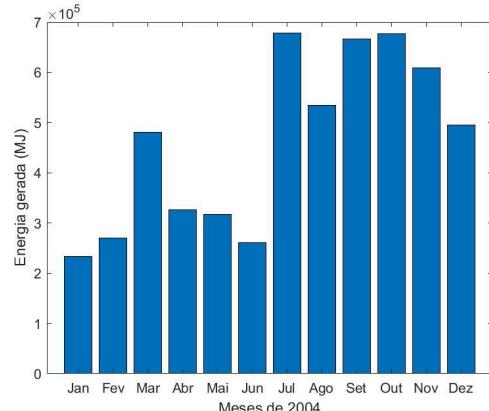
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 15:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2003 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.688.344,57 MJ.



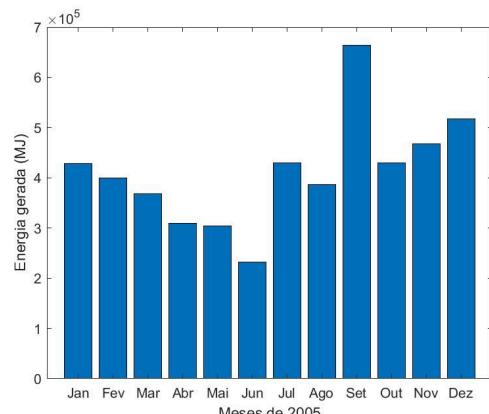
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 17:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2004 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 5.551.583,92 MJ.



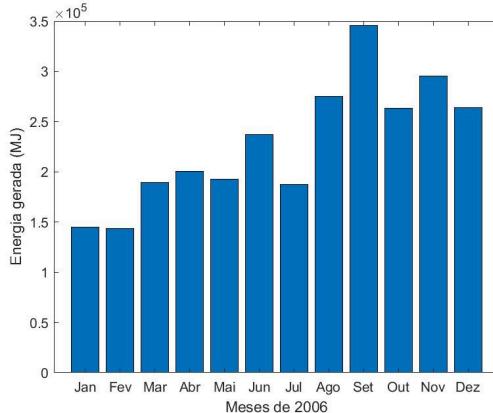
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 19:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2005 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 4.939.218,07 MJ.



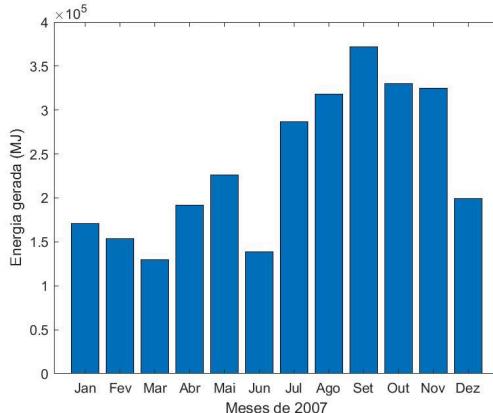
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 20:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2006 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.738.779,51 MJ.



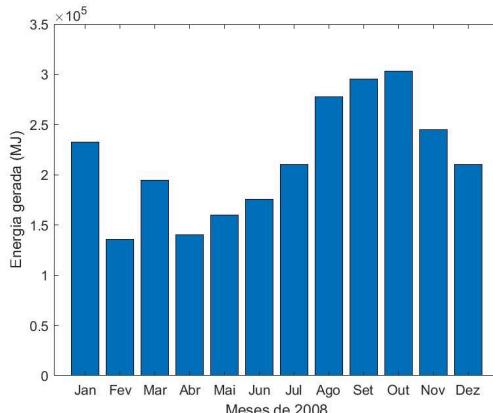
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 22:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2007 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.842.054,70 MJ.



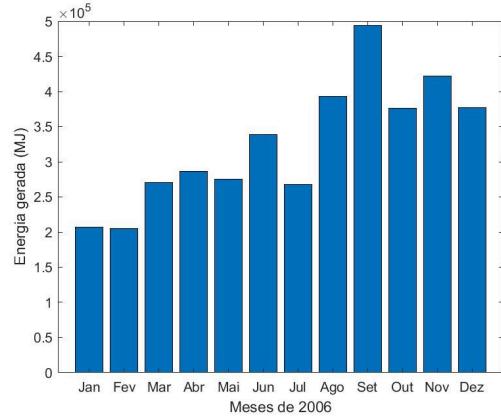
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 24:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2008 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.581.288,48 MJ.



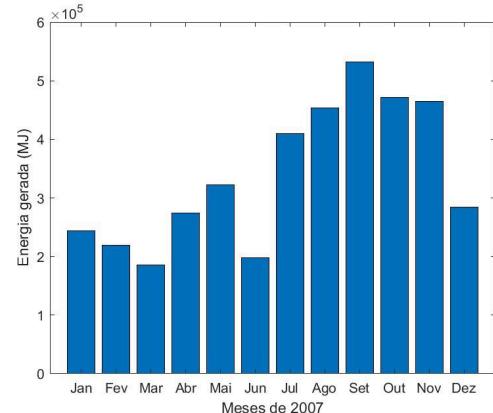
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 21:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2006 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.912.542,16 MJ.



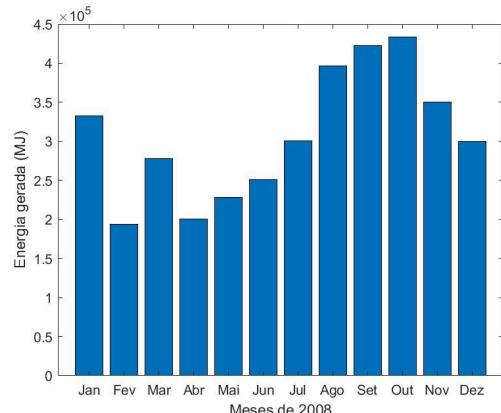
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 23:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2007 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 4.060.078,14 MJ.



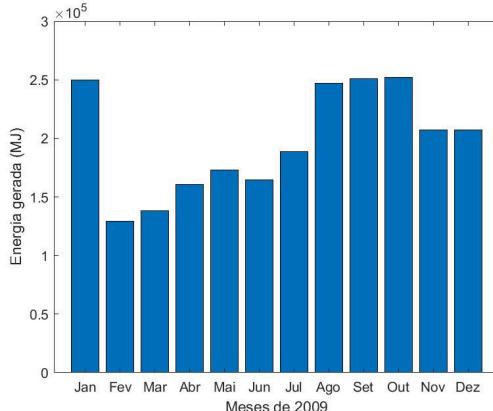
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 25:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2008 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.687.554,97 MJ.



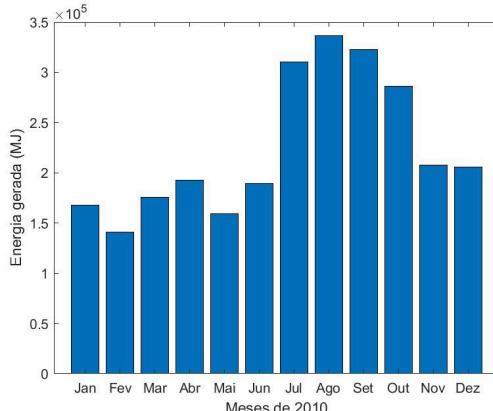
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 26:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2009 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.368.803,01 MJ.



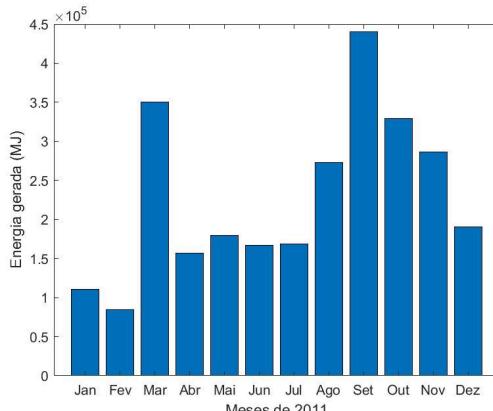
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 28:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2010 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.695.888,91 MJ.



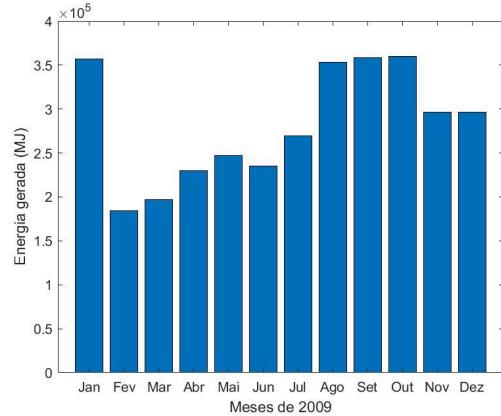
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 30:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2011 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.737.212,44 MJ.



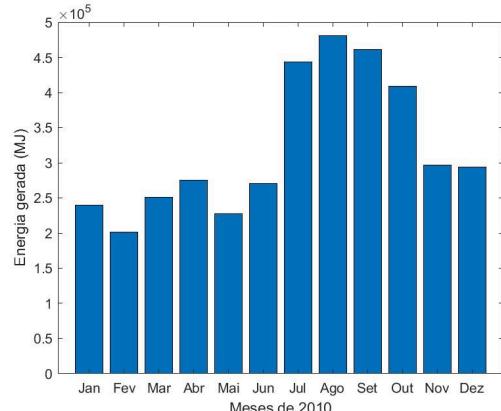
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 27:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2009 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.384.004,30 MJ.



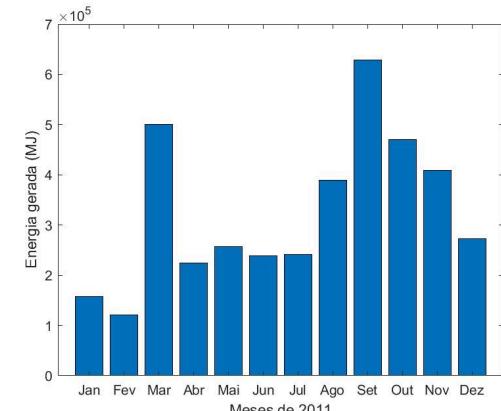
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 29:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2010 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.851.269,87 MJ.



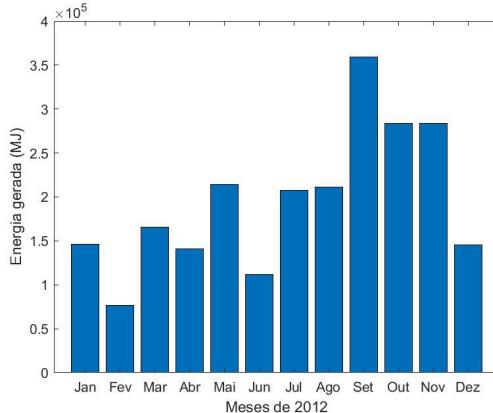
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 31:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2011 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.910.303,48 MJ.



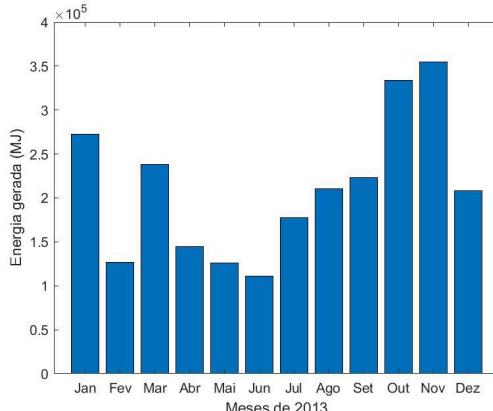
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 32:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2012 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.345.799,14 MJ.



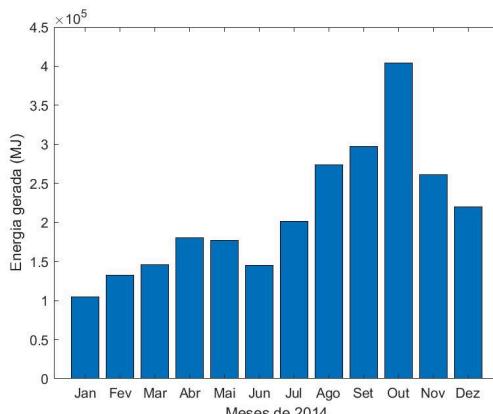
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 34:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2013 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.526.582,44 MJ.



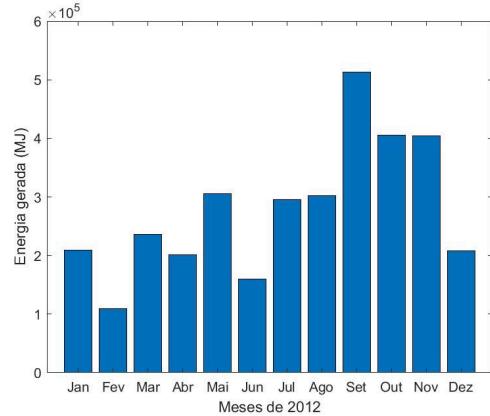
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 36:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2014 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.543.616,89 MJ.



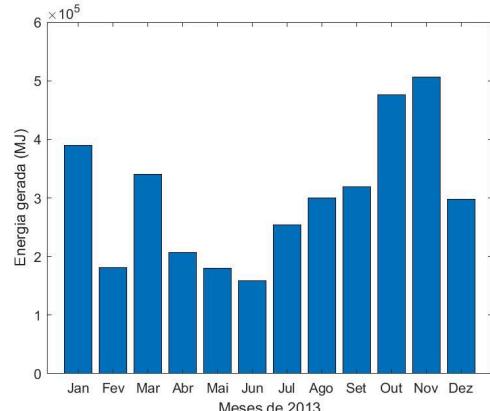
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 33:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2012 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.351.141,62 MJ.



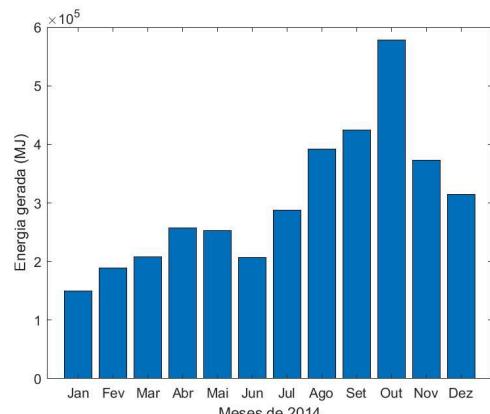
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 35:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2013 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.609.403,49 MJ.



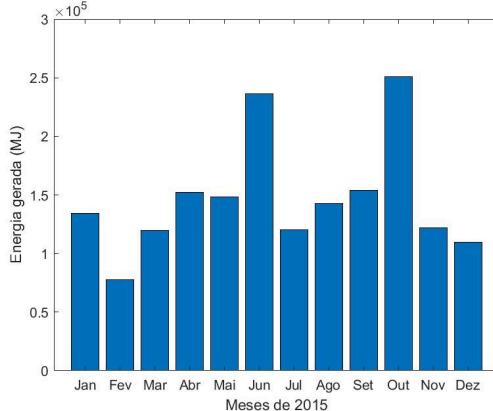
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 37** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2014 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.633.738,42 MJ.



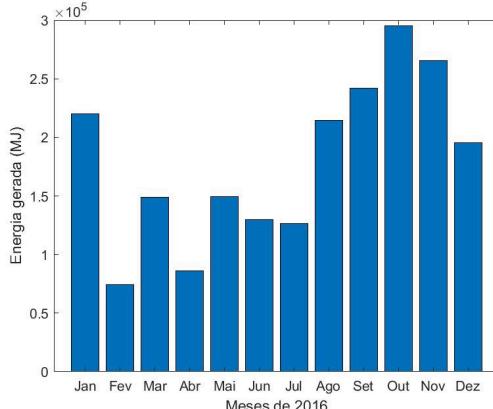
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 38:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2015 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.767.726,71 MJ.



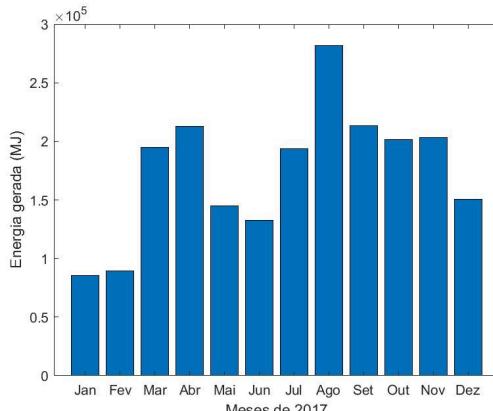
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 40:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2016 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.146.353,01 MJ.



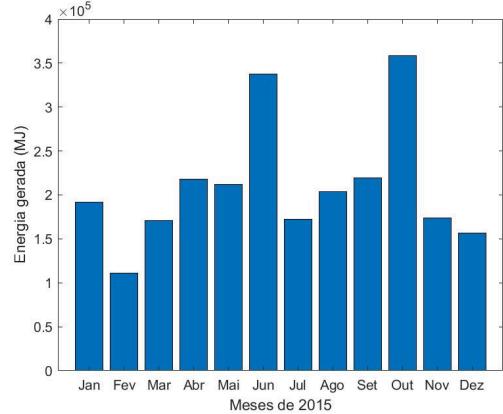
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 42:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2017 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 2.105.470,59 MJ.



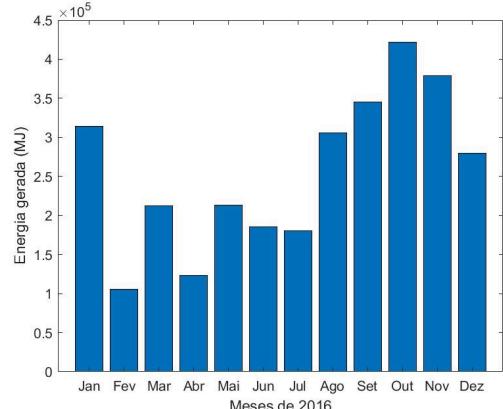
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 39:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2015 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.525.323,88 MJ.



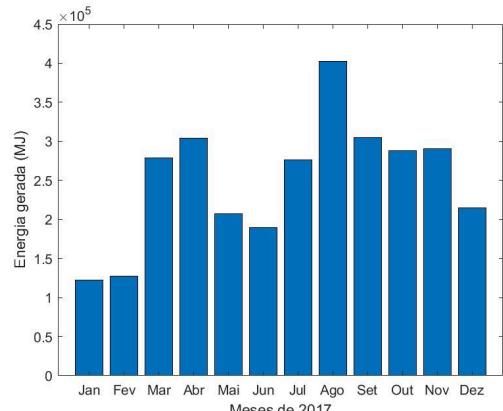
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 41:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2016 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.066.218,59 MJ.



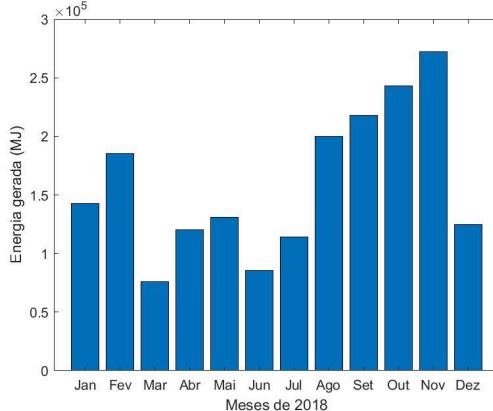
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 43:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2017 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 3.007.815,13 MJ.



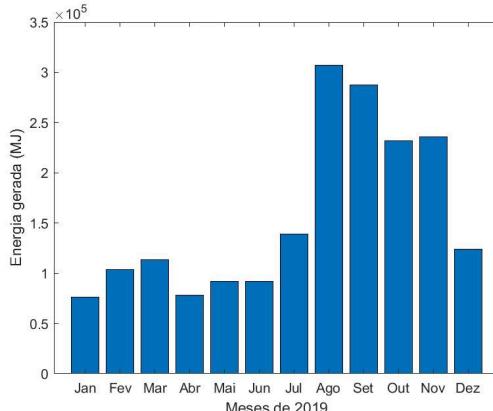
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 44:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2018 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.912.543,54 MJ.



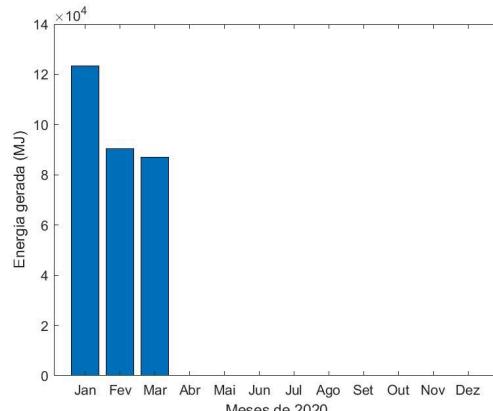
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 46:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2019 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.880.484,66 MJ.



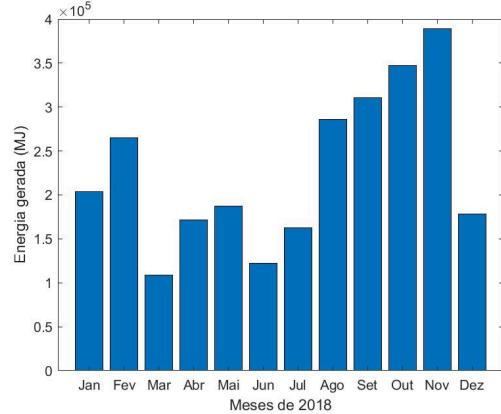
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 48:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2020 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 300.652,59 MJ.



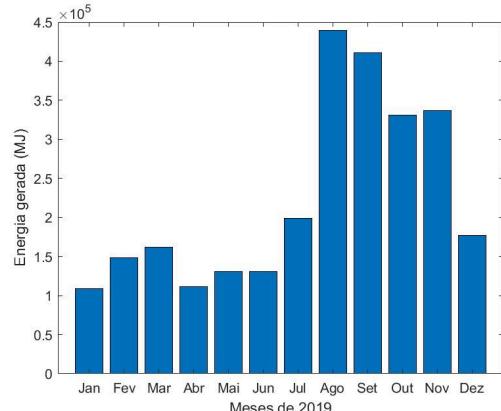
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 45:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2018 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.732.205,05 MJ.



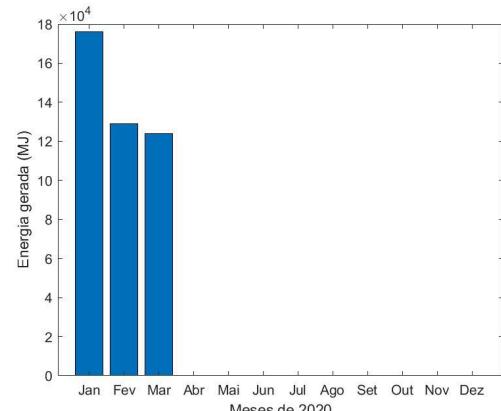
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 47:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2019 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.686.406,66 MJ.



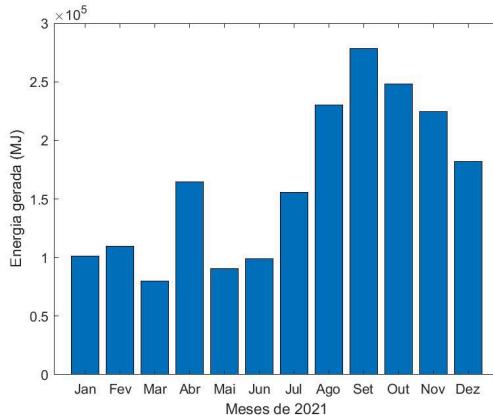
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 49:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2020 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 429.503,71 MJ.



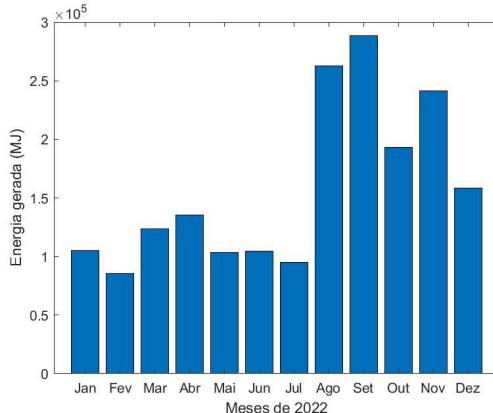
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 50:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2021 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.963.369,55 MJ.



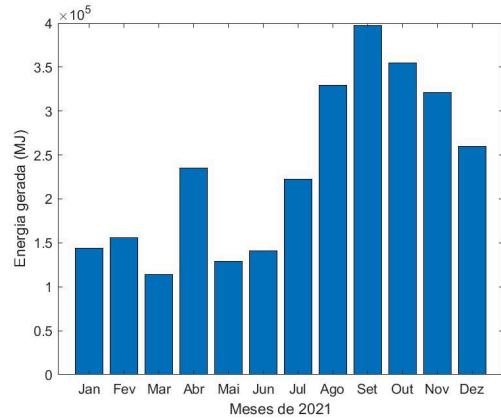
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 52:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2022 para coeficiente de potência 35%. Energia gerada no ano inteiro: 1.897.478,14 MJ.



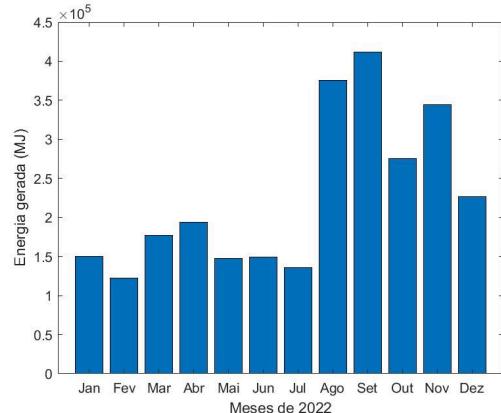
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 51:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2021 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.804.813,65 MJ.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 53:** Gráfico de energia total de cada mês do ano 2022 para coeficiente de potência 50%. Energia gerada no ano inteiro: 2.710.683,06 MJ.



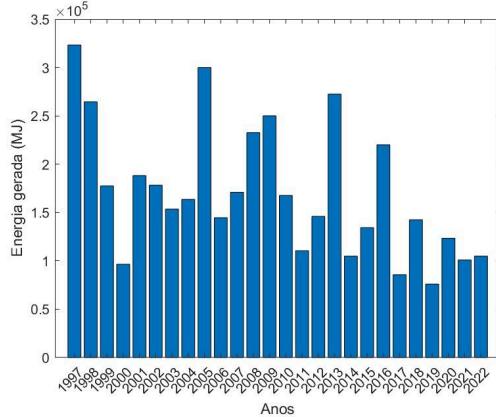
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.2. Gráficos de comparação de energia gerada mensalmente

O segundo grupo de gráficos criados com o conjunto de dados e seus resultados gerados tem como objetivo permitir uma análise comparativa entre todos os anos dados em relação a cada um dos meses, apesar dessa análise já poder ser feita com as figuras anteriores, este novo conjunto permite uma visualização de cada mês individual mais concisa e eficiente. Os gráficos possuem no eixo horizontal todos os anos do conjunto processado, no caso deste trabalho de 1997 até 2022, já no eixo vertical está a energia gerada em Megajoules para cada um dos anos estes gráficos de resultados estão presentes nas figuras 54 a 77.

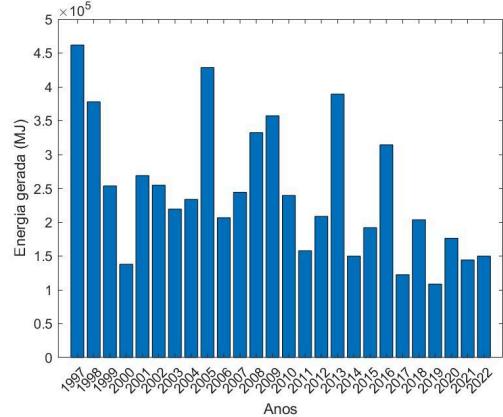
Assim como as figuras 2 a 53, falhas do conjunto de dados podem ser mais facilmente analisadas com o uso das figuras 54 a 77, dependendo de cada mês com falta, por exemplo: as faltas dos anos 2000 e 2020 nas figuras 63 e 64. Outro fator perceptível importante que pode ser analisado é o desenvolvimento das energias geradas e, por conta disso, as velocidades de vento da região. As variações do coeficiente de potência são demonstradas nos gráficos a partir da quantidade de energia gerada e não devido à forma com que as colunas do gráfico aparecem, por causa da Lei de Betz influenciar somente a porcentagem adquirida de um valor final de energia gerada.

**Figura 54:** Gráfico de energia total gerada no mês de Janeiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



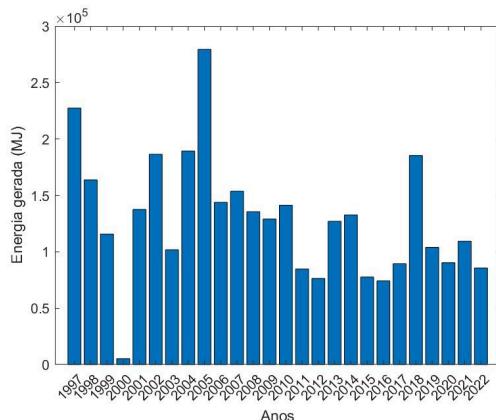
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 55:** Gráfico de energia total gerada no mês de Janeiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



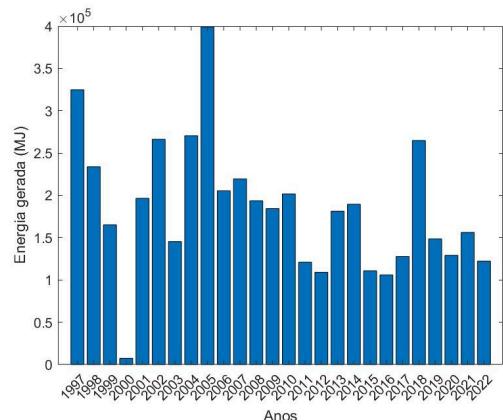
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 56:** Gráfico de energia total gerada no mês de Fevereiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



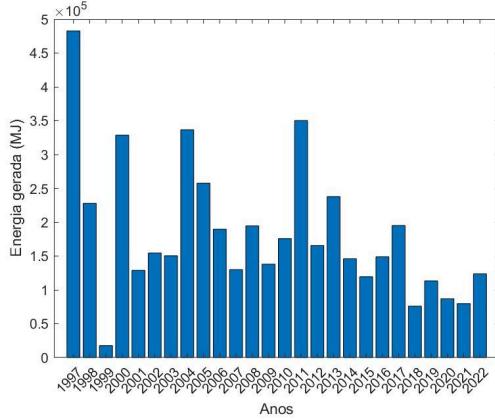
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 57:** Gráfico de energia total gerada no mês de Fevereiro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



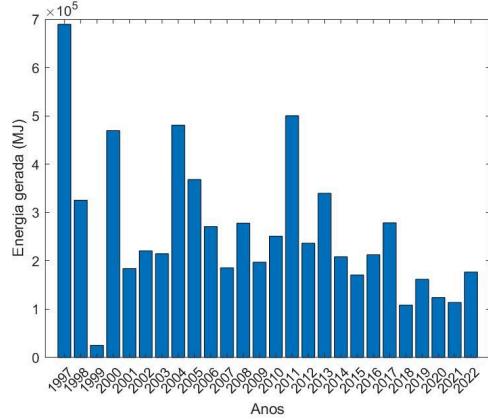
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 58:** Gráfico de energia total gerada no mês Março em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



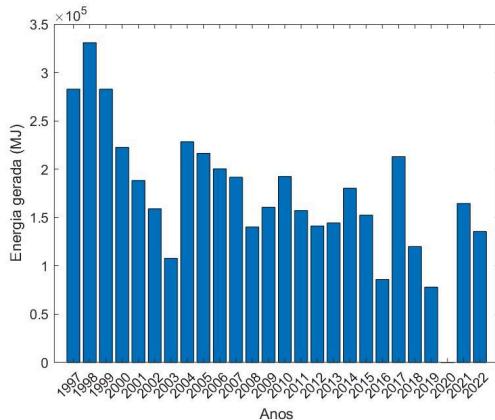
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 59:** Gráfico de energia total gerada no mês Março em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



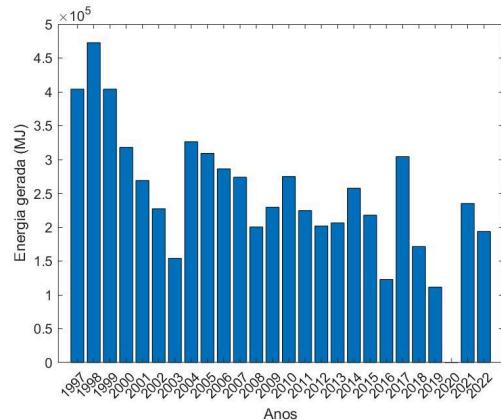
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 60:** Gráfico de energia total gerada no mês Abril em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



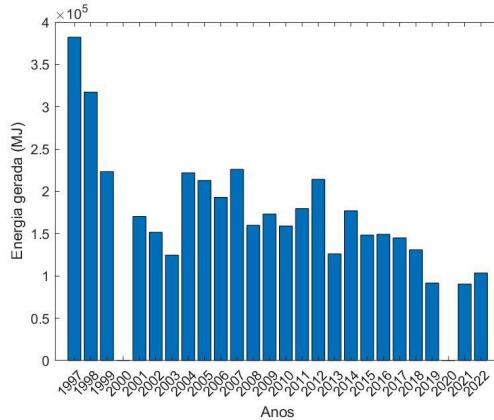
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 61:** Gráfico de energia total gerada no mês Abril em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



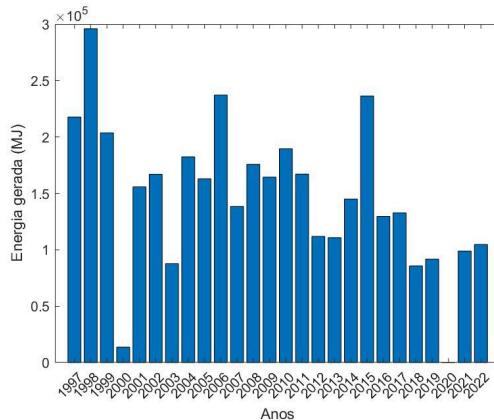
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 62:** Gráfico de energia total gerada no mês Maio em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



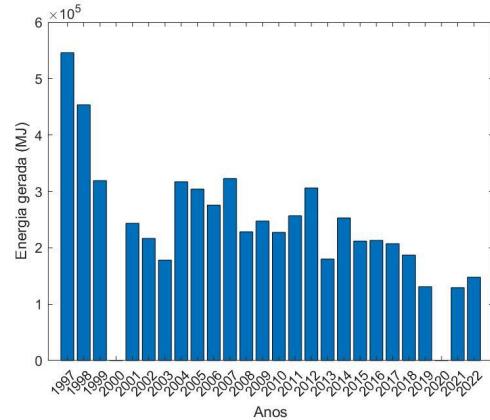
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 64:** Gráfico de energia total gerada no mês Junho em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



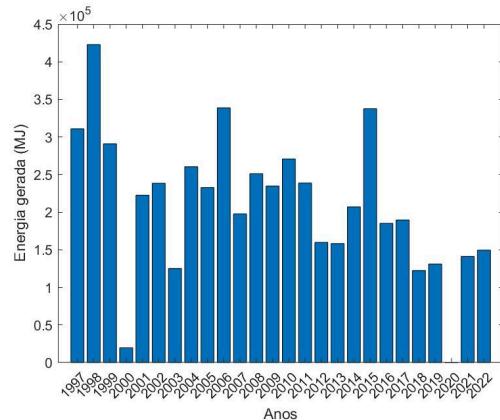
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 63:** Gráfico de energia total gerada no mês Maio em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



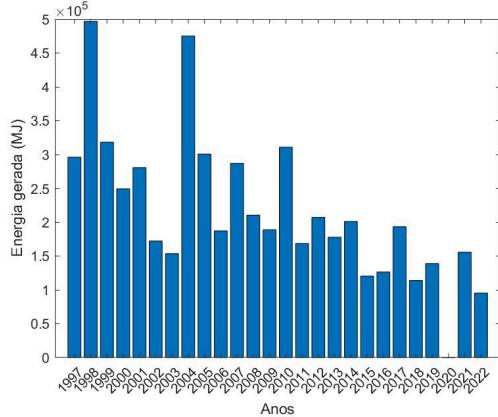
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 65:** Gráfico de energia total gerada no mês Junho em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



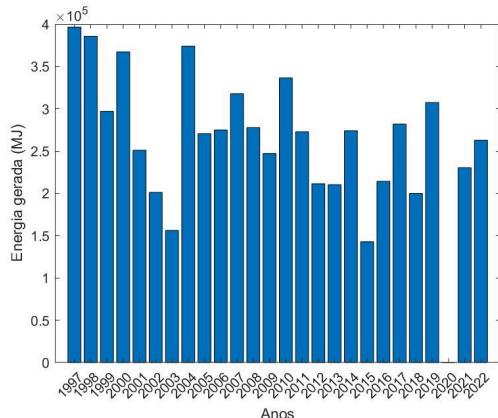
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 66:** Gráfico de energia total gerada no mês Julho em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



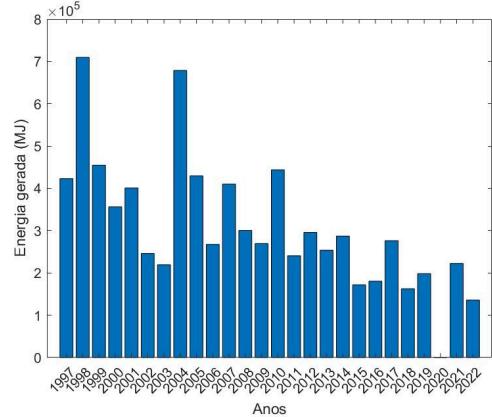
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 68:** Gráfico de energia total gerada no mês Agosto em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



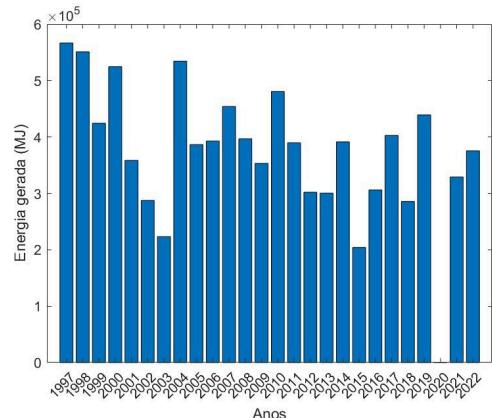
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 67:** Gráfico de energia total gerada no mês Julho em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



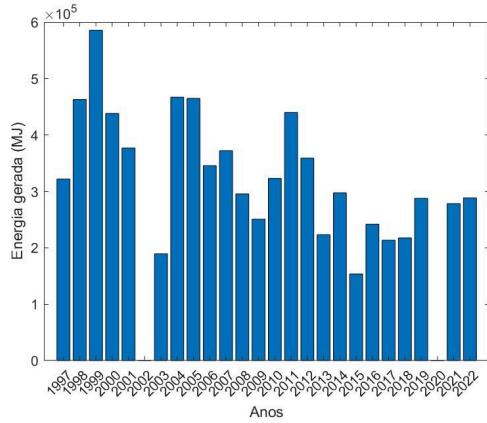
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 69:** Gráfico de energia total gerada no mês Agosto em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



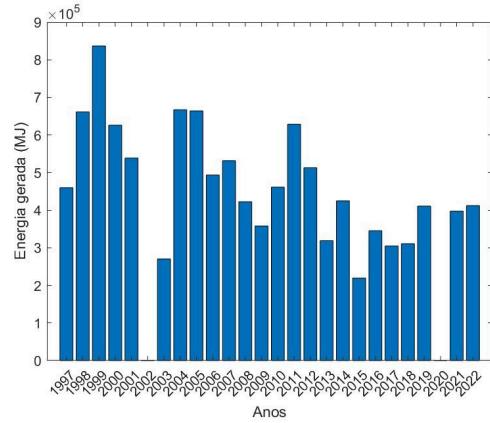
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 70:** Gráfico de energia total gerada no mês Setembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



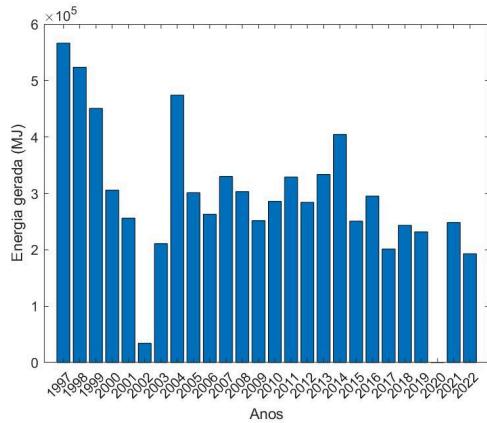
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 71:** Gráfico de energia total gerada no mês Setembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



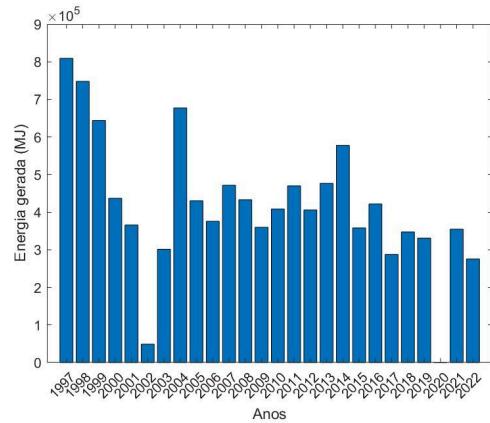
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 72:** Gráfico de energia total gerada no mês Outubro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



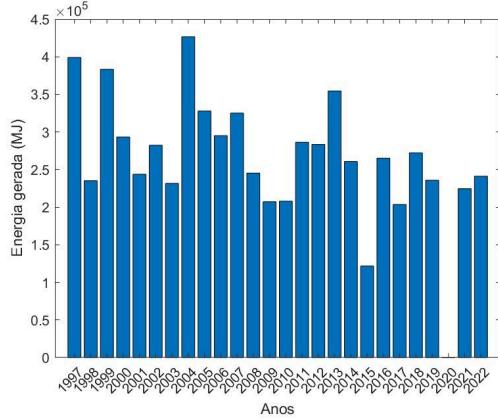
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 73:** Gráfico de energia total gerada no mês Outubro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



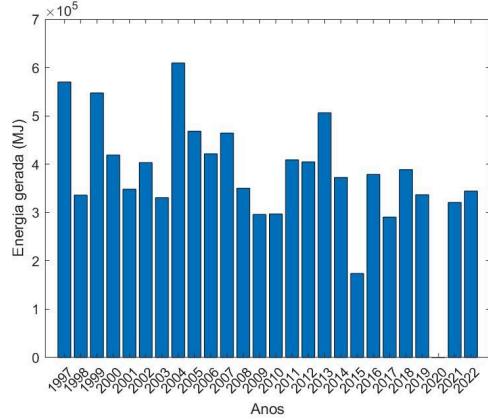
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 74:** Gráfico de energia total gerada no mês Novembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



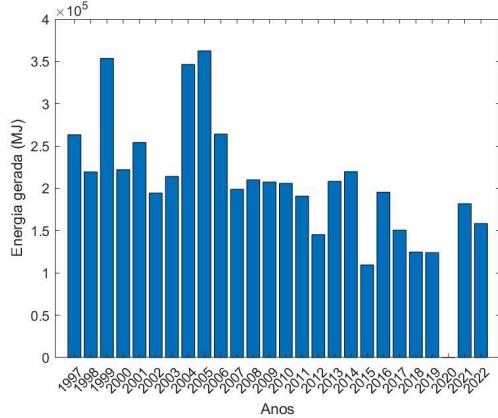
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 75:** Gráfico de energia total gerada no mês Novembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



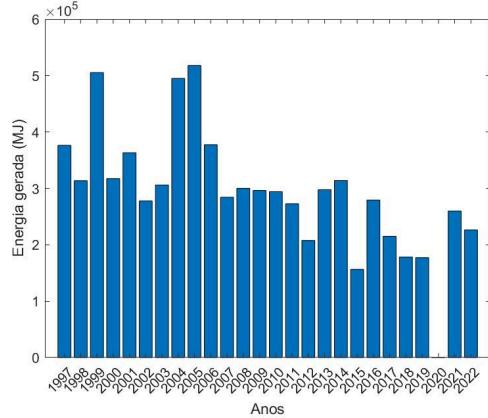
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 76:** Gráfico de energia total gerada no mês Dezembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 35%.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 77:** Gráfico de energia total gerada no mês Dezembro em cada ano analisado para coeficiente de potência 50%.



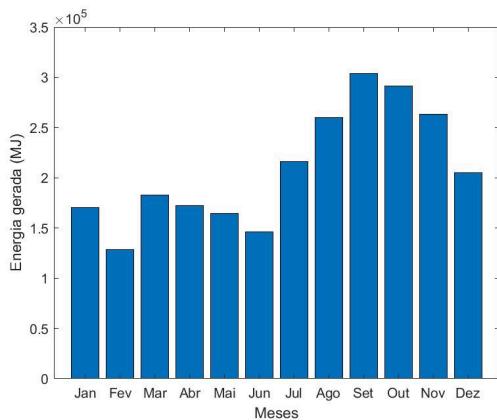
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.3. Gráficos e tabela para média total de energia gerada

O último conjunto de dados desenvolvido é uma dupla de gráficos e tabelas, os gráficos, presentes nas figuras 78 e 79, trazem a média do potencial de energia eólica gerada de todos os anos para cada um dos meses individualmente. Isso permite uma visão do desempenho médio da região para cada mês ao longo de um ano.

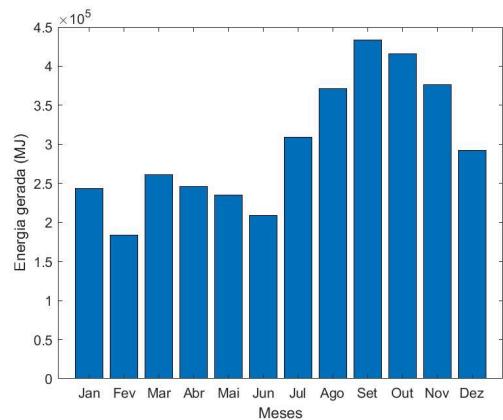
Enquanto as tabelas 2 e 3 contêm a média, desvio padrão e coeficiente de variação da somatória de todos os anos para cada mês, possibilitando uma análise mais matemática do que os gráficos. Com estas medidas de desvio padrão e coeficiente de variação é possível identificar que os valores em um geral apresentam uma grande variabilidade comparado ao valor médio nas duas variações de coeficiente, demonstrando que este não altera a relação entre os valores de cada ano em si, somente afetando a quantidade de energia gerada no final.

**Figura 78:** Gráfico de potência média gerada de todos os gráficos para coeficiente de potência em 35%.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 79:** Gráfico de potência média gerada de todos os gráficos para coeficiente de potência em 50%.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 2:** Dados de medida de posição e dispersão do potencial de energia eólica gerado para um Coeficiente de Potência de 35%.

Mês	Média (MJ)	Desvio Padrão (MJ)	Coeficiente de Variação (%)
Janeiro	170.534	68.406	40
Fevereiro	128.719	55.613	43
Março	182.941	101.405	55
Abril	172.239	68.929	40
Maio	164.309	80.341	49
Junho	146.410	65.961	45
Julho	216.399	109.492	51
Agosto	260.084	84.971	33
Setembro	303.642	135.611	45
Outubro	291.256	125.651	43
Novembro	263.602	85.679	33
Dezembro	204.863	77.708	38

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 3:** Dados de medida de posição e dispersão do potencial de energia eólica gerado para um Coeficiente de Potência de 50%.

Mês	Média (MJ)	Desvio Padrão (MJ)	Coeficiente de Variação (%)
Janeiro	243.620	97.723	40
Fevereiro	183.885	79.448	43
Março	261.344	144.864	55
Abril	246.055	98.470	40
Maio	234.727	114.773	49
Junho	209.158	94.229	45
Julho	309.141	156.417	51
Agosto	371.549	121.387	33
Setembro	433.775	193.729	45
Outubro	416.079	179.501	43
Novembro	376.574	122.399	33
Dezembro	292.661	111.011	38

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### **4. DISCUSSÃO**

Nesta seção o foco é a discussão e observação referentes aos dados de resultados gerados pelo programa criado no projeto e disponibilizados anteriormente. Para uma análise que leva em consideração o consumo de energia elétrica em casas e cidades atualmente, os seguintes dados precisam ser estabelecidos:

1. A conversão de Quilowatts-hora para Megajoules, que pode ser estabelecida por 1 kWh= 3,6 Megajoules.
2. O consumo médio de uma residência brasileira na região sudeste do Brasil é de 174,5 kWh/mês (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).
3. Com os valores estabelecidos anteriormente, sabemos que o consumo aproximado em Megajoules de uma casa brasileira por mês tem um valor de 628,2 Megajoules.
4. A quantidade de domicílios na cidade de Bauru no ano de 2022, a partir de um censo do IBGE, foi de 171.155 casas ocupadas (SILVA, 2023).

Primeiramente serão observados os dados principalmente em seus valores, sem a consideração de possíveis consumos de energia. Utilizando as tabelas 2 e 3 e o gráfico da média total presentes nas figuras 78 e 79, pode-se verificar que a geração de energia eólica atinge seu maior potencial no mês de Setembro, mesmo considerando o fato de que o ano de 2021 não possui valores para este mês ou qualquer outro depois de Março.

Essa inclinação para o final do ano pode também ser vista nos gráficos individuais de cada ano das figuras 2 a 53, porém inicialmente do ano 1997 até 2005 os gráficos apresentam ser mais uniformes, considerando que estes primeiros meses apresentam uma falta maior de dados individuais dos períodos de tempo de 5 minutos. Outra observação interessante é que o potencial eólico em geral parece diminuir à medida que o tempo passa, apresentando valores cada vez menores para os anos atuais, visível a partir dos gráficos de comparação de um mês para cada ano, das figuras 54 a 77.

A partir dos dados estabelecidos previamente nos três pontos e da tabela das energia geradas médias em cada um dos meses do ano, foram então criadas as seguintes tabelas 4 e 5 para que possa ser analisada a capacidade de uma turbina eólica em suprir energia para um

determinado número de casas e qual a porcentagem de casas na cidade de Bauru que seriam supridas. Considerando as duas versões do Coeficiente de Potência, os resultados de número de casas supridas foram arredondados para baixo e a porcentagem de casas em Bauru mostra os dois primeiros decimais, estas duas colunas são feitas a partir da divisão da média pela consumo aproximado de casas brasileiras do sudeste brasileiro encontrada pelo item 3 e com divisão das casas supridas pela quantidade de residências em Bauru do item 4:

**Tabela 4:** Tabela com o valor médio de energia gerada em cada um dos meses, a quantidade de casas que podem ser supridas com tal média e a porcentagem em relação com a cidade de Bauru para um Coeficiente de Potência de 35%.

Mês	Média (MJ)	Número de casas supridas	Quantidade de casas em Bauru (%)
Janeiro	170.534	271	0,16
Fevereiro	128.719	204	0,12
Março	182.941	291	0,17
Abril	172.239	274	0,16
Maio	164.309	261	0,15
Junho	146.410	233	0,14
Julho	216.399	344	0,20
Agosto	260.084	414	0,24
Setembro	303.642	483	0,28
Outubro	291.256	463	0,27
Novembro	263.602	419	0,24
Dezembro	204.863	326	0,19

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 5:** Tabela com o valor médio de energia gerada em cada um dos meses, a quantidade de casas que podem ser supridas com tal média e a porcentagem em relação com a cidade de Bauru para um Coeficiente de Potência de 50%.

Mês	Média (MJ)	Número de casas supridas	Quantidade de casas em Bauru (%)
Janeiro	243.620	387	0,23
Fevereiro	183.885	292	0,17
Março	261.344	416	0,24
Abril	246.055	391	0,23
Maio	234.727	373	0,22
Junho	209.158	332	0,19
Julho	309.141	492	0,29
Agosto	371.549	591	0,34
Setembro	433.775	690	0,40
Outubro	416.079	662	0,39
Novembro	376.574	599	0,35
Dezembro	292.661	465	0,27

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Observando essas tabelas de resultado, é possível verificar que uma turbina eólica individual na cidade de Bauru não seria capaz de suprir nem 1% da cidade, mesmo com valores mais otimistas do coeficiente de potência em 50%. O modelo para as simulações feitas neste trabalho considera situações ideias, logo deve ser lembrado que uma turbina eólica não apresentará desempenho constante, sendo muito variável de um momento para outro, diferentemente dos valores calculados e considerados aqui. Dessa maneira, é possível afirmar que, com os valores gerados, uma simples turbina não poderia manter nem a menor porcentagem de casas na cidade de Bauru presente nas duas tabelas supridas constantemente. Contudo, considerando sistemas ideais e a quantidade de casas supridas em Setembro na tabela 4, um parque eólico de tamanho suficiente que precisaria ter aproximadamente 268 turbinas eólicas poderia suprir a cidade, utilizando o maior resultado das tabelas para calcular, esta quantidade de turbinas precisaria de uma área muito extensa. Considerando o discutido, energia eólica pode não ser o ideal para Bauru, porque parques eólicos normalmente são criados com o intuito de gerar energia para diversas cidades ao mesmo tempo, porém um parque eólico poderia ser criado para complementar e diversificar a matriz energética de Bauru e da região.

## 5. CONCLUSÃO

A cidade de Bauru apresentou uma média geral de potencial elétrico de energia gerada para o coeficiente em 30% igual a aproximadamente 208.749,83 Megajoules e para 50% apresentou 298.214 Megajoules. Considerando os valores usados por uma residência brasileira por mês ser de 628,2 Megajoules, pode ser visto que uma turbina eólica em média somente conseguiria suprir de 332 a 474 casas aproximadamente. Isso demonstra que, como esperado, a energia eólica não é a melhor para a região por não conseguir cobrir mais de 0,40% da cidade com um modelo individual da Enercon E-53 no melhor mês e melhor coeficiente de potência. Esses resultados demonstram que um parque eólico nesta região seria ineficiente considerando todo o espaço que seria usado e que está disponível naturalmente, como uma fonte de energia única, porém poderia ser útil como um complemento à matriz energética existente, podendo suprir alguns bairros com um parque eólico grande o bastante. Um parque focado em suprir uma única cidade também é um posicionamento errado, logo, mesmo com os valores sendo simulados corretamente e os resultados sendo válidos para a simulação, os resultados para o local estudado são negativos.

Apesar dos resultados da cidade de Bauru mostrarem que sua localização não é ideal para a instalação de algumas turbinas ou até um parque eólico de alta eficiência, o objetivo principal deste projeto, a criação de um programa capaz de simular o potencial eólico de um aerogerador com configurações específicas e dados meteorológicos da região de Bauru, foi cumprido. O programa funciona, trazendo uma grande quantidade de informações que permite uma análise significativa do potencial eólico da região de Bauru, São Paulo utilizando dados meteorológicos reais e parâmetros de aerogeradores. Os gráficos e tabelas gerados pelo programa são completos, somente apresentando falhas devido a ausência de dados fornecidos pelo IPMET em determinados períodos, podendo ser alterados facilmente para a criação de novos dados baseados em outras turbinas eólicas ou até mesmo em outras regiões, seguindo os comentários e a formatação de dados apresentados no programa.

Trabalhos futuros poderiam utilizar os programas desenvolvidos como uma maneira de formatar dados próprios no caso do primeiro, feito para formatar os dados meteorológicos do IPMET e utilizar o segundo como uma base para dados mais complexos ou necessários pelo usuário, em que mudanças no código seriam necessárias. Outro aspecto importante que trabalhos futuros poderiam analisar seria o desenvolvimento maior do modelo matemático utilizado, realmente usando o coeficiente da Lei de Betz com sua fórmula completa, em vez de usar valores fixos e, também, considerar o sistema do gerador interno que transforma a energia cinética das pás em energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

96FM Bauru. Tempestade com ventos recordes de 86,8 km/h atinge Bauru nesta sexta-feira, 3 de novembro de 2023. Disponível em: <https://96fmbauru.com.br/tempestade-com-ventos-recordes-de-868-km-h-atinge-bauru-nesta-sexta-feira>. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 6, n. 1, 2010. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/266>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

AMARANTE, O. A.; BROWER, M.; ZACK, J.; EOLICA, C. S. E.. Atlas do potencial eólico brasileiro. Atlas do potencial eólico brasileiro, Ministerio de Minas e Energia Eletrobras. 2001. Disponível em: [https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf). Acesso em: 14 de outubro de 2024.

ARGENTINO, F. L.; BEPPU, S. K.. **Projeto e construção de turbina eólica para instalações comerciais e residenciais.** 2007. Disponível em: [http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/artigos/art\\_tcc\\_011\\_2007.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/artigos/art_tcc_011_2007.pdf). Acesso em: 14 de outubro de 2024.

BRASIL. Matriz Energética e Elétrica. EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

BRIESCH, F. C. C.. Simulação de um sistema de emulação de aerogeradores. 2016. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/jspui/bitstream/riu/1532/1/Simula%C3%A7%C3%A3o%20de%20um%20sistema%20de%20emula%C3%A7%C3%A3o%20de%20aerogeradores.pdf>. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1lio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

JUNIOR, M. J. dos S.; JUNIOR V. A. F.; GRANZA M. H.; LOPES J. L. D.. Utilização de Modelos Matemáticos de Turbinas Eólicas em Ambiente de Simulação MATLAB/SIMULINK na Aprendizagem de Sistemas de Controle. **A Produção do Conhecimento na Engenharia Elétrica 2**, Ponta Grossa, PR, ano 2020, 17 mar. 2020. DOI 10.22533/at.ed.6522023031. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/post/utilizacao-de-modelos-matematicos-de-turbinas-eolicas-em-ambiente-de-simulacao-matlabsimulink-na-aprendizagem-de-sistemas-de-controle>. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B.. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, p. 1304.1-1304.13, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nL6x7dJv9gjv7HnkTSJRLfS/>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

RAMOS, V. M.; FERNANDES JR, D.; NEVES, W. A.. Modelagem e Simulação de um Aerogerador com Gerador de Indução Duplamente Alimentado e Controle de Velocidade para Maximização da Potência Gerada. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI**. 2021. Disponível em: [https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sbai/article/view/2777/2320](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbai/article/view/2777/2320). Acesso em: 28 de outubro de 2024.

RENSMART. Wind Sheer, 2003. Disponível em: <https://www.rensmart.com/Information/WindSheer>. Acesso em: 19 de novembro de 2024.

SAMPAIO, K. R. A.; BATISTA, V.. The current scenario of wind energy production in Brazil: A literature review. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e57710112107, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.12107. Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/12107>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

SOUZA, P. H. B. de; LEMOS H. T. Q.. Simulador didático para estudo de controle de potência de turbinas eólicas. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/683>. Acesso em: 28 de outubro de 2024.

WIND TURBINE MODELS. Enercon E-53 - 800,00 Kw - Wind Turbine, 2024. Disponível em: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/530-enercon-e-53>. Acesso em: 13 de outubro de 2024.

SILVA, L. R. da. Censo 2022: População de Bauru supera a de três capitais e cidade é a 66<sup>a</sup> maior do Brasil, G1 Globo, 28 de junho de 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2023/06/28/censo-2022-populacao-de-bauru-super-a-de-tres-capitais-e-cidade-e-a-66a-maior-do-brasil.ghtml>. Acesso em: 19 de outubro de 2024.

WWEA, World Wind Energy Association. 140 Years of Wind Power: As the World Reaches 1 Mio MW, New Discovery Shows that the World's First Wind Generator Was Installed in 1883, 31 de julho de 2023. Disponível em: <https://wwindea.org/140-years-of-wind-power-as-the-world-reaches-1-mio-mw-new-discovery-shows-that-the-worlds-first-wind-generator-was-installed-in-1883>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

## APÊNDICE 1

Programa para formatação de arquivos do IPMET (somente parte de execução principal está presente e não arquivo do projeto todo, este arquivo é do tipo .java):

```
public class ArrumaTabelaApplication implements CommandLineRunner {

    public static void main(String[] args) {
        final Logger log = LoggerFactory.getLogger(ArrumaTabelaApplication.class);
        log.info("STARTING THE APPLICATION");
        SpringApplication.run(ArrumaTabelaApplication.class, args);
        log.info("APPLICATION FINISHED");
    }

    @Override
    public void run(String... args) throws Exception {
        int pare = 0;
        while (pare == 0) {
            //Variáveis para título do arquivo de resultado:
            System.out.print("Por favor insira o ano/nome do arquivo que será processado:");
            Scanner input = new Scanner(System.in);
            String ano = input.next();
            //Leitura do arquivo original:
            List<String> lines = Files.readAllLines(Paths.get("D:\\Coisas\\L\\UNESP\\TCC\\Dados Meteorológicos - IPMET\\" + ano + ".dat"));
            //Formatação para arquivo CSV e leitura DAT:
            final String linhaCSV = "%s,%s,%s,%s,%s\n";
            final String delimiter = " ";
            //Formação do .csv:
```

```

List<String> statementsCSV = new ArrayList<>();
List<String> statementsTXT_Alarm = new ArrayList<>();

statementsCSV.add("ANO,DIA,HORA,VELOCIDADE_VENTO_MEDIA,VELOCI
DADE_VENTO_MAX\n");

//Variáveis para teste de pulo em hora ou dia:
int dia_Anterior = 1;
int hora_Anterior = 0;

final Integer[] Horas_00 = {100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000,
1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300,
2400};

final Integer[] Horas_55 = {55, 155, 255, 355, 455, 555, 655, 755, 855, 955,
1055, 1155, 1255, 1355, 1455, 1555, 1655, 1755, 1855, 1955, 2055, 2155, 2255,
2355};

//Loop para percorrer arquivo .dat original para .csv:
for (int i = 0; i < lines.size(); i++) {
    if (!lines.get(i).isEmpty()) {
        String[] values = lines.get(i).split(delimiter);
        String dia = values[1];
        //Teste caso um dia seja pulado:
        if (Integer.parseInt(dia) >= dia_Anterior) {
            if (Integer.parseInt(dia) > dia_Anterior + 1) {
                statementsTXT_Alarm.add(String.format("\\"Linha\\" do loop/arquivo " +
i + ": Um dia Juliano foi pulado. Ocorreu em dia anterior: " + dia_Anterior + " --> dia:
" + dia + ".\n"));
                System.out.println("\\"Linha\\" do loop/arquivo " + i + ": Um dia Juliano
foi pulado. Ocorreu em dia anterior: " + dia_Anterior + " --> dia: " + dia + ".");
            }
        }
    }
}

```

```

//Teste caso uma hora seja pulada: -----> Considerar que ocorre um pulo
em valores de 55 para 00, EXEMPLO: 755 --> 800

String hora = values[2];
if (!(Integer.parseInt(hora) == hora_Anterior + 5)) {
    if (!(Integer.parseInt(hora) == hora_Anterior + 45)) {
        if (!(Integer.parseInt(hora) == 5 && hora_Anterior == 2400)) {
            statementsTXT_Alarm.add(String.format("\\"Linha\\" do loop/arquivo "
+ i + ": Houve um pulo de uma hora/momento para a próxima maior do que 5
minutos. . Ocorreu hora anterior " + hora_Anterior + " --> hora " + hora + "\n"));
            System.out.println("\\"Linha\\" do loop/arquivo " + i + ": Houve um pulo
de uma hora/momento para a próxima maior do que 5 minutos. Ocorreu hora anterior
" + hora_Anterior + " --> hora " + hora + "\n");
        }
    }
}
//Teste e ajuste caso a velocidade média de vento seja menor que 1:
String velocidade_vento_med = values[9];
if (velocidade_vento_med.charAt(0) == '!') {
    velocidade_vento_med = "0".concat(velocidade_vento_med);
}
//Teste e ajuste caso a velocidade máxima de vento seja menor que 1:
String velocidade_vento_max = values[7];
if (velocidade_vento_max.charAt(0) == '!') {
    velocidade_vento_max = "0".concat(velocidade_vento_max);
}
//Teste caso os valores de velocidade sejam iguais a 0, logo um erro do
sensor ocorreu:
if (values[7].equals("0") && values[9].equals("0")) {
    statementsTXT_Alarm.add(String.format("\\"Linha\\" do loop/arquivo " + i
+ ": Os valores relevantes de velocidade do vento (média e máxima) são iguais a 0,
possível erro no sensor meteorológico.\n"));
    System.out.println("\\"Linha\\" do loop/arquivo " + i + ": Os valores
relevantes de velocidade do vento (média e máxima) são iguais a 0, possível erro no
sensor meteorológico.\n");
}

```

```
    }

    dia_Anterior = Integer.parseInt(dia);
    hora_Anterior = Integer.parseInt(hora);
    statementsCSV.add(String.format(linhaCSV, ano, dia, hora,
velocidade_vento_med, velocidade_vento_max));

    }

}

//Salva arquivo csv:
Files.write(Paths.get(String.format("Processado_%s.csv", ano)),
statementsCSV);

//Se não for vazio, arquivo txt de erros é printado:
if (!statementsTXT_Alarm.isEmpty()) {
    Files.write(Paths.get(String.format("ErrosEncontrados-%s.txt", ano)),
statementsTXT_Alarm);

    }

System.out.print("Continuar?\n\t0 - Continuar;\n\tOutro - Parar;\n");
pare = input.nextInt();

}

}

}
```

## APÊNDICE 2

Programa principal criado para o MATLAB fazendo a geração de resultados dos gráficos e tabelas finais (arquivo do tipo .m):

```
%=====
==

%{

PROGRAMA PRINCIPAL TCC - SIMULAÇÃO DE POTENCIAL ELÉTRICO TEÓRICO DE UMA
TURBINA EÓLICA

Feito por: Leonel Lorca Biolcati           RA: 211021661

Nesse programa os arquivos produzidos a partir dos programas Java de
preparo de arquivo são processados e transformados em tabelas, gráficos
e

dados necessárias para a pesquisa do TCC.

O programa tem como objetivo fazer gráficos que mostram as energias
geradas por cada mês em sua totalidade em todos os anos do período,
assim como um que trará a média de todos os meses no período de ano
o Coeficiente de Betz em seu mínimo 35% e seu máximo 50% baseado
em resultados obtidos por outras pesquisas. Também será feito uma tabela
que mostrará a média e desvio padrão de cada um dos meses.

Durante o processo do programa os valores adquiridos do IPMET e INMET
serão usados para descobrir o potencial elétrico das turbinas eólicas em
uma dada região em Watts e depois em Megajoules considerando o tempo
entre

entradas de dados.

%}

%=====
==
```

```

clc

clear

%=====
==

%Variáveis para testes:

%Trocas de meses em data juliana

jd_normal = [31, 59, 90, 120, 151, 181, 212, 243, 273, 304, 334]; %Ano
termina com 365

jd_bissexto = [31, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 244, 274, 305, 335]; %Ano
termina com 366

%=====
==

%Variáveis para conter dados e cálculos:

j = 0;

ano = 1;

mes = 1;

dia = 1;

meses_nome = [" Janeiro" " Fevereiro" " Março" " Abril" " Maio" " Junho"
" Julho" " Agosto" " Setembro" " Outubro" " Novembro" " Dezembro"];

meses_nome_red = ["Jan" "Fev" "Mar" "Abr" "Mai" "Jun" "Jul" "Ago" "Set"
"Out" "Nov" "Dez"];

meses_num = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12];

anos = [];

%Caminho para salvar arquivos nas pastas certas:

%Var caminho inicializado:

FolderName = "";

%DÉV - Windows

FolderName = 'D:\Coisas\L\UNESP\TCC\ProgramasTccIPMET\ProgMatlab';

```

```

if(strcmp(FolderName, ""))
    FolderName = input("Coloque aqui o caminho onde os arquivos serão
    guardados, reconhecendo que uma estrutura de pastas precisa ser feita
    para o funcionamento correto: ");
end

%Variável para segurar uma tabela a ser salva:

tabela_feita = '';

%Para variáveis seguintes, considere colunas = mês e linhas = ano:

%Valores adquiridos de Megajoules a partir de Cp=35 e Velocidade de
Vento Média

MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = [];

%Valores adquiridos de Megajoules a partir de Cp=50 e Velocidade de
Vento Média

MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = [];

%Estes arrays seguram os valores dos dias de um mês para que a somatória
de

% tudo produzido no mês seja calculada, eles são limpos na troca de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];
DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

%Estes arrays seguram os valores de um dia para fazer a somatória do

%produzido no dia, depois são limpos quando os dias trocam:

Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];
Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

%Variáveis para conter Desvios Padrão:

DP_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = [];
DP_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = [];

%Variáveis para conter Médias:

Med_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = [];

```

```

Med_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = [];

%Coeficiente de Variação:

CV_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = [];
CV_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = [];

%=====
==

%Adquirindo as variáveis utilizadas:

fprintf("Entrada de todas as variáveis necessárias:\n");

%Raio da Turbina Eólica:

Raio = 26.45;

if(Raio == 0)

    Raio = input("Raio das pás da turbina eólica (em metros): ");

end

Area = (Raio^2)*pi;

%Altura do Hub/Eixo:

altura_eixo = 73;

if(altura_eixo == 0)

    altura_eixo = input("Altura do eixo da turbina eólica (em metros): ");

end

%Velocidade mínima::

min_vel = 2;

if(min_vel == 0)

    min_vel = input("Velocidade do vento mínima aceita pela turbina
eólica (em metros/segundo): ");

end

%Velocidade nominal:

```

```

nom_vel = 13;

if(nom_vel == 0)

    nom_vel = input("Velocidade do vento nominal aceita pela turbina
eólica (em metros/segundo): ");

end

%Velocidade máxima::

max_vel = 25;

if(max_vel == 0)

    max_vel = input("Velocidade do vento máxima aceita pela turbina
eólica (em metros/segundo): ");

end

%Altura do equipamento meteorológico (padrão é 10 metros)::

altura_equip = 10;

if(altura_equip == 0)

    altura_equip = input("Altura do equipamento meteorológico utilizado
para adquirir dados de vento (em metros): ");

end

%Valor de rugosidade dado em metros, 1.6 é o padrão para grandes
cidades::

rugo_val = 1.6;

if(rugo_val == 0)

    rugo_val = input("Valor de rugosidade para a região onde a turbina
será instalada, padrão para cidades grandes é 1.6 (dado em metros): ");

end

%Densidade do Ar (letra grega ró)::

densidade_ar = 1.225;

if(densidade_ar == 0)

    densidade_ar = input("Densidade do ar da região (em kg/m^3): ");

```

```

end

%Entrada dos arquivos .csv necessários de velocidade de vento:

% Dados da data vem na ordem: ano, dia (juliano), hora, velocidade vento

% média e velocidade vento máxima.

data = [];

%Variável para loop de entradas:

cont = 1;

contador = 0;

%Coloque os arquivos .csv dentro do mesmo arquivo onde o programa está!

fprintf("Entrada dos arquivos .csv de Velocidade de Vento, lembre de
colocar os arquivos dentro da mesma pasta onde fica o programa.\n");

while cont == 1

    contador = contador + 1;

    %Nome do Arquivo .csv que será adicionado:

    arq_num = input("Coloque o nome/número do ano do arquivo: ");

    arq_nome = (append("Processado_", string(arq_num), ".csv"));

    add = readmatrix(arq_nome);

    %Adicionando dados do arquivo em data:

    data = [data ; add];

    %Teste para continuar ou parar while loop:

    cont = input("Outro arquivo será adicionado?\n1 - Sim;\nQualquer
outro valor - Não.\n\nEntrada: ");

end

=====
==

%INÍCIO DO PROGRAMA

fprintf("\n*****
```

```

*\n\n");
fprintf("INÍCIO DO PROGRAMA\n");

%PARTE 1: Loop de leitura do arquivo e geração de dados:

anos = [(data(1,1))];

anos_graf = [int2str(data(1,1))];

ano_inicial = data(1,1);

ano_final = data(height(data), 1);

i = 1; %Contador das linhas do arquivo

while(i < height(data))

    %Gera os dados do momento, falta implementar (considerando valores de
    %velocidade do vento mínima, máxima, etc).

    %Testes para velocidade de vento média:

    %Modificação da velocidade do vento em relação a altura:

    VelocidadeVento = data(i, 4) * (log(altura_eixo/rugo_val) /
log(altura_equip/rugo_val));

    data(i, 5) = VelocidadeVento;

    if(VelocidadeVento >= min_vel && VelocidadeVento <= nom_vel)

        energia_gerada =
0.5*densidade_ar*Area*(VelocidadeVento^3)*300/1000000;

        Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia =
[Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia, energia_gerada*0.35];

        Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia =
[Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia, energia_gerada*0.5];

    end

    if(VelocidadeVento < min_vel || VelocidadeVento > max_vel)

        Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia =
[Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia, 0];

        Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia =

```

```

    [Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia, 0];

    end

    if (VelocidadeVento > nom_vel && VelocidadeVento <= max_vel)

        energia_gerada = 0.5*densidade_ar*Area*nom_vel*300/1000000;

        Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia      =
        [Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia, energia_gerada*0.35];

        Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia      =
        [Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia, energia_gerada*0.5];

    end

%=====
%Loop faz testes para ver em que mês estamos no calendar,
%assim como incrementa i, para continuar lendo o arquivo e fazer os
cálculos necessários.

%Se o dia vai mudar, consolida os dados do dia nos arrays DiaMes e
limpa o array Dia:

if (dia ~= data(i+1, 2))

    %Consolida a soma de toda a energia gerada no dia para uma
    célula

    %do array DiaMes:

        DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia      =
        [DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia,
        sum(Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia) ];

        DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia      =
        [DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia,
        sum(Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia) ];

    %Limpa o array de storage do dia para entradas do próximo:

    Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];
    Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

```

```

%Se o mês for mudar, consolida os dados do mês nos arrays
MesAno e

%limpa o array DiaMes:

if (leapyear(data(i,1)) == 0)

    if (mes < 12 && data(i,2) < jd_normal(mes) && data(i+1, 2)
> jd_normal(mes))

        %Adicionar a somatória dos valores meses para o array
de

%valores dos anos:

MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

mes = mes + 1;

end

if (mes < 12 && data(i, 2) == jd_normal(mes) &&
data(i+1,2) ~= jd_normal(mes) )

    %Adicionar a somatória dos valores meses para o array
de

%valores dos anos:

MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

```

```

    DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

    mes = mes + 1;

    end

    if(data(i, 2) == 365 && data(i+1, 2) ~= 365)

        %Adicionar a somatória dos valores meses para o array
        de

            %valores dos anos:

            MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
            sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

            MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
            sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

            %Limpar os arrays de mês:

            DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

            DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

            ano = ano + 1;

            anos = [anos, (data(i+1,1))];

            j = j + 1;

            mes = 1;

            dia = 1;

            end

        end

        if(leapyear(data(i,1)) == 1)

            if(mes < 12 && data(i,2) < jd_bissesto(mes) && data(i+1,
            2) > jd_bissesto(mes))

                %Adicionar a somatória dos valores meses para o array
                de

                    %valores dos anos:

                    MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =

```

```

sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

    %Limpar os arrays de mês:

    DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

    DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

    mes = mes + 1;

end

if(mes < 12 && data(i, 2) == jd_bissexto(mes) &&
data(i+1,2) ~= jd_bissexto(mes) )

    %Adicionar a somatória dos valores meses para o array
de

    %valores dos anos:

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

    %Limpar os arrays de mês:

    DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

    DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

    mes = mes + 1;

end

if(data(i, 2) == 366 && data(i+1, 2) ~= 366)

    %Adicionar a somatória dos valores meses para o array
de

    %valores dos anos:

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =

```

```

sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

ano = ano + 1;

anos = [anos, (data(i+1,1))];

j = j + 1;

mes = 1;

dia = 1;

end

end

end

i=i+1;

dia = data(i, 2);

end

%Últimas consolidações de dados que o while loop não é capaz de fazer,
%devido a i maior que height(data)

%Testes para velocidade de vento média:

%Modificação da velocidade do vento em relação a altura:

VelocidadeVento = data(i, 4) * (log(altura_eixo/rugo_val) /
log(altura_equip/rugo_val));

data(i, 5) = VelocidadeVento;

if(VelocidadeVento >= min_vel && VelocidadeVento <= nom_vel)

    energia_gerada =
0.5*densidade_ar*Area*(VelocidadeVento^3)*300/1000000;

    Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia =
[Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia, energia_gerada*0.35];

```

```

        Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia      =
[Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia, energia_gerada*0.5];

end

if(VelocidadeVento < min_vel || VelocidadeVento > max_vel)

        Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia      =
[Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia, 0];

        Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia      =
[Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia, 0];

end

if(VelocidadeVento > nom_vel && VelocidadeVento <= max_vel)

    energia_gerada = 0.5*densidade_ar*Area*nom_vel*300/1000000;

        Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia      =
[Dia_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia, energia_gerada*0.35];

        Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia      =
[Dia_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia, energia_gerada*0.5];

end

if(leapyear(data(i,1)) == 0)

    if(mes < 12 && data(i,2) < jd_normal(mes) && data(i+1, 2) >
jd_normal(mes))

        %Adicionar a somatória dos valores meses para o array de

        %valores dos anos:

        MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

        MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

        %Limpar os arrays de mês:

        DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];
        DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

        mes = mes + 1;

```

```

end

if(mes < 12 && data(i, 2) == jd_normal(mes) && data(i+1,2) ~=
jd_normal(mes) )

%Adicionar a somatória dos valores meses para o array de

%valores dos anos:

MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

mes = mes + 1;

end

if(data(i, 2) == 365)

%Adicionar a somatória dos valores meses para o array de

%valores dos anos:

MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes) =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

end

end

if(leapyear(data(i,1)) == 1)

if(mes < 12 && data(i,2) < jd_bissesto(mes) && data(i+1, 2) >

```

```

jd_bissexto(mes) )

%Adicionar a somatória dos valores meses para o array de

%valores dos anos:

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano,   mes)   =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano,   mes)   =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

mes = mes + 1;

end

if(mes < 12 && data(i, 2) == jd_bissexto(mes) && data(i+1,2) ~=
jd_bissexto(mes) )

%Adicionar a somatória dos valores meses para o array de

%valores dos anos:

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano,   mes)   =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

    MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano,   mes)   =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

mes = mes + 1;

end

if(data(i, 2) == 366)

%Adicionar a somatória dos valores meses para o array de

%valores dos anos:

```

```

        MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano,    mes)   =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia);

        MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano,    mes)   =
sum(DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia);

%Limpar os arrays de mês:

DiaMes_PotencialEolicaJoules_35_VvMedia = [];

DiaMes_PotencialEolicaJoules_50_VvMedia = [];

end

end

%PARTE 2: Geração de tabelas e gráficos:

conta_figura = 1;

% 2.1 Geração dos gráficos dos meses dentro de um ano:

c = 1;

txt_LegendasMesesDoAno = fopen('LegendasMesesDoAno.txt', 'wt');

while(c <= ano)

    %Terá geração de gráfico para cada uma das versões para todos os
    anos:

    %1. Anos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia

    bar(meses_nome_red, MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(c, :));

    fprintf(txt_LegendasMesesDoAno, "Figura %d. Gráfico de potência total
de    cada    mês    do    ano    %d    para    coeficiente    de    potência
35PORCENTAGEM.\r\nEnergia    gerada    no    ano    inteiro:    %.2f    MJ\r\n\r\n",
conta_figura,           ano_inicial      +      c      -      1,
sum(MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(c, :)));

    xlabel(strcat("Meses de ", int2str(ano_inicial + c - 1)));

    ylabel('Energia gerada (MJ)');

    nome=(strcat('PotencialEolicoJoules_35_VvMedia_', int2str(ano_inicial
+ c - 1), '_ContaFig_', int2str(conta_figura), '.jpg'));

    saveas(gcf,fullfile([FolderName, '\IPMET_Resultados\Grafs_Anuais']),

```

```

nome)); %Windows

conta_figura = conta_figura + 1;

clf;

%2. Anos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia

bar(meses_nome_red, MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(c, :));

fprintf(txt_LegendasMesesDoAno, "Figura %d. Gráfico de potência total
de cada mês do ano %d para coeficiente de potência
50PORCENTAGEM.\r\nEnergia gerada no ano inteiro: %.2f MJ\r\n\r\n",
conta_figura, ano_inicial + c - 1,
sum(MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(c, :)));

xlabel(strcat("Meses de ", int2str(ano_inicial + c - 1)));
ylabel('Energia gerada (MJ)');

nome=(strcat('PotencialEolicoJoules_50_VvMedia_', int2str(ano_inicial
+ c - 1), '_ContaFig_', int2str(conta_figura), '.jpg'));

saveas(gcf,fullfile([FolderName, '\IPMET_Resultados\Grafs_Anuais'], nome));
%Windows

conta_figura = conta_figura + 1;

clf;

c = c + 1;

end

fclose(txt_LegendasMesesDoAno);

% 2.2 Geração dos gráficos comparando o mesmo mês de cada um dos anos:

c = 1;

txt_LegendasMesAnos = fopen('LegendasMesAnos.txt', 'wt');

while(c <= 12)

anos_graf = ano_inicial:1:ano_final;

%1. MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes)

SomaMeses = (MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(:, c));

```

```

bar(anos_graf, SomaMeses, 0.8);

fprintf(txt_LegendasMesAnos, "Figura %d. Gráfico de potência total
gerada no mês %s em cada ano analisado para coeficiente de potência
35PORCENTAGEM.\r\n\r\n", conta_figura, meses_nome(c));

xlabel(strcat('Anos'));

ylabel('Energia gerada (MJ)');

xticks(ano_inicial:1:ano_final);

nome=(strcat('ResultadosMesesAnos_35VvMed_', meses_nome(c),
'_ContaFig_', int2str(conta_figura), '.jpg'));

saveas(gcf,fullfile([FolderName, '\IPMET_Resultados\Grafs_Mensais'],
nome)); %Windows

conta_figura = conta_figura + 1;

clf;

%2. MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes)

SomaMeses = (MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(:, c));

bar(anos_graf, SomaMeses, 0.8);

fprintf(txt_LegendasMesAnos, "Figura %d. Gráfico de potência total
gerada no mês %s em cada ano analisado para coeficiente de potência
50PORCENTAGEM.\r\n\r\n", conta_figura, meses_nome(c));

xlabel(strcat('Anos'));

ylabel('Energia gerada (MJ)');

xticks(ano_inicial:1:ano_final);

nome=(strcat('ResultadosMesesAnos_50VvMed_', meses_nome(c),
'_ContaFig_', int2str(conta_figura), '.jpg'));

saveas(gcf,fullfile([FolderName, '\IPMET_Resultados\Grafs_Mensais'],
nome)); %Windows

conta_figura = conta_figura + 1;

clf;

c = c + 1;

```

```

end

fclose(txt_LegendasMesAnos);

% 2.4 Geração da média e desvio da média:

c = 1;

%Primeiro são geradas as médias e desvios padrões de cada mês:

while(c <= 12)

    %1. MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes)

        DP_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = 
[DP_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia,
int32(ceil(std(MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(:, c))));

        Med_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = 
[Med_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia,
int32(ceil(mean(MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(:, c))));

        CV_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia = 
[CV_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia,
int32(round(ceil(std(MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(:, c))/ceil(mean(MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(:, c))) * 100,
2))];

    %2. MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes)

        DP_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = 
[DP_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia,
int32(ceil(std(MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(:, c))));

        Med_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = 
[Med_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia,
int32(ceil(mean(MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(:, c))));

        CV_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia = 
[CV_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia,
int32(round(ceil(std(MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(:, c))/ceil(mean(MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(:, c))) * 100,
2))];

    c = c + 1;

end

```

```

txt_LegendasMediaMeses = fopen('LegendasMediaMeses.txt', 'wt');

%Depois é a geração do gráfico das médias gerais de energia pra cada mês
do ano

%Med_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia

bar(meses_nome_red, Med_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia, 0.8);

fprintf(txt_LegendasMesesDoAno, "Figura %d. Gráfico de potência média
gerada de todos os gráficos para coeficiente de potência em
35PORCENTAGEM.\r\n\r\n", conta_figura);

conta_figura = conta_figura + 1;

xlabel(strcat('Meses'));

ylabel('Energia gerada (MJ)');

nome=(strcat('ResultadosMédiaMeses_35VvMedia',
              '_ContaFig_',
              int2str(conta_figura), '.jpg'));

saveas(gcf, fullfile([FolderName,
                     '\IPMET_Resultados\MediasMeses\'],
                     nome)); %Windows

conta_figura = conta_figura + 1;

clf;

%Med_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia

bar(meses_nome_red, Med_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia, 0.8);

fprintf(txt_LegendasMesesDoAno, "Figura %d. Gráfico de potência média
gerada de todos os gráficos para coeficiente de potência em
50PORCENTAGEM.\r\n\r\n", conta_figura);

conta_figura = conta_figura + 1;

xlabel('Meses');

ylabel('Energia gerada (MJ)');

nome=(strcat('ResultadosMédiaMeses_50VvMedia',
              '_ContaFig_',
              int2str(conta_figura), '.jpg'));

saveas(gcf, fullfile([FolderName,
                     '\IPMET_Resultados\MediasMeses\'],
                     nome)); %Windows

```

```

conta_figura = conta_figura + 1;

clf;

fclose(txt_LegendasMediaMeses);

%Então as tabelas são geradas pra cada variação:

headersTabela = ["Mês", "Média", "Desvio Padrão", "Coeficiente de
Variação (%)"];

%1. MesAnos_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia(ano, mes)

tabela_feita = table(transpose(meses_nome),
transpose(Med_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia),
transpose(DP_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia),
transpose(CV_PotencialEolicoJoules_35_VvMedia), 'VariableNames',
headersTabela);

nome=(strcat('\IPMET_Resultados\Tabelas\Tabela_PotencialEolicoJoules_35_
VvMedia.csv')); %Windows

writetable(tabela_feita,append(FolderName,nome))

%2. MesAnos_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia(ano, mes)

tabela_feita = table(transpose(meses_nome),
transpose(Med_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia),
transpose(DP_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia),
transpose(CV_PotencialEolicoJoules_50_VvMedia), 'VariableNames',
headersTabela);

nome=(strcat('\IPMET_Resultados\Tabelas\Tabela_PotencialEolicoJoules_50_
VvMedia.csv')); %Windows

writetable(tabela_feita,append(FolderName,nome))

fprintf("\n*****\n");

fprintf("FINAL DO PROGRAMA\n");

%FINAL DO PROGRAMA

```