

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**BRUNA BACH
LUCAS EDUARDO WEBER**

**FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA
MICROTURBINA EÓLICA ANEMOS MWT522**

PONTA GROSSA

2022

**BRUNA BACH
LUCAS EDUARDO WEBER**

**FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA
MICROTURBINA EÓLICA ANEMOS MWT522**

**Tool for the analysis of the economic viability of Anemos wind microturbine
MWT522**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser.

**PONTA GROSSA
2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BRUNA BACH
LUCAS EDUARDO WEBER**

**FERRAMENTA PARA A ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA
MICROTURBINA EÓLICA ANEMOS MWT522**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 12 de dezembro de 2022

Daniel Poletto Tesser
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fábio Neves Pugliesi
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Davi Fusão
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA
2022**

RESUMO

O aumento populacional e o desenvolvimento tecnológico aumentam a demanda de energia elétrica por todo o mundo, sendo assim, intensificam-se as buscas por fontes de energias renováveis. Em busca de atender essa crescente demanda e contar com menos impactos ambientais, a energia eólica vem se difundindo e popularizando cada vez mais, a exemplo disto, microturbinas eólicas para residências são cada vez mais comuns no mercado. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta que determine de forma rápida qual o tempo de retorno de investimento com a instalação de uma microturbina eólica, permitindo ao usuário da ferramenta alterar as características envolvidas de acordo com a região de interesse. Com a média da velocidade dos ventos, sua extrapolação de altura para atender às mais diversas instalações, e com a curva de potência de uma microturbina específica aplicada a uma distribuição de densidade de probabilidade, fez-se a análise de viabilidade econômica. Por fim, a utilização dos dados de duas cidades como exemplo mostrou a aplicação e uso da ferramenta, além de assinalar os diferentes cenários eólicos presentes no país.

Palavras-chave: energia eólica; microturbina; geração distribuída; viabilidade econômica.

ABSTRACT

Population growth and technological development increase the electricity demand around the world, thus intensifying the search for renewable energy sources. In order to meet this growing demand and lessen environmental impacts, wind energy has been spreading and becoming more and more popular, as such, wind microturbines for homes are increasingly common in the market. The objective of this academic work is to develop a tool that quickly determines the time for investment return with the installation of a wind microturbine, allowing the user of the tool to change the involved characteristics according to the region of interest. With the average wind speed, its height extrapolation to meet the most diverse installations, and with the power curve of a specific microturbine applied to a probability density distribution, the economic viability analysis was carried out. Finally, the use of data from two cities as an example to showcase the application and use of the tool, in addition to pointing out the different wind scenarios present in the country.

Keywords: wind energy; microturbine; distributed generation; economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Ranking das 10 maiores capacidades eólicas acumuladas em 2021	
.....	15
Gráfico 2 - Ranking dos 10 maiores aumentos na capacidade eólica em 2021	15
Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica em porcentagem para 2021	16
Figura 2 - Microturbina Anemos-MWT522	17
Gráfico 3 - Curva de potência real coletada/Curva interpolada	29
Gráfico 4 - Distribuição de Weibull para Curitiba a 10 metros de altura	29
Gráfico 5 - Distribuição de Weibull para Natal a 10 metros de altura	32
Figura 3 - Ferramenta para análise de viabilidade econômica da Microturbina Anemos-MWT522	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimentos da rugosidade segundo Atlas Eólico Europeu	22
Tabela 2 - Potência gerada de acordo com as velocidades coletadas no túnel de ventos.....	26
Tabela 3 - Interpolação para velocidades coletadas no túnel de ventos.....	28
Tabela 4 - Potência estimada com a instalação da turbina a 10m de altura na cidade de Curitiba	30
Tabela 5 - Retorno de investimento para microturbina Anemos na cidade de Curitiba.....	31
Tabela 6 - Potência estimada com a instalação da turbina a 10m de altura na cidade de Natal	33
Tabela 7 - Retorno de investimento para microturbina Anemos na cidade de Natal.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Associação Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
GWEC	Conselho Global de Energia Eólica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
OIE	Oferta Interna de Energia
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
PE	Pernambuco
PR	Paraná
RN	Rio Grande do Norte

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
σ	Desvio padrão
ρ	Densidade
Γ	Função Gama
Σ	Somatório
m	Massa
A	Área
c	Fator de escala
C_p	Coefficiente de potência
e	Número de Euler
E	Energia
$f(V)$	Função da distribuição de Weibull
$F(V)$	Função de probabilidade acumulada
GW	Giga watts
k	Fator de forma
kg	Quilograma
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
m	Metro
m/s	Metros por segundo
MW	Megawatt
n	Número de dados coletados
n°	Número
V	Velocidade
V_i	Velocidades coletadas
V_m	Velocidade média
V_{mr}	Velocidade média de rajada
VP	Valor presente
$V(z)$	Velocidade média do vento na altura z
$V(z_r)$	Velocidade do vento na altura de referência
P	Potência
R\$	Reais
W	Watts
z	Altura desejada
z_0	Comprimento da rugosidade
z_r	Altura de referência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Energia eólica	13
2.2	Microturbina Anemos MWT522	16
2.3	Resolução normativa 482/2012	18
2.4	Análise Econômica.....	18
3	METODOLOGIA	20
3.1	Locais de estudo	20
3.2	Média das velocidades.....	20
3.3	Extrapolção de altura	21
3.4	Potência Gerada	22
3.5	Distribuição de Weibull	23
3.6	Viabilidade Econômica	24
4	RESULTADOS	26
4.1	Instalação em Curitiba	26
4.2	Instalação em Natal	32
4.3	Ferramenta para análise de viabilidade.....	35
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Considerando a crescente demanda humana por energia e a complexidade envolvendo o uso dos combustíveis fósseis, seja em função de sua finitude ou de suas consequências para o meio ambiente, as energias renováveis mostram-se cada vez mais viáveis como uma alternativa a ser estudada e utilizada.

Segundo dados da Resenha Energética Brasileira, do Ministério de Minas e Energia do Brasil, nos últimos 45 anos houve recuo na participação de derivados de petróleo nas matrizes energéticas tanto do Brasil quanto do mundo. No ano de 2021, as fontes renováveis participaram com 44,7% da Oferta Interna de Energia (OIE) do país, número bem acima da média mundial em 2019, de 13,8%, e dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico) com 11%. Quanto a matriz elétrica do Brasil no último ano, as energias renováveis representaram 78,1%, e, dentro deste quadro aparece a energia eólica, responsável por 10,6% da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), atrás da energia hidráulica, mas com crescimento de 1,9% de 2020 para 2021.

A energia eólica é utilizada há milhares de anos para as mesmas finalidades que as atuais, como bombeamento de água, moagem de grãos e geração de energia mecânica. Mas, sua utilização para geração de energia elétrica e em escala comercial passou a aumentar apenas a partir da década de 70, após a crise do petróleo (ANEEL, 2005).

Além de não utilizar água na sua produção, a baixa emissão de carbono durante sua operação é bastante atrativa para o cenário ambiental atual. Ainda que possua implicações tanto ecológicas quanto sobre os seres humanos, este tipo de energia mostra-se vantajosa e com impactos relativamente menores do que os das fontes de energia tradicionais.

Comumente a geração da energia eólica acontece em parques eólicos, com grandes turbinas, e requer grandes investimentos. Entretanto, o surgimento de turbinas menores no mercado, de porte residencial, possibilita que o consumidor de pequeno porte consiga gerar sua própria energia.

Utilizando as características dos ventos de uma região predeterminada nas especificações técnicas da microturbina Anemos para estimar sua produção de energia, e comparando com os dados de custo de energia e regulamentação da geração distribuída, pretende-se elaborar uma ferramenta que permita a análise de

retorno do investimento, mesmo com mudanças nos parâmetros envolvidos. Desta forma, inserindo informações de cada região, será possível avaliar a viabilidade da instalação da microturbina nas mais variadas regiões.

1.1 Objetivo Geral

Elaborar uma ferramenta com o auxílio do software Excel, que permita a análise da viabilidade econômica da instalação de um modelo específico de microturbina, a Anemos MWT522, em regiões de interesse do usuário.

1.2 Objetivos específicos

- Estudar a geração de energia eólica e a geração distribuída;
- Incorporar os dados técnicos da microturbina estudada aos cálculos de potência gerada e os créditos obtidos com a concessionária de energia para analisar o retorno do investimento.
- Estudar o potencial eólico brasileiro e escolher cidades para ilustrar a ferramenta desenvolvida;
- Buscar as características dos ventos das cidades escolhidas e aplicar nas especificações técnicas da microturbina Anemos, para estimar sua produção de energia e sua viabilidade econômica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Grande aliada do conforto humano, a energia elétrica tem suas primeiras aplicações datadas no século XIX, tornando-se atualmente a principal forma de energia consumida. Sua utilização simplifica atividades cotidianas, conferindo a ideia de ser indispensável à vida moderna, incentivando estudos para o melhor aproveitamento das fontes energéticas bem como a busca por novas fontes (FARIAS; SELLITO, 2011).

2.1 Energia eólica

Diante da inegável importância das energias renováveis, destaca-se a energia eólica, definida como a energia cinética produzida pelo movimento dos ventos, com aproveitamento feito através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, por meio de turbinas eólicas, ou aerogeradores. Devido aos crescentes avanços tecnológicos, essa fonte energética tem aumentado seu desempenho e confiabilidade, bem como diminuído seus custos (ANEEL, 2005). Tais aspectos explicam o crescente interesse por este tipo de energia.

A utilização da energia eólica oferece benefícios ambientais, mas também benefícios socioeconômicos. De acordo com Simas e Pacca (2013), das principais vantagens socioeconômicas, pode-se citar a busca contínua por inovação tecnológica e o desenvolvimento industrial, a geração distribuída e a universalização do acesso à energia, e o desenvolvimento regional e local, principalmente através da criação de empregos dos mais variados níveis de especialização.

Por não fazer uso da água como força motriz nem como fluido refrigerante, não produzir resíduo radioativo ou gasoso, e, em especial, por não emitir poluentes durante sua operação e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, a energia eólica se sobressai como fonte alternativa de muita importância, sendo menos agressiva ao meio ambiente quando comparada com fontes tradicionais de geração de energia (TERCIOTE, 2002).

Todavia, as turbinas para geração de energia eólica têm impactos negativos, como o sonoro, causado pelos ruídos de origem mecânica ou aerodinâmica, em função do giro das pás. Em vista das exigências do mercado, dos avanços tecnológicos e da preocupação com a população do entorno, os níveis de ruído vêm

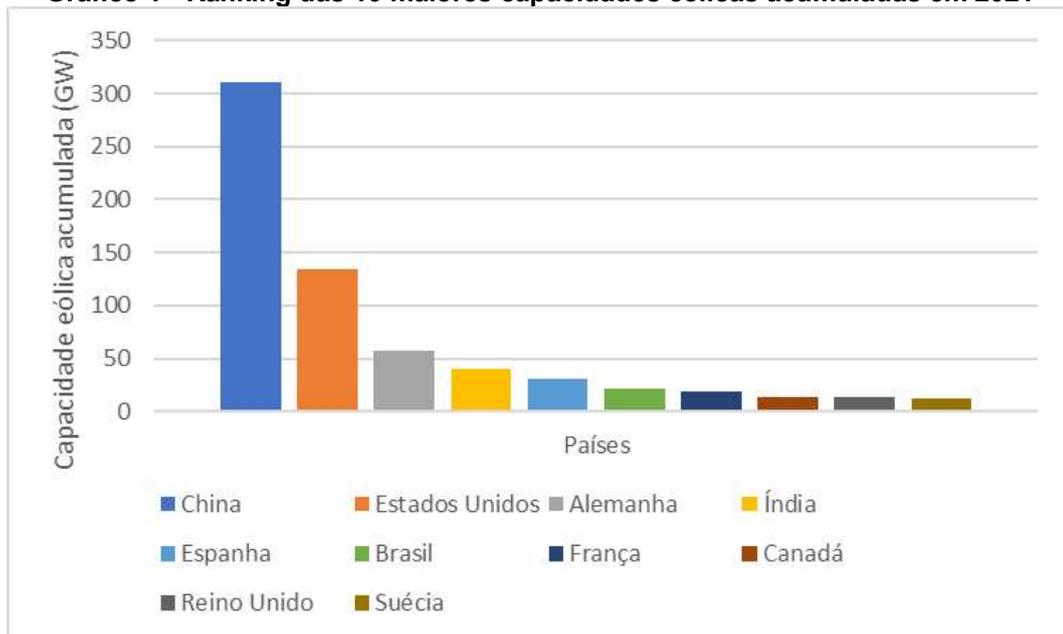
diminuindo, atendendo às normas e padrões estipulados pela legislação vigente (ANEEL, 2005).

Também podem ser considerados impactos negativos a interferência eletromagnética que pode causar perturbações nos sistemas de comunicação e transferência de dados, e a colisão de pássaros com as turbinas e suas grandes estruturas, além da mudança de suas rotas migratórias, o que explica a importância de um estudo de avifauna, que seria o estudo das aves da região, antes da instalação dos aerogeradores (TERCIOTE, 2002).

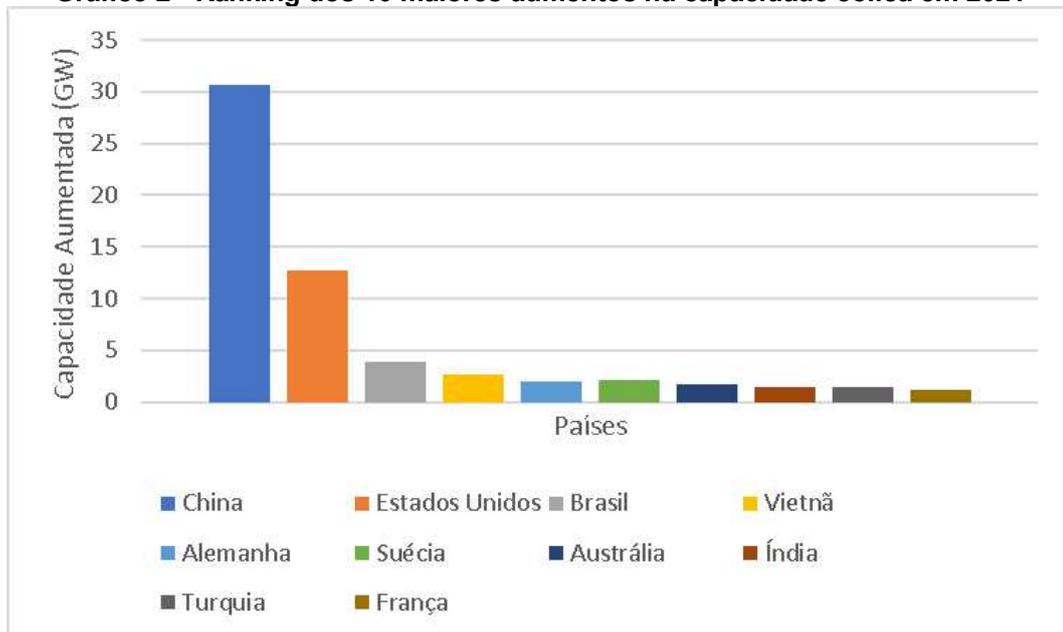
Já os impactos visuais e do uso das terras são questões relativas, já que as atividades agrícolas pré-existentes podem ser mantidas, e a presença das turbinas, ainda que mude a paisagem natural, tende a atrair turistas, possibilitando o desenvolvimento da região (TERCIOTE, 2002).

No Brasil, o primeiro aerogerador a entrar em operação comercial foi instalado em 1992 em Fernando de Noronha (PE), sendo também o primeiro na América Latina (ANEEL, 2005). Entretanto, mesmo com programas de incentivo, o interesse e a instalação de novos empreendimentos só tiveram um aumento expressivo a partir de 2009. A expansão significativa da energia eólica no país na última década pode ser explicada pelos ventos estáveis, sem mudanças bruscas de direção e com intensidade adequada, e também devido ao rápido desenvolvimento da cadeia produtiva local, sendo que 80% da fabricação de uma turbina já pode ser realizada em território nacional. Atualmente, o Brasil possui 795 usinas instaladas, com capacidade acima de 21GW (ABEEólica, 2022).

Publicado em abril de 2022, o Relatório Anual Global do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), coloca o Brasil na sexta posição no Ranking Mundial de capacidade eólica acumulada em 2021, e na terceira como país com maior crescimento de instalação no último ano, com aumento na capacidade próximo à 4 GW, como exposto nos gráficos 1 e 2. Tais valores são significativos em um panorama mundial com 72,5 GW de potência de novas instalações e com 780,3 GW de potência total acumulada, e podem ser justificados em parte pelos leilões de energia, que garantem um desenvolvimento estável do mercado.

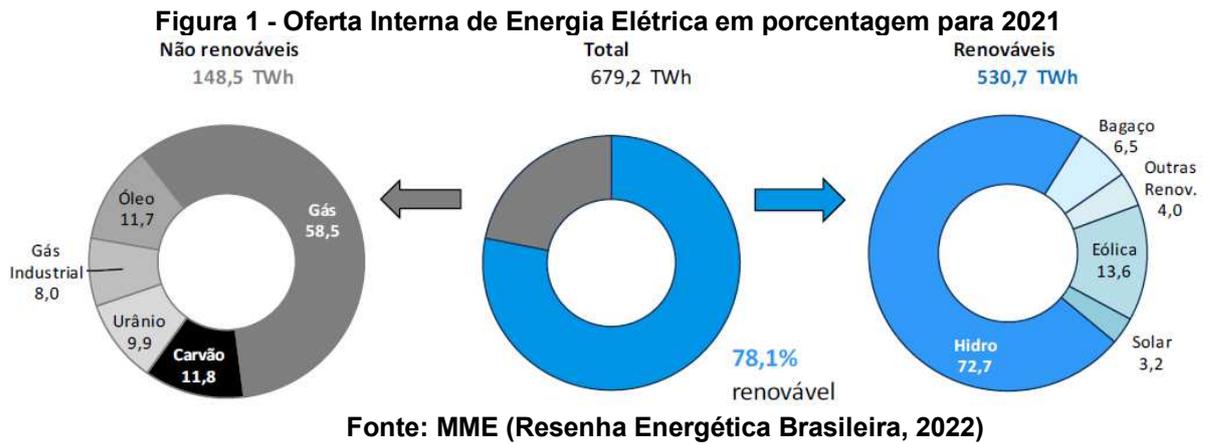
Gráfico 1 - Ranking das 10 maiores capacidades eólicas acumuladas em 2021

Fonte: GWEC (2022)

Gráfico 2 - Ranking dos 10 maiores aumentos na capacidade eólica em 2021

Fonte: GWEC (2022)

Na contramão da média mundial e da média dos países da OCDE, o Brasil conta com uma matriz elétrica baseada em sua maioria em fontes renováveis. A energia eólica aparece em segundo lugar dentro dessa categoria (MME, 2019), e, considerando os problemas climáticos, incluindo as crises hídricas do país, a tendência é que haja uma forte expansão e consolidação na posição alcançada (MENDONÇA et. al. 2019).



2.2 Microturbina Anemos MWT522

Mesmo que o tema energia eólica remeta às turbinas de grande porte, que produzem potências na escala de megawatts, o estudo de aerogeradores menores, de utilização residencial, têm aumentado. Este tipo de tecnologia permite que os consumidores se assumam como pequenos geradores, podendo ocasionar mudanças no futuro perfil energético do país (FERREIRA, 2017).

Percebendo as características e inclinações futuras do mercado, a empresa italiana WeCO, com a colaboração da Universidade de Perugia, desenvolveram uma turbina com peso e dimensões reduzidas, a ANEMOS-MWT522. De acordo com o site da microturbina, o modelo é um dos mais eficientes do mercado, pois apresenta um aproveitamento da potência disponível pelo vento, coeficiente de potência (C_p), dos mais altos para a categoria.

Figura 2 - Microturbina Anemos-MWT522



Fonte: Ener-eco (2016)

A microturbina em estudo é capaz de gerar quase 3 kW de potência com apenas 42 kg de massa e 2 metros de diâmetro do rotor. Suas cinco pás e seu perfil diferenciado permitem o melhor aproveitamento do vento, com velocidade de partida à uma velocidade baixa do vento, 2 m/s, e com bom funcionamento em situações mais turbulentas, 18 m/s. Seus componentes de maior risco, os rolamentos, possuem vida útil de 60000 horas, não acarretando maiores problemas com manutenção (ANEMOS WIND TURBINE, 2019; Ener-Eco, 2019).

A instalação da microturbina, além de facilitada pelo seu baixo peso, pode ser feita numa grande variedade de construções, como casas, prédios, galpões. Existem, entretanto, dois aspectos que requerem atenção antes da determinação do local e altura da instalação, um deles refere-se ao ruído, inevitável principalmente nas situações de maior turbulência do vento, e o outro à eficiência da utilização da turbina, ou seja, a capacidade de gerar potência em função do vento particular do local (ANEMOS WIND TURBINE, 2019; Ener-Eco, 2019).

As características do vento são fundamentais para a determinar os locais onde a utilização da energia eólica é interessante. Algumas ferramentas se mostram úteis na busca dessas características, como por exemplo, o Atlas Eólico Brasileiro do site do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), que possui uma previsão de características dos ventos para qualquer local do território do país. Outra fonte importante é o site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), que disponibiliza

variados dados sobre o tempo e clima, além dos históricos medidos pelas estações meteorológicas distribuídas ao longo do território nacional. Com essas informações, é possível um estudo da quantidade de energia fornecida devido à utilização da turbina eólica, ou seja, da potência produzida por ela, e uma indicação do proveito do seu uso conforme o local de aplicação.

2.3 Resolução normativa 482/2012

Entende-se por geração distribuída a geração de energia pelo consumidor final, que injeta a parcela produzida na rede distribuidora da concessionária local, e o consumo simultâneo através dessa rede (FERREIRA, 2017). Buscando regulamentar o acesso à geração distribuída aos sistemas de energia elétrica e o sistema de compensação, a ANEEL publicou em abril de 2012 a Resolução Normativa nº 482/2012, alterada posteriormente com a Resolução nº 687/2015.

Fica definido por esta norma a microgeração distribuída como central geradora de potência nominal instalada de até 75 kW, e minigeração distribuída acima de 75 kW até 5 MW. A energia injetada na rede pelo consumidor é trocada por créditos, os quais podem ser utilizados para pagar parte ou a totalidade do faturamento. Nos casos em que a produção é maior que o consumo mensal, os créditos podem ser descontados ao longo de 60 meses.

A fim de evitar desperdícios da energia excedente, a norma possibilita a utilização dos créditos em outras unidades consumidoras com o mesmo titular, ainda que em locais distintos. Outra possibilidade é o rateio entre várias unidades consumidoras, como em condomínios e prédios, com a porcentagem de distribuição dos créditos preestabelecida.

A partir da resolução de 2012, pressupõem-se estímulos à geração distribuída, proporcionando benefícios ao sistema elétrico. O já abordado baixo impacto ambiental, a redução nos carregamentos das redes, a minimização das perdas, além da diversificação da matriz energética são alguns dos potenciais benefícios (ANEEL, 2018).

2.4 Análise Econômica

Além das vantagens da geração distribuída já comentadas, devem ser observadas as vantagens econômicas obtidas pelo consumidor ao optar pelo uso da

microturbina Anemos. Deste modo, é necessária uma análise de investimento, que pode ser feita com a utilização de ferramentas específicas capazes de apontar a viabilidade econômico-financeira do projeto (PEDRAZZI 2009, apud Gabbiatti e Feil, 2019).

As ferramentas de análise de investimento são úteis para indicar riscos financeiros, ajudando na tomada de decisão (GITMAN, 2010). Dois índices bastante comuns são o valor presente líquido e o payback, tempo de retorno do investimento, que podem ser usados em conjunto (LEMER JUNIOR, RIGO E CHEROBIM, 2010).

Considerando que o valor do dinheiro varia ao longo do tempo, o valor presente líquido converte os lançamentos do fluxo de caixa, a uma determinada taxa, para o presente. Esse índice ajuda a refletir o crescimento do capital da empresa (LOVATTO, 2019).

Já o payback pode ser compreendido como o tempo de recuperação do investimento despendido com o empreendimento, e as deliberações e conclusões dependem principalmente do período máximo aceitável de payback. (GITMAN, 2010).

Quando o investimento é realizado, os recursos são comprometidos e as previsões podem não se concretizar com o surgimento de eventualidades (LEMER JUNIOR, RIGO E CHEROBIM, 2010), mas com as devidas considerações e sem a ocorrência de imprevisibilidades, o uso dessas ferramentas torna-se decisivo. Para o estudo em questão, sua aplicação aos custos de energia gerada pela microturbina e aos custos com a compra do equipamento, gera indicadores que possibilitam a interpretação e escolha do consumidor.

3 METODOLOGIA

A ferramenta de cálculo proposta neste trabalho usa como base as fórmulas a seguir apresentadas, de maneira adaptada para o *software* Excel. Com a finalidade de ilustrar e testar tal ferramenta, foram escolhidas duas cidades para saber o tempo de retorno de investimento da microturbina Anemos em cada uma delas. Feitas as escolhas, foi necessário encontrar a potência e a energia obtidas para cada local, de acordo com o perfil de velocidade do vento de cada região. Com esses valores, foi possível estimar o crédito no faturamento de energia elétrica, bem como fazer a análise da viabilidade do investimento. Entretanto, a análise pode ser feita para qualquer cidade, desde que o usuário possua os dados específicos da sua região e referentes à instalação da turbina.

3.1 Locais de estudo

Dispondo dos mapas de velocidade média anual do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, é possível prever as regiões com maior intensidade nos ventos, ou seja, as regiões com maior potencial eólico. Utilizando-se desse Atlas, e listando as cidades com estações meteorológicas no INMET, possibilitando a consulta no banco de dados referente à velocidade do vento, foi escolhida a cidade de Natal (RN), levando em conta que a região nordeste do Brasil possui ventos mais significativos. Como a cidade de Ponta Grossa, não consta nas estações do INMET, e seus dados sobre a velocidade média dos ventos são escassos, a segunda cidade escolhida foi Curitiba (PR), que não é conhecida por ventos consideráveis, de forma a ilustrar uma situação oposta a primeira escolhida.

3.2 Média das velocidades

Foram coletados os dados referentes às velocidades do vento medidas de hora em hora, no período de 5 anos, com início em 01 de janeiro de 2017, para avaliar de forma mais precisa o perfil de cada cidade.

Dos dados coletados, alguns foram excluídos do cálculo por conterem erro de medição, provável manutenção na estação. Em Natal esses dados excluídos representam 13,2% do total, e para Curitiba, 2,33%. Com os dados restantes, foi calculada a média da velocidade do vento, pela seguinte fórmula:

$$V_m = \sum_1^i \frac{v_i}{n} \quad (1)$$

Com V_m sendo a velocidade média, v_i os valores de velocidade coletados, e n o número de dados coletados.

A velocidade máxima de rajada, vento com velocidade superior ao medido a cada hora e que dura 20 segundos, também foi considerada, e como não se sabe quantas rajadas inferiores à máxima ocorreram durante uma hora, de forma conservadora foi estimada apenas uma rajada por hora, calculando a média ponderada entre a média de velocidade e a média de velocidade de rajada.

$$V = \frac{(3580 \times V_m) + (20 \times V_{mr})}{3600} \quad (2)$$

Sendo V_{mr} a velocidade média de rajada. Os pesos foram assim determinados pelo tempo de duração de uma rajada.

3.3 Extrapolação de altura

As velocidades medidas pelas estações meteorológicas são referentes à 10 metros de altura. Para instalações em outras alturas, é necessário um ajuste da velocidade. A extrapolação pode ser calculada através da expressão logarítmica:

$$V(z) = V(z_r) \frac{\ln \frac{z}{z_o}}{\ln \frac{z_r}{z_o}} \quad (3)$$

sendo, z a altura desejada, z_r a altura de referência, no caso 10 metros, $V(z)$ a velocidade média do vento na altura z , $V(z_r)$ a velocidade na altura de referência z_r , e z_o o comprimento da rugosidade da região, que é definido como a altura em que o vento se anula, devido às características que o impedem no local (COPEL, 2007).

O comprimento da rugosidade foi tabelado pelo Atlas Eólico Europeu, e está listado na tabela 1 a seguir, para diferentes tipos de terrenos.

A fórmula de extrapolação possui um comportamento que influencia de maneira específica os resultados. Aumentando-se o comprimento da rugosidade, para alturas maiores que a referência, neste caso para alturas maiores que 10 metros, a velocidade na altura que se deseja aumenta. Quando o comprimento da rugosidade é diminuído, a velocidade do vento para alturas acima da referência também diminui. Tal comportamento parece incomum, já que se têm a ideia de que com maiores obstáculos a velocidade do vento é menor do que em campos abertos. Entretanto, essa limitação é decorrente da formulação matemática utilizada.

Tabela 1 - Comprimentos da rugosidade segundo Atlas Eólico Europeu

Comprimentos de Rugosidade	Tipo de terreno
0,0002	Água
0,0024	Terreno aberto com superfícies
0,03	Terreno aberto em uso de agricultura sem cercas potencialmente com algumas casas distribuídas. Morros pouco íngremes
0,0055	Terreno em uso de agricultura com casas e sebes de altura de 8 metros em uma distância de aproximadamente 1250 metros
0,1	Terreno em uso de agricultura com casas e sebes de altura de 8 metros em uma distância de aproximadamente 500 metros
0,2	Terreno em uso de agricultura com muitas casas, arbustos, plantas ou sebes de altura de 8 metros em uma distância de aproximadamente 250 metros
0,4	Aldeias, cidades pequenas, terreno em uso de agricultura com muitas ou altas sebes, florestas, terreno rugoso e relevo
0,8	Cidades grandes com prédios altos, florestas
1,6	Cidades grandes com prédios altos e arranha-céus

Fonte: Schultz (2007) apud Nandi e Santos (2021)

3.4 Potência Gerada

Utilizando a análise simplificada por Pinto (2013), a energia contida na massa de ar, sem variação de pressão ou altitude, pode ser expressa pela sua energia cinética, e a potência, variação da energia no tempo, é representada abaixo:

$$P = \frac{1}{2} mV^2 \quad (4)$$

com m sendo a massa de ar que ultrapassa uma determinada área, neste caso, a área do rotor da turbina. Lembrando que a massa pode ser expressa pelo produto da densidade pela área e pela velocidade, obtêm-se a potência eólica:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (5)$$

percebe-se que a equação é bastante sensível a mudanças na velocidade do vento, já que a variável está elevada a terceira potência.

Cada turbina eólica consegue extrair apenas uma fração da potência disponibilizada pelo vento, essa fração é denominada coeficiente de potência (C_p). Sendo assim, para encontrar a potência fornecida pela turbina, emprega-se a equação:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho AV^3 \quad (6)$$

conhecendo o C_p da turbina, é possível encontrar as potências obtidas em cada faixa de velocidade do vento.

A potência máxima teórica possível de ser extraída vale 59,3% da potência eólica. O coeficiente de 0,593 é chamado de limite ou eficiência de Betz, um dos primeiros nomes a encontrar o valor (PINTO, 2013). Esse parâmetro representa o limite máximo de aproveitamento, facilitando na comparação entre modelos e projetos. Para a turbina em questão, o coeficiente de potência máximo chega a 0,5.

Para encontrar a quantidade de energia gerada pela turbina, é necessário conhecer a potência gerada em cada faixa de velocidade do vento. As potências podem ser obtidas através dos dados do teste de túnel de vento da microturbina Anemos.

3.5 Distribuição de Weibull

Para estimar a velocidade do vento em uma região, já que ela pode ter uma frequência bastante variável, Silva et. al. (1999) sugere o uso da função de densidade de probabilidade de Weibull. Essa distribuição é frequentemente usada para a análise estatística do regime eólico de um local, retornando valores de probabilidade da ocorrência de determinadas faixas de velocidade do vento. definida por:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (7)$$

em que k é o fator de forma, adimensional, c é o fator de escala, com unidade em m/s, e V é a velocidade do vento.

Integrando a equação 7, a função de probabilidade acumulada equivalente $F(V)$ é igual a equação 8.

$$F(V) = \int_0^V f(V)dV = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (8)$$

Os parâmetros k e c podem ser estimados pelo Método da Velocidade Média e Desvio Padrão (Silva et. al. 1999), e dependem apenas dos valores de velocidade média e desvio padrão dos dados utilizados.

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1,086} \quad (9)$$

$$c = \frac{V_m}{\Gamma(1+1/k)} \quad (10)$$

Sendo σ igual ao desvio padrão dos dados de velocidade do vento, V a velocidade média, e Γ a função matemática gama. O desvio padrão pode ser calculado por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i - V_m}{n}} \quad (11)$$

já a função gama é definida pela integral (RAMÍREZ, 2015):

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (12)$$

Encontrados os valores para a distribuição de Weibull, é possível determinar a potência obtida com os ventos característicos da região. Para tanto, é necessário somar o produto da potência da turbina pela densidade de probabilidade para cada faixa de velocidade (equação 13). Já a energia em kWh gerada é resultado da multiplicação de (13) pelo número de horas do período de tempo escolhido (equação 15).

$$P = \sum_{i=0}^n P_i f(V)_i \quad (13)$$

$$E = h \sum_{i=0}^n P_i f(V)_i \quad (14)$$

3.6 Viabilidade Econômica

A análise da viabilidade depende do investimento inicial do valor da turbina e os valores anuais creditados da conta de luz, em função da energia gerada em cada cidade. Para tanto, algumas considerações se fazem necessárias.

O valor creditado na conta pode ser encontrado multiplicando a energia gerada (kWh/ano) pela tarifa cobrada pela concessionária de energia elétrica de cada região pesquisada.

$$\text{Valor creditado} = E \times \text{Valor do kWh} \quad (15)$$

Para Natal o valor cobrado do kWh encontrado foi de R\$0,85 e para Curitiba de R\$0,73. Esses valores foram ajustados anualmente segundo o aumento médio de 4,9% regulamentado pela resolução homologatória nº3049/2022 da ANEEL, de acordo com a equação 16.

$$\text{Valor do kWh} = \text{Valor do kWh no ano anterior} \times 1,049 \quad (16)$$

O investimento da turbina foi estimado em trinta mil reais, sendo esse valor variável, porque depende não só da cotação do euro, mas também da altura na qual se planeja fazer a instalação, tendo em vista que para instalações em grandes alturas o custo pode aumentar.

Para levar em conta a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo, as entradas referentes ao crédito na conta de luz foram corrigidas, com uma taxa genérica a escolha do usuário da ferramenta. Tal correção foi feita transformando em valor presente o valor do kWh, o que implica na correção do crédito anual.

$$\text{Valor do kWh corrigido} = \frac{\text{Valor do kWh}}{(1+i)^n} \quad (17)$$

sendo i a taxa escolhida, e n o número de períodos de aplicação.

Também foi levada em conta uma taxa de manutenção anual genérica, para gastos com troca de rolamentos ou qualquer outra manutenção envolvida.

$$\text{Custo de manutenção} = \text{Investimento inicial} \times \text{taxa de manutenção} \quad (18)$$

Por fim, o retorno de investimento se dá quando os lucros dos valores creditados, descontando o custo de manutenção, utrapassam o investimento inicial, ou seja, ocorre no período em que o saldo envolvendo o investimento, os valores creditados da conta e o custo de manutenção se torna positivo.

4 RESULTADOS

Como antes citado, as cidades escolhidas para a análise são ilustração de cenários distintos da instalação da microturbina Anemos, além de serem úteis para o teste e exemplificação do uso da ferramenta desenvolvida neste trabalho.

4.1 Instalação em Curitiba

Usando como base para cálculo os dados do INMET, Curitiba registrou a velocidade média dos ventos de 1,87 m/s. Valor relativamente baixo, ainda mais quando comparado com informações buscadas em sites de previsão meteorológicas, mas o que permite analisar um cenário mais negativo.

Para a análise aqui feita, não foi considerada uma altura diferente de dez metros, ainda que fosse possível essa mudança de altura.

A potência gerada com cada faixa de velocidade é a mesma para as duas cidades analisadas, baseada nos testes de túnel de ventos da microturbina Anemos. Como o teste foi feito por tempo e não por faixa de velocidade, algumas faixas de velocidades se repetiram ao longo do teste, sendo assim, fez-se a média da potência gerada para as repetições. Fez-se também uma interpolação para obter todos os valores de potência gerada para velocidades de 0 à 20 m/s.

Tabela 2 - Potência gerada de acordo com as velocidades coletadas no túnel de ventos (continua)

Velocidade (m/s)	Potência (Watt)
2,00	0,00
3,50	76,00
4,80	283,00
7,30	448,41
7,40	457,06
7,50	452,90
7,60	531,48
8,00	1059,10
8,60	1447,50
10,20	2458,20
11,20	2988,60

Tabela 2 - Potência gerada de acordo com as velocidades coletadas no túnel de ventos (conclusão)

Velocidade (m/s)	Potência (Watt)
12,40	3278,20
13,50	3334,20
14,30	3360,20
14,70	3356,95
14,90	3329,60
15,00	3322,90
15,10	3345,10
15,20	2780,61
15,30	3349,70
15,50	1830,80
15,90	1831,90
16,00	1604,54
16,10	1672,20
16,20	797,92
16,60	0,00
16,90	0,00
17,20	0,00
17,40	0,00
17,50	0,00
17,60	0,00
17,70	0,00
17,80	0,00
17,90	0,00
18,30	0,10
18,80	0,10
19,40	0,10
20,00	0,10

Fonte: Autoria própria (2022)

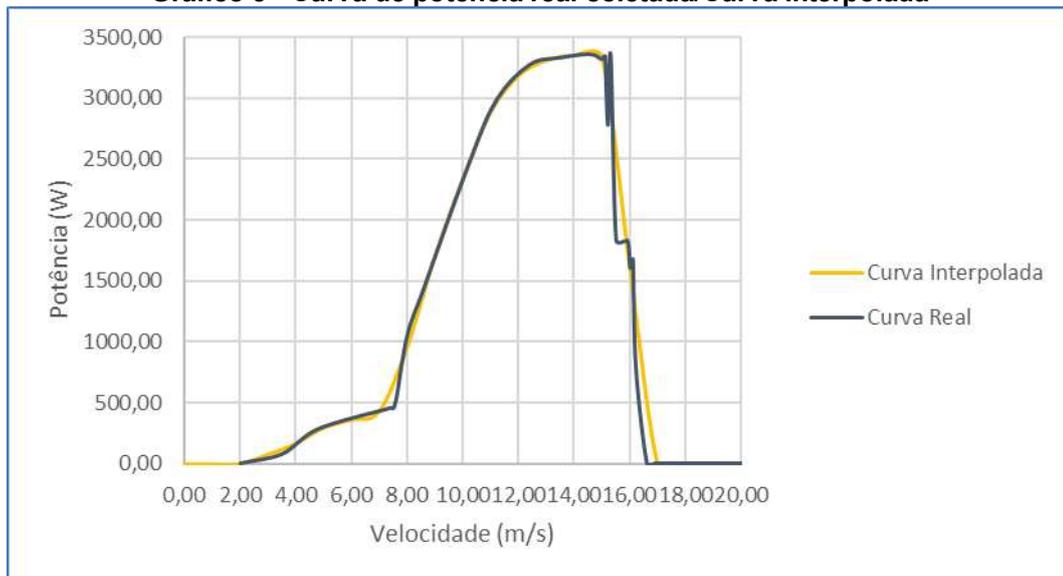
Tabela 3 - Interpolação para velocidades coletadas no túnel de ventos

Velocidade (m/s)	Potência (Watt)
0,00	0,00
1,00	0,00
2,00	0,00
3,00	77,46
4,00	166,31
5,00	296,23
6,00	362,40
7,00	428,56
8,00	953,04
9,00	1700,18
10,00	2331,86
11,00	2882,52
12,00	3181,67
13,00	3308,75
14,00	3350,45
15,00	3332,53
16,00	1604,54
17,00	0,00
18,00	0,03
19,00	0,10
20,00	0,10

Fonte: Autoria própria (2022)

No gráfico 3 é possível visualizar uma comparação das curvas de potência, tanto a curva obtida com os dados dos túneis de vento, quanto a curva de interpolação desses dados. É possível notar a semelhança entre as curvas, e as quedas abruptas na curva real podem ser justificadas por erros de medição.

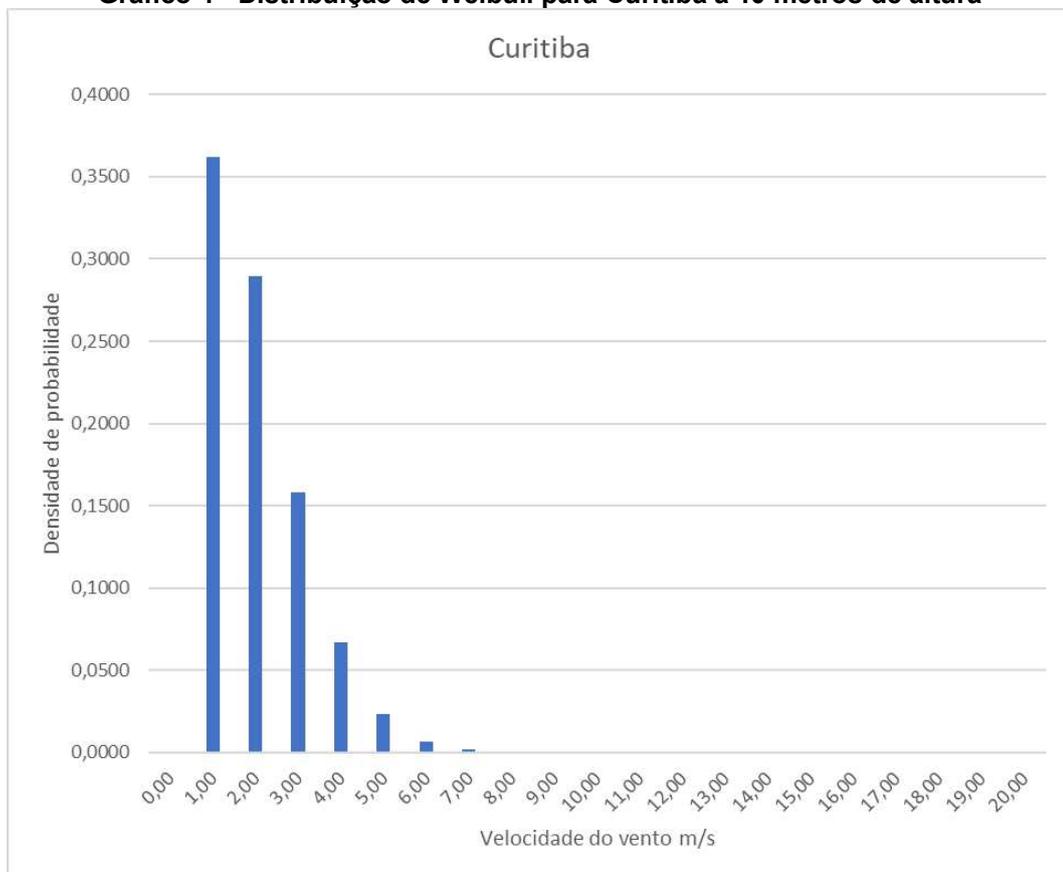
Gráfico 3 - Curva de potência real coletada/Curva interpolada



Fonte: Autoria própria (2022)

Conhecendo as características dos ventos de Curitiba, fez-se a distribuição de Weibull para a cidade, apresentada no gráfico 4.

Gráfico 4 - Distribuição de Weibull para Curitiba a 10 metros de altura



Fonte: Autoria própria (2022)

A potência obtida cidade foi calculada com base na tabela 4, na qual $f(v)$ representa a frequência de ocorrência das velocidades do vento encontrada com a distribuição de probabilidade de Weibull, $P(V)$ a potência gerada pela turbina Anemos nessa faixa de velocidade, e $f(V)*P(V)$ seu produto. Já a energia gerada foi calculada pela equação 15 para o período de um ano, ou seja, 8760 horas. Entretanto, por questão de facilidade, foi utilizado o valor de 8766 horas por ano, para que os anos bissextos fossem considerados.

Tabela 4 - Potência estimada com a instalação da turbina a 10m de altura na cidade de Curitiba

V (m/s)	f(v)	P	f(v)*P
0,00	0,0000	0,0000	0,0000
1,00	0,3620	0,0000	0,0000
2,00	0,2893	0,0000	0,0000
3,00	0,1579	77,4625	12,2297
4,00	0,0672	166,3125	11,1786
5,00	0,0235	296,2328	6,9652
6,00	0,0070	362,3968	2,5192
7,00	0,0018	428,5608	0,7580
8,00	0,0004	953,0408	0,3739
9,00	0,0001	1700,1750	0,1303
10,00	0,0000	2331,8625	0,0309
11,00	0,0000	2882,5200	0,0059
12,00	0,0000	3181,6667	0,0009
13,00	0,0000	3308,7455	0,0001
14,00	0,0000	3350,4500	0,0000
15,00	0,0000	3332,5333	0,0000
16,00	0,0000	1604,5429	0,0000
17,00	0,0000	0,0000	0,0000
18,00	0,0000	0,0250	0,0000
19,00	0,0000	0,1000	0,0000
20,00	0,0000	0,1000	0,0000
Total (W)			34,1928

Fonte: Autoria própria (2022)

Energia anual gerada em Curitiba = 8766 × 34,1928

Energia anual gerada em Curitiba = 299,73 kWh

Tendo como base as considerações de valor do kWh do Paraná, seu aumento anual, e considerando a taxa de juros como 5% e a de manutenção como 1%, a tabela 5 apresenta a análise para retorno do investimento da microturbina Anemos em Curitiba.

Tabela 5 - Retorno de investimento para microturbina Anemos na cidade de Curitiba

Ano	Valor Energia (R\$/kwh)	Corrigido (R\$/kwh)	Valor Entrada (R\$)	Saldo (R\$)
0	R\$ 0,73	R\$ 0,73	-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00
1	R\$ 0,77	R\$ 0,73	-R\$ 81,40	-R\$ 30.081,40
2	R\$ 0,80	R\$ 0,77	-R\$ 70,69	-R\$ 30.152,09
3	R\$ 0,84	R\$ 0,80	-R\$ 59,45	-R\$ 30.211,55
4	R\$ 0,88	R\$ 0,84	-R\$ 47,67	-R\$ 30.259,22
5	R\$ 0,93	R\$ 0,88	-R\$ 35,30	-R\$ 30.294,52
6	R\$ 0,97	R\$ 0,93	-R\$ 22,33	-R\$ 30.316,85
7	R\$ 1,02	R\$ 0,97	-R\$ 8,73	-R\$ 30.325,58
8	R\$ 1,07	R\$ 1,02	R\$ 5,54	-R\$ 30.320,04
9	R\$ 1,12	R\$ 1,07	R\$ 20,52	-R\$ 30.299,52
10	R\$ 1,18	R\$ 1,12	R\$ 36,22	-R\$ 30.263,30
11	R\$ 1,24	R\$ 1,18	R\$ 52,70	-R\$ 30.210,61
12	R\$ 1,30	R\$ 1,23	R\$ 69,98	-R\$ 30.140,63
13	R\$ 1,36	R\$ 1,29	R\$ 88,11	-R\$ 30.052,52
14	R\$ 1,43	R\$ 1,36	R\$ 107,12	-R\$ 29.945,40
15	R\$ 1,50	R\$ 1,42	R\$ 127,07	-R\$ 29.818,32
16	R\$ 1,57	R\$ 1,49	R\$ 148,00	-R\$ 29.670,32
17	R\$ 1,65	R\$ 1,57	R\$ 169,95	-R\$ 29.500,37
18	R\$ 1,73	R\$ 1,64	R\$ 192,98	-R\$ 29.307,39
19	R\$ 1,81	R\$ 1,73	R\$ 217,14	-R\$ 29.090,26
20	R\$ 1,90	R\$ 1,81	R\$ 242,47	-R\$ 28.847,78

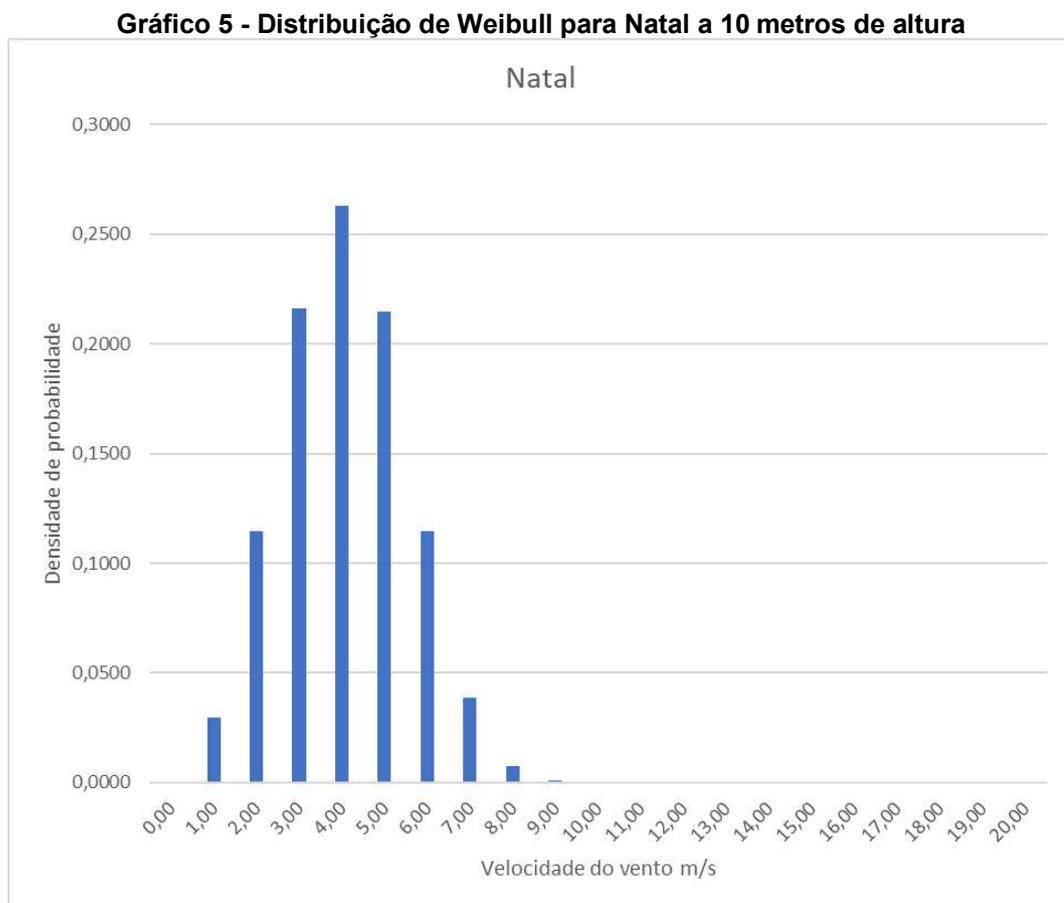
Fonte: Autoria própria (2022)

Sendo assim, dentro do período escolhido para a análise de 20 anos, a instalação na cidade de Curitiba não se pagaria, tornando o investimento inviável.

4.2 Instalação em Natal

O valor calculado para a média da velocidade do vento em Natal foi de 4,06 m/s, e repete o mesmo problema encontrado para Curitiba, está abaixo do esperado. Esse comportamento pode ter explicação nos poucos dados referente a quantidade de rajadas em uma hora.

Como a média é maior e os dados são diferentes, a distribuição de Weibull possui outro perfil, apresentado abaixo.



Fonte: Autoria própria (2022)

Com outro perfil de velocidade, a potência estimada para a cidade de Natal foi calculada como exposto na tabela 6.

Tabela 6 - Potência estimada com a instalação da turbina a 10m de altura na cidade de Natal

V (m/s)	f(v)	P	f(v)*P
0,00	0,0000	0,0000	0,0000
1,00	0,0295	0,0000	0,0000
2,00	0,1146	0,0000	0,0000
3,00	0,2164	77,4625	16,7611
4,00	0,2632	166,3125	43,7704
5,00	0,2146	296,2328	63,5776
6,00	0,1148	362,3968	41,5877
7,00	0,0384	428,5608	16,4683
8,00	0,0076	953,0408	7,2532
9,00	0,0008	1700,1750	1,4228
10,00	0,0000	2331,8625	0,1114
11,00	0,0000	2882,5200	0,0038
12,00	0,0000	3181,6667	0,0001
13,00	0,0000	3308,7455	0,0000
14,00	0,0000	3350,4500	0,0000
15,00	0,0000	3332,5333	0,0000
16,00	0,0000	1604,5429	0,0000
17,00	0,0000	0,0000	0,0000
18,00	0,0000	0,0250	0,0000
19,00	0,0000	0,1000	0,0000
20,00	0,0000	0,1000	0,0000
Total (W)			190,9565

Fonte: Autoria própria (2022)

$$Energia\ anual\ gerada\ em\ Natal = h \sum_{i=0}^n P_i f(V)_i = 8766 \times 190,9565$$

$$Energia\ anual\ gerada\ em\ Natal = 1673,92\ kWh$$

De antemão, percebe-se que a energia anual gerada em Natal é bem maior que a gerada em Curitiba, o que permite que o retorno de investimento para Natal seja mais rápido. Com as mesmas considerações de taxas para Natal, alterando apenas o valor do kWh, têm-se o retorno de investimento na tabela 7 para a cidade.

Tabela 7 - Retorno de investimento para microturbina Anemos na cidade de Natal

Ano	Valor Energia (R\$/kwh)	Corrigido (R\$/kwh)	Valor Entrada (R\$)	Saldo (R\$)
0	R\$ 0,85	R\$ 0,85	-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00
1	R\$ 0,89	R\$ 0,85	R\$ 1.121,48	-R\$ 28.878,52
2	R\$ 0,94	R\$ 0,89	R\$ 1.191,13	-R\$ 27.687,39
3	R\$ 0,98	R\$ 0,93	R\$ 1.264,20	-R\$ 26.423,19
4	R\$ 1,03	R\$ 0,98	R\$ 1.340,84	-R\$ 25.082,34
5	R\$ 1,08	R\$ 1,03	R\$ 1.421,25	-R\$ 23.661,10
6	R\$ 1,13	R\$ 1,08	R\$ 1.505,59	-R\$ 22.155,51
7	R\$ 1,19	R\$ 1,13	R\$ 1.594,06	-R\$ 20.561,45
8	R\$ 1,25	R\$ 1,19	R\$ 1.686,87	-R\$ 18.874,58
9	R\$ 1,31	R\$ 1,25	R\$ 1.784,23	-R\$ 17.090,35
10	R\$ 1,37	R\$ 1,31	R\$ 1.886,35	-R\$ 15.204,00
11	R\$ 1,44	R\$ 1,37	R\$ 1.993,48	-R\$ 13.210,52
12	R\$ 1,51	R\$ 1,44	R\$ 2.105,87	-R\$ 11.104,65
13	R\$ 1,58	R\$ 1,51	R\$ 2.223,75	-R\$ 8.880,90
14	R\$ 1,66	R\$ 1,58	R\$ 2.347,42	-R\$ 6.533,48
15	R\$ 1,74	R\$ 1,66	R\$ 2.477,14	-R\$ 4.056,34
16	R\$ 1,83	R\$ 1,74	R\$ 2.613,22	-R\$ 1.443,12
17	R\$ 1,92	R\$ 1,83	R\$ 2.755,97	R\$ 1.312,85
18	R\$ 2,01	R\$ 1,92	R\$ 2.905,71	R\$ 4.218,56
19	R\$ 2,11	R\$ 2,01	R\$ 3.062,79	R\$ 7.281,35
20	R\$ 2,21	R\$ 2,11	R\$ 3.227,57	R\$ 10.508,91

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com os cálculos, com a instalação feita na cidade de Natal, a microturbina demoraria quase 16 anos para recuperar o investimento feito.

A diferença no tempo de retorno do investimento pode ser explicada pela diferença no perfil dos ventos das duas cidades, o que foi visualizado nas suas distribuições de Weibull (gráficos 4 e 5). Os perfis apontam que a região nordeste tem um potencial eólico maior que a região sul. Outra possível justificativa, mas com menor influência, é o valor do kWh por cidade. Como é maior na cidade de Natal, as entradas

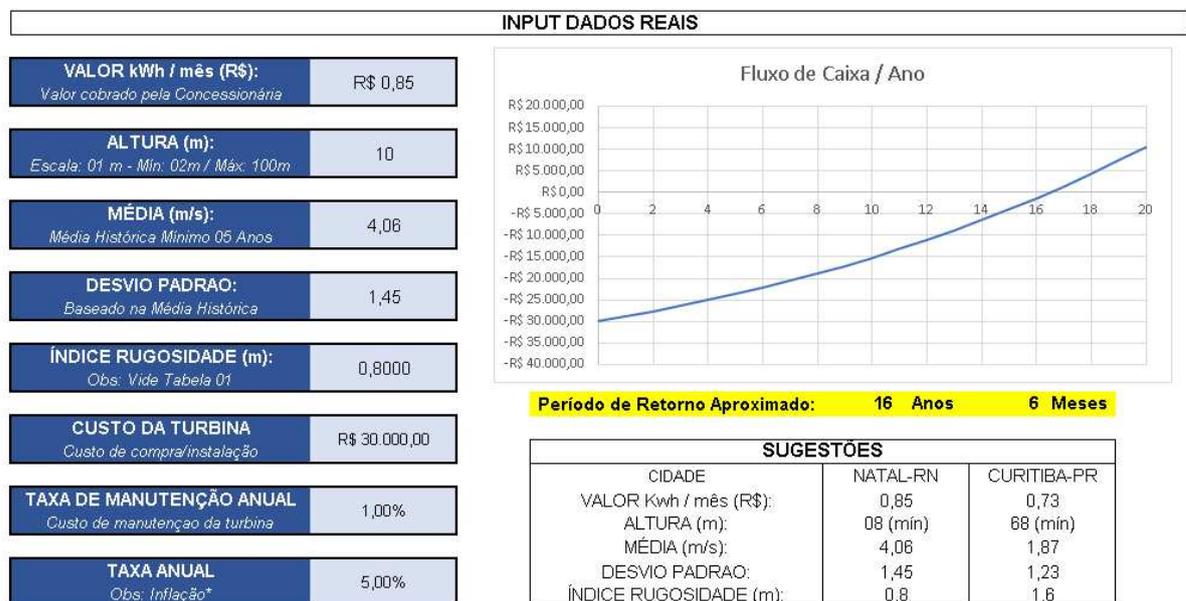
positivas por ano são maiores proporcionalmente, ajudando a pagar o investimento mais rapidamente.

4.3 Ferramenta para análise de viabilidade

Como as variáveis envolvidas neste trabalho são oscilantes, bem como o interesse na análise de uma região determinada depende do consumidor final envolvido, uma ferramenta genérica e que analise qualquer região é mais proveitosa e flexível.

A ferramenta para os cálculos foi desenvolvida no *software* Excel, e permite que o usuário insira apenas oito dados referentes a instalação da turbina. Sendo eles o valor do kWh cobrado na cidade de estudo, a altura desejada de instalação da turbina, a média da velocidade dos ventos na região, o desvio padrão referente aos dados utilizados para a média de velocidade, o comprimento de rugosidade apresentado na tabela 1, o custo da compra da turbina e de sua instalação, a taxa de manutenção, e a taxa de desvalorização do dinheiro.

Figura 3 - Ferramenta para análise de viabilidade econômica da Microturbina Anemos-MWT522



Fonte: Autoria própria (2022)

As demais abas da ferramenta demonstram os cálculos envolvidos para se chegar ao resultado, como o cálculo financeiro, o de extrapolação de altura e o de distribuição de Weibull, todavia, a primeira aba contém os dados de maior interesse, aqueles que são inseridos pelo usuário e o resultado final.

Para este trabalho em questão, a ferramenta é adequada e bloqueada para a microturbina Anemos, mas o seu desenvolvimento mostra que é possível fazer a análise para qualquer aerogerador, desde que se conheça sua curva de potência.

5 CONCLUSÃO

O crescimento populacional, bem como o desenvolvimento tecnológico, incentiva o aumento do consumo de energia elétrica no Brasil e em todo o mundo. Deste modo, aumenta também a procura e necessidade por formas alternativas de energia.

Foi apontado neste trabalho o uso de energia eólica como alternativa de fonte renovável para geração de energia elétrica, e mais especificamente, o uso de microturbinas eólicas que permitam uma instalação residencial. O estudo foi voltado para o tempo de retorno de investimento de um aerogerador específico, Anemos MWT522, em qualquer região de interesse.

Como proposto, foi desenvolvida uma ferramenta que permite a análise a partir da inserção de dados referentes à região escolhida. Tal ferramenta foi desenvolvida tendo como base os cálculos referentes à geração de potência por uma turbina eólica e as regulamentações de geração distribuída.

O uso dos dados técnicos da turbina possibilitou a criação de um sistema para estimar a geração de potência para as mais diversas situações e características de ventos. Para explicar os cálculos envolvidos e exemplificar o uso da ferramenta, foram selecionadas duas cidades, Natal e Curitiba, tendo em vista suas diferenças de potencial eólico.

Com os dados das estações meteorológicas do INMET, foram obtidos os perfis dos ventos de cada cidade, calculando posteriormente seu potencial eólico. Utilizando os custos envolvidos na compra e instalação da turbina, e os valores creditados da fatura de luz, foi possível concluir que a utilização da microturbina Anemos demoraria cerca de 16 anos para começar a dar lucro na cidade de Natal, e que não se pagaria em um período de 20 anos na cidade de Curitiba, sendo assim, inviável.

Os resultados obtidos são baseados em dados conservadores do site do INMET, com médias de velocidade do vento baixas e considerando poucas rajadas de vento, o que na prática ajudaria a gerar mais energia e creditar um valor maior na fatura.

É importante perceber que a viabilidade depende da expectativa financeira, já que a princípio a turbina poderia servir como fonte complementar de energia, de forma a colaborar para o uso de energias renováveis.

Para um aprimoramento da ferramenta, sugere-se o uso de um banco de dados históricos complementar ao utilizado neste trabalho, INMET, para que a instalação possa ser mais atrativa, de forma a disseminar e aumentar o interesse pela energia eólica para pequenos consumidores.

REFERÊNCIAS

- ABEEólica (Associação Brasileira de Energia Eólica). **O Setor: Desenvolvimento da eólica no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- BRASIL. ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/582>. Acesso em: 20 out 2019.
- BRASIL. ANEEL. **Geração Distribuída**. 15 ago. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 10 out. 2022.
- ANEMOS. **Anemos**. Disponível em: <http://www.anemoswindturbine.com/anemos-wind-turbine.html>. Acesso em: 26 out. 2019.
- ANEMOS. **Anemos Wind Turbine**. Disponível em: <http://www.anemoswindturbine.com/>. Acesso em: 26 out. 2019.
- ANEMOS. **Technical Specifications**. Disponível em: <http://www.anemoswindturbine.com/technical-specifications.html>. Acesso em: 26 out. 2019.
- BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/resultado/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica). **Atlas Eólico Brasileiro**. Disponível em: <http://novoatlas.cepel.br/index.php/mapas-tematicos/>. Acesso em: 28 out. 2019.
- CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica). **Potencial Eólico - Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=atlas_eolico&. Acesso em: 28 out. 2019.
- COPEL (Companhia Paranaense de Energia). **Atlas do Potencial Eólico do Estado do PARANÁ**. Curitiba, 2007. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf. Acesso em: 28 out 2019.
- ENER-ECO. **Anemos Micro Aerogerador Eólico**. Disponível em: <https://ener-eco.com.br/wp-content/uploads/2019/03/anemos-manual-ener-eco-brasil.pdf>. Acesso em: 26 out. 2019.
- FARIAS, L.; SELLITO, M. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. Revista Liberato, Novo Hamburgo (RS), v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

FERREIRA, P. M. M. A. **Microgeração eólica versus microgeração solar fotovoltaica**. Curso de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Potiguar. Natal, 2017.

GABIATTI, J; FEIL, A. A. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INVESTIMENTO PELO MODELO TRADICIONAL E ESTOCÁSTICO EM ATIVIDADE AVÍCOLA**. Revista Destaques Acadêmicos, [S.l.], v. 9, n. 1, abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v9i1a2017.1257>

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Practice Hall, 2010.

GWEC. **Global Wind Report 2022**. Abr. 2022. Disponível em https://gwec.net/wp-content/uploads/2022/04/Annual-Wind-Report-2022_screen_final_April.pdf. Acesso em 11 out. 2022.

INMET. **Dados históricos**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 28 out. 2019.

LEMES JUNIOR, A. B.; RIGO, C. M.; CHEROBIM, A. P. M. S. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

LOVATTO, F.B. **Retorno de investimentos de uma empresa de embalagens por meio de análise de cenários**. Alegrete, 2019. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/4213/1/Fernando%20Budel%20Lovatto%20-%202019.pdf>. Acesso em: 05 out 2022.

MENDONÇA, I. M.; LOPES, I. F; SANTOS, J. L. C; FRACETTI, T. A. P. **Perspectivas de geração de energia eólica no Brasil**. Brazilian Journal Of Development, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 18598-18611, out. 2019. DOI:10.34117/bjdv5n10-110

MME (Ministério de Minas e Energia). **Resenha Energética Brasileira**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas>. Acesso em: 10 out 2022.

NANDI, N. P.; SANTOS, V. C. **Estudo da viabilidade de implantação de mini turbina eólica**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

PINTO, M. O. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

RAMÍREZ, J. P. S. **FUNÇÃO GAMA**. Nov. 2015. Disponível em: https://www.ime.unicamp.br/~ftorres/ENSINO/MONOGRAFIAS/JP_VC2_2015.pdf. Acesso em 17 nov. 2019.

SILVA, P. C.; et. al. **OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL**. Nov 1999. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/aaciih.pdf>. Acesso em 16 nov. 2019.

SIMAS, M.; PACCA, S. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados. São Paulo (SP), v. 27, n. 77, p. 99-116, 2013.

TERCIOTE, R. **A energia eólica e o meio ambiente.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas.