KELLY KRAMPE PERES

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS AO APROVEITAMENTO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA VIABILIDADE ECONÔMICA EM ÁREAS FRAGILIZADAS

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO – 2022

KELLY KRAMPE PERES

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS AO APROVEITAMENTO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA VIABILIDADE ECONÔMICA EM ÁREAS FRAGILIZADAS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.
Orientadora: Dr. Maritane Prior
Coorientador: Dr. Marcos J. G. Rambalducci

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO – 2022

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Krampe Peres, Kelly
Identificação de áreas aptas ao aproveitamento de fontes renováveis de energia elétrica a partir da viabilidade econômica em áreas fragilizadas. / Kelly Krampe Peres; orientadora Maritane Prior; coorientador Marcos Rambalducci. -- Cascavel, 2022.
94 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2022.

1. energia limpa. 2. recuperação ambiental. 3. geoprocessamento. I. Prior, Maritane, orient. II. Rambalducci, Marcos, coorient. III. Título.

KELLY KRAMPE PERES

Identificação de áreas aptas ao aproveitamento de fontes renováveis de energia elétrica a partir da viabilidade econômica em áreas fragilizadas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia na Agroindústria e Agricultura, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientadora - Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Marcos Jerônimo Goroski Rambalducci
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina (UTFPR)

Vander Fábio Silveira
Centro Estadual de Educação Profissional Pedro Boaretto Neto (CEEP)

Cascavel, 16 de agosto de 2022

Dedico esta dissertação aos meus pais, Lucindo e Malia, ao meu marido Henrique, a minha irmã Aline, a minha tia Neli. Em especial, In Memoriam, minha queria avó Semilda.

AGRADECIMENTOS

Início os meus agradecimentos aos meus pais, que sempre primaram pela minha educação. Obrigada Lucindo Peres e Malia Krampe Peres por todo apoio, incentivo, amor e carinho dedicados a mim em todos os momentos de minha vida. Agradeço também a minha Tia Neli, por todo amor e carinho que me são incondicionalmente dedicados.

A minha querida irmã Aline Krampe Peres, por todo incentivo, auxílio, carinho e amor dedicados a mim durante esse período e em toda minha vida. Sou eternamente grata e sortuda por tê-la como irmã.

Agradeço ao meu colega Ricardo Guicho, por toda ajuda, apoio e paciência durante todo esse período.

A minha orientadora Dra Maritane Prior, por sua dedicação, companheirismo e paciência, sempre procurando ensinar, aprender e ajudar. Pela nossa convivência e pelos momentos agradáveis, minha eterna gratidão. Obrigada!

Ao meu coorientador Dr Marcos J. G. Rambalducci, por ter acreditado em mim e aceitado a fazer parte deste projeto, pelo seu companheirismo, dedicação e sua inteligência. Por nossos momentos agradáveis (mesmo remotamente) e paciência. Obrigada por me auxiliar nesse desafio.

Devo agradecer aos professores que, de uma forma ou outra, têm influenciado essa nova mestra de sua prestigiosa instituição, principalmente aos professores Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira e Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, por estarem sempre dispostos e com as mãos estendidas para ajudar. Estendo os meus agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para tornar o mestrado, realizado durante uma pandemia, em uma etapa inesquecível da minha vida.

A Deus, sempre presente, que trilha o meu caminho e coloca no meu destino pessoas especiais. Aquele que me concebe forças e prepara meu coração para vencer os obstáculos da vida.

Meu agradecimento mais profundo só poderia ser dedicado a uma pessoa: meu marido. O tempo todo ao meu lado, incondicionalmente. Nos momentos mais difíceis, que não foram raros nesses últimos meses, sempre me auxiliando e fazendo acreditar que chegaria ao final dessa difícil, porém gratificante etapa. Mostra todos os dias que juntos somos mais fortes e, acima de tudo, somos uma Família! Sou grata por todos os gestos de carinho e encorajamento, ansiosa por passar o resto da minha vida ao seu lado, do nosso futuro (s) filho (s) ou filha (s). Obrigada Henrique Liotto Zanatta, meu AMOR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Turbina de eixo vertical Darrieus de lâminas curvadas. 8
Figura 2 - Turbina de eixo vertical Darrieus de lâminas retas. 9
Figura 3 - Turbina de eixo vertical Savonius. 10
Figura 4 - Turbinas com rotores de eixo horizontal. 10
Figura 5 - Município de Cascavel-PR, Brasil, com sua respectiva microbacia hidrográfica. 27
Figura 6 - Mapa de Declividade do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR. 40
Figura 7 - Mapa de Classe e Textura do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR. 41
Figura 8 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR. 43
Figura 9 - Mapa de Fragilidade do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR. 45
Figura 10 - Mapa da Mata Ciliar do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR. 47
Figura 11 - Curva de Frequência e Distribuição de Weibull para Cascavel, Paraná-BR. 50
Figura 12 - Curva de Potência do aerogerador escolhido. 50
Figura 13 - Mapa de localização do aerogerador. 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de fragilidade de acordo com as características geoambientais...30
Tabela 2 - Delimitação das Áreas de Preservação Permanente 31
Tabela 3 - Coeficientes para determinação da velocidade do vento em diferentes alturas e terrenos 33
Tabela 4 - Potências instaladas na propriedade (aviário) 35
Tabela 5 - Custos médios para a instalação de aerogeradores 37
Tabela 6 - Porcentagens e Áreas das Classes de Uso e Ocupação do Solo do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR 43
Tabela 7 - Porcentagens e Áreas das Classes de Fragilidade do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR.....45
Tabela 8 - Áreas e Porcentagens da Mata Ciliar Existente e a Ser Restaurada do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR 47
Tabela 9 - Tratamento estatístico e correções de velocidade do vento.....48
Tabela 10 - Especificações do aerogerador escolhido.....48
Tabela 11 - Fatores de Forma e Escala para Cascavel, Paraná-BR.....49
Tabela 12 - Energia gerada pelo aerogerador encolhido em Cascavel.....51
Tabela 13 - Custos para instalação do aerogerador 53
Tabela 14 - Valores de Payback do primeiro cenário.....54
Tabela 15 - Valores de TIR e VPL para o primeiro cenário.....54
Tabela 16 - Valores de Payback do segundo cenário.....55
Tabela 17 - Valores de TIR e VPL para o segundo cenário 55
Tabela 18 - Valores que necessitam ser subsidiados para que o projeto se torne viável.....57
Tabela 19 - Energia gerada e custos dos três aerogeradores.....58

LISTA DE EQUAÇÔES

Equação 1 - Média fragilidade ambiental.....29
Equação 2 - Velocidade média do vento.....32
Equação 3 - Coeficiente de variação.....32
Equação 4 - Desvio padrão..... 32
Equação 5 - Correção velocidade do vento.....33
Equação 6 - Frequência de ocorrência de velocidade do vento.....34
Equação 7 - Fator de forma.....34
Equação 8 - Fator de escala.....34
Equação 9 - Fator de capacidade.....35
Equação 10 - Valor Presente Líquido.....37
Equação 11 - Taxa Interna de Retorno.....38
Equação 12 - Payback descontado.....38

PERES, Kelly Krampe. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto, 2022. **Identificação de áreas aptas ao aproveitamento de fontes renováveis de energia elétrica a partir da viabilidade econômica em áreas fragilizadas.** Professora Orientadora: Dra. Maritane Prior e professor Coorientador: Dr. Marcos J. G. Rambalducci.

RESUMO

A matriz energética brasileira é predominantemente dependente dos recursos hídricos. Com a insistente crise hídrica, a água não pode ser considerada um bem inesgotável. Neste sentido, outras fontes devem ser exploradas, como a energia eólica e a solar. Esse trabalho teve por objetivo levantar dados referentes à implantação de um sistema eólico com vistas a recuperar áreas fragilizadas, para permitir regeneração natural ou por meio de reflorestamento do ambiente degradado, no município de Cascavel, da região Oeste do Paraná. Para elaboração das cartas de declividade, foram retirados dados geomorfométricos do Brasil disponíveis no site do INPE. Para o mapa de classe e textura dos solos, foram utilizados dados da EMBRAPA do “Mapa de uso de solo do estado do Paraná”. Para o uso e cobertura do solo, foram utilizadas imagens do Programa Sentinel. No que se refere ao clima, foi utilizada a classificação de Köppen. Para os mapas de fragilidade ambiental, foram utilizados os mapas de caracterização geoambiental (declividade, clima, classe e textura do solo e uso e ocupação do solo) obtendo como base alguns estudos. A verificação da mata ciliar foi baseada no código Florestal Brasileiro Lei 12651/2012. Para o estudo do potencial eólico local, foram utilizados dados horários do SIMEPAR, sendo realizada a curva de frequência e distribuição de Weibull. Para a realização da viabilidade econômica, foram levantados dados referentes à aquisição (turbina, torre), instalação (fundação e obras civis), manutenção do aerogerador, entre outros. Os principais resultados encontrados, apontam que os valores de TIR e VPL para 7,10,15 e 20 anos foram negativos foi encontrado um Payback descontado de 51 anos e 8 meses, o que se torna inviável, considerando que a vida útil do aerogerador é de 20 anos. O município de Cascavel (microbacia do Rio Cascavel) possui declividade pouco acidentada, predominância Latossolo, uso e ocupação do solo predominante classe Agropecuária com grandes áreas urbanas, fragilidade intermediária. Velocidade média dos ventos em 30 metros é de 5,08 m/s, o aerogerador escolhido foi o Wes 50, gera de energia elétrica 9.762,39 kWh/mês em Cascavel, o local escolhido para a instalação do aerogerador foi uma região fragilizada próximo de uma pedreira. Esse projeto foi considerado economicamente inviável. no entanto, pela tamanha importância social, energética e ambiental, é necessário pensar em formas de torná-lo viável, através de políticas ambientais existentes (pagamento por serviço ambiental e créditos de carbono), bem como, através de políticas públicas mais eficientes, voltadas para o meio ambiente e melhoria de qualidade de vida dos moradores da área rural.

"Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”

PALAVRAS-CHAVE: energia limpa; recuperação ambiental; geoprocessamento.

PERES, Kelly Krampe. State University of Western Paraná, august, 2022. **Identification of areas suitable for the use of renewable sources of electric energy based on economic viability in fragile areas.** Teacher advisor: Dra. Maritane Prior and teacher Co-supervisor: Dr. Marcos J. G. Rambalducci.

ABSTRACT

Brazilian energy matrix is predominantly dependent on water resources. With the insistent water crisis, water cannot be considered an inexhaustible good. Thus, other sources should be explored, such as wind and solar energy. This paper aimed to collect data regarding the implementation of a wind system with a view to recovering fragile areas, to allow natural regeneration or through reforestation of the degraded environment, in the city of Cascavel, in the western region of Paraná. To prepare the slope maps, geomorphometric data from Brazil available on the INPE website were taken. For the soil class and texture map, data from EMBRAPA from the “Map of soil use of the state of Paraná” were used. For the use and coverage of the soil, images from the Sentinel Program were used. Regarding the climate, the Köppen classification was used. For the maps of environmental fragility, maps of geoenvironmental characterization were used (slope, climate, soil class and texture, and land use and occupation) based on some studies. The verification of the riparian forest was based on the Brazilian Forest Code Law 12651/2012. For the study of the local wind potential, hourly data from SIMEPAR were used, using the frequency curve and Weibull distribution. In order to carry out the economic feasibility, data were collected regarding the acquisition (turbine, tower), installation (foundation and civil works), maintenance of the wind turbine, among others. The main results found indicate that the IRR and NPV values for 7,10,15 and 20 years were negative, a discounted Payback of 51 years and 8 months was found, which becomes unfeasible, considering that the useful life of the wind turbine is of 20 years. The city of Cascavel (Rio Cascavel watershed) has a little steep slope, Latosol predominance, land use and occupation predominantly agricultural with large urban areas, intermediate fragility. Average wind speed in 30 meters is 5.08 m/s, the wind turbine chosen was the Wes 50, which generates 9,762.39 kWh/month in Cascavel, the location chosen for the installation of the wind turbine was a fragile region near from a quarry. This project was considered economically unfeasible. However, due to such social, energy and environmental importance, it is necessary to think of ways to make it viable, through existing environmental policies (payment for environmental service and carbon credits), as well as through more efficient public policies, aimed at the environment and improving the quality of life of rural residents.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEYWORDS: clean energy; environmental recovery; geoprocessing.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1
1.1 Objetivos 2
3.4.1 Objetivo geral 3
3.4.2 Objetivos específicos 3
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA 3
2.1 Fontes de Energia Renováveis 3
2.1.1 Energia Eólica 4
2.1.1.1 Energia Eólica no Brasil e no Paraná 6
2.1.1.2 Turbinas Eólicas 7
2.1.1.3 Instalação de Aerogeradores e Fator Ambiental 11
2.2 Fragilidade Ambiental 11
2.3 Bacia Hidrográfica e as Características que influenciam na Fragilidade Ambiental 13
2.3.1 Declividade 14
2.3.2 Hipsometria 15
2.3.3 Classes e Textura dos Solos 16
2.3.4 Uso e Ocupação do Solo 17
2.3.5 Área de Preservação Permanente 20
2.3.6 Classificação Climática 21
2.3.7 Ventos 22
2.4 Bacias Hidrográficas Paraná 3, Piquiri e Baixo Iguaçu 24
2.5 Viabilidade Econômica 25
3. MATERIAL E METODOS 27
3.1 Localização 27
3.2 Mapeamento e Análise de Fragilidade Ambiental 27
3.2.1 Declividade 28
3.2.2 Classe e Textura do Solo 28
3.2.3 Uso e Ocupação do Solo 28
3.2.4 Clima 29
3.2.5 Fragilidade Ambiental 29
3.3 Verificação Mata Ciliares 31
3.4 Estudo Potencial Eólico 31
3.4.1 Tratamento Estatístico da Velocidade do Vento 31

3.4.2 Rugosidade e Extrapolação da Velocidade do Vento 32
3.4.3 Escolha do Aerogerador 33
3.4.4 Frequência e Distribuição de Weibull 33
3.5 Cargas Instaladas 35
3.6 Localização dos Aerogeradores 36
3.7 Viabilidade Econômica 36
3.7.1 Valor Presente Líquido (VPL) 37
3.7.2 Taxa Interna de Retorno (TIR) 37
3.7.3 Payback Descontado 38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 39
4.1 Mapeamento e Análise de Fragilidade Ambiental 39
4.1.1 Declividade 39
4.1.2 Classe e Textura do Solo 40
4.1.3 Uso e Ocupação do Solo 41
4.1.4 Clima 44
4.1.5 Fragilidade Ambiental 44
4.2 Quantificação de Mata Ciliar 46
4.3 Tratamento Estatístico e Correções das Alturas da Velocidade do Vento 47
4.4 Escolha do Aerogerador 48
4.5 Curva de Distribuição de Weibull 49
4.5.1 Fatores de Forma e Escala 49
4.5.2 Curva de Distribuição de Weibull e Curva de Potência do Aerogerador 49
4.5.3 Energia Média e Fator de Capacidade do Aerogerador 51
4.6 Localização do Aerogerador 52
4.7 Viabilidade Econômica 52
4.7.1 Primeiro Cenário 53
4.7.2 Segundo Cenário 54
4.7.3 Alternativa de Viabilidade 55
5. CONCLUSÃO 59
5.1 Limitações da Pesquisa 60
5.2 Trabalhos Futuros 60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
ANEXO A 75
APÊNDICE A 75

APÊNDICE B 76
APÊNDICE C 78

1. INTRODUÇÃO

Os recursos renováveis são substituídos por processos naturais ao longo do tempo, sendo universal a máxima necessidade de conservação de todos, para que não sejam usados tão rapidamente ao ponto de a natureza não conseguir realizar a devida substituição. Por outro lado, os recursos não renováveis são formados pela Terra ao longo de milhões de anos como, por exemplo, o petróleo e os minerais, pois, apesar de serem denominados como não renováveis, a natureza possui a capacidade de restituí-los, o que ocorre apenas depois de longos períodos, com milhões de anos necessários para transformar a matéria orgânica em combustíveis fósseis (MACZULAK, 2010).

As energias renováveis constituem a utilização de fontes primárias para gerar energia, sendo recursos renováveis (água, sol, vento). Nesse sentido, a energia eólica ganha destaque, visto que ocasiona a produção de energia por meio dos ventos, merece atenção em decorrência de suas características particulares (LIMA; OLIVEIRA, 2015).

Estudos do Ministério de Minas e Energia (MME) indicam que a agropecuária é um dos setores que concentra os maiores aumentos de carga e consumo de energia elétrica (EPE, 2021). Segundo Mateus e Tapia (2020), o aproveitamento de fontes alternativas de energia torna-se uma das opções mais viáveis, tanto em razão dos aumentos nas tarifas quanto por conta das tecnologias envolvidas. No Brasil, a Norma Regulatória 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) autoriza o consumidor a produzir sua própria energia. Se essa geração não for o suficiente, ele pode consumir a energia da concessionária local. No entanto, se a sua produção for maior que o seu consumo, essa “sobra” retorna para a rede em forma de créditos relacionados às contas futuras de luz do titular. Outros benefícios na geração distribuída têm a ver com o fato de que o consumo de energia é próximo do local no qual é gerada, utilizando as fontes alternativas de energia. Tem-se a minimização das perdas, diversificação da matriz energética, aumento da qualidade de energia e o baixo impacto ambiental (ANEEL, 2021).

No tocante aos impactos ambientais, inúmeras iniciativas globais têm como objetivo a proteção do planeta da degradação, para ter a possibilidade de atender às necessidades no presente e nas futuras gerações. Entre outras questões, tem destaque a preocupação com redução das emissões dos gases de efeito estufa e,

simultaneamente, ampliar o acesso à energia, melhorando a qualidade de vida das pessoas (BARBOSA, 2018).

Sabe-se que a matriz energética brasileira é predominantemente dependente dos recursos hídricos. Com a insistente crise hídrica que acomete o país, desmistificou-se a cultura de que a água com qualidade e em abundância seja um recurso infinito. Os eventos presenciados nos últimos anos evidenciam que o recurso hídrico não se classifica mais como um bem inesgotável (NASCIMENTO; QUADROS, 2018; MESQUITA; LINDOSO; RODRIGUES FILHO, 2018; MOMM *et al.,* 2021). Então, outras fontes de energia renováveis (solar, eólica e biomassa) surgem como uma alternativa para a solução da crise hídrica e energética, reduzindo também a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, sobretudo a energia eólica, que é uma energia segura, eficiente, limpa e com baixíssimos impactos ambientais (LIMA; OLIVEIRA, 2015).

Com a questão energética, a preocupação ambiental em destinar áreas fragilizadas como ambiente de implantação para determinadas plantas geradoras alternativos de Energia Elétrica se torna uma possível solução. É imprescindível, no entanto, identificar se há garantia da sustentabilidade financeira do projeto de por meio de uma atividade produzida de baixo impacto (energia eólica) e que potencializa a regeneração natural ou provocada da vegetação, partindo da premissa de que as torres e geradores provocam o menor impacto em termos de insolação da área garantindo melhor dossel verde.

A região Oeste do Paraná destaca-se pela intensa produção agrícola, principais polos energéticos, hídricos e turístico do país. Todos os municípios do Oeste do Paraná têm alguma produção agrícola e pecuária, ao passo que somente alguns tem produção extrativista (PNUD, 2018).

Isso posto, faz-se necessário direcionar esforços para recuperar os recursos ambientais, analisando a existência de viabilidade econômica e financeira na adoção da energia eólica com vistas a recuperação de áreas degradadas/fragilizadas, permitindo a regeneração natural ou por meio de reflorestamento do ambiente degradado e frágil, garantindo a proteção do solo contra erosão e deslizamentos, além de proteger nascentes, fauna, flora e biodiversidade

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar viabilidade econômica na adoção de Geradores alternativos de Energia Elétrica (energia eólica) primando pela recuperação de áreas degradadas/fragilizadas.

1.1.2 Objetivos específicos

a) Localizar as áreas com fragilidade ambiental alta ou média, que resultariam em custos para restauração (com base na legislação);
b) Estimar a geração do potencial eólico neste local;
c) Identificar a sustentabilidade econômica para esse projeto de reconstituição ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Fontes de Energia Renováveis

O método para geração de energia elétrica busca, sobretudo, converter uma fonte primária de energia em eletricidade, tendo em vista que as fontes de energia primárias utilizadas para gerar eletricidade são classificadas como renováveis e não renováveis. Vale frisar que elas são diferenciadas apenas em razão do processo de reposição na natureza. Nas fontes não renováveis, o processo é muito lento como, por exemplo, o petróleo. Nas fontes renováveis, são de rápida reposição ou até mesmo podem ser utilizadas sem a necessidade de interversão no seu processo natural, tal como ocorre com a água e o sol (SCHNEIDER, 2013).

Shayani, Oliveira e Camargo (2006), ao observar superficialmente as energias renováveis, mostram o preço final da energia maior que o sistema convencional de geração e distribuição de eletricidade. Contudo, a simplicidade com que a energia renovável é gerada apresenta uma consequente redução de custos quando todos os processos utilizados são contabilizados.

É evidente a importância da utilização das fontes renováveis de energia, fato que aumentaria a longevidade das fontes não renováveis, o que reduz os impactos

gerados pela utilização dessas fontes e pela sua falta em um futuro próximo. Importante ressaltar que as fontes renováveis são capazes de fornecer energia sem possibilidade de esgotamento com o passar do tempo. É conhecida também como energia limpa, ou melhor, os impactos ambientais gerados por essas fontes são menores que as outras fontes de energia podendo, inclusive, dependendo da fonte primária que é utilizada, ser considerado nulo, além de reduzirem a dependência das fontes estrangeiras de combustível (SCHNEIDER, 2013; SILVA *et al*., 2020).

O aproveitamento de energias alternativas, com menores impactos sociais e ambientais, dispõe grande influência na diminuição da sobrecarga energética brasileira, amenizando também as desigualdades da distribuição de energia em todas as regiões do país (FÁVERO *et al.*, 2019). Então, com a crescente preocupação da população pelo meio ambiente e a necessidade por geração de energia com menor impacto ambiental, a utilização de fontes de energia renováveis tende a crescer e tornar comum a utilização dos sistemas de energia solar, de biomassa e eólico (SILVA *et al.*, 2020).

2.1.1 Energia Eólica

A energia oriunda dos ventos é aproveitada há muito tempo, sendo utilizada para irrigação, caça, navegação e trituração de alimentos empregando mecanismos de moinhos de vento. Com a modernidade, apareceu uma tecnologia para bombeamento de água com a utilização da energia dos ventos. Nos tempos modernos surgiram então a função de gerar eletricidade por meio de movimentação de grandes pás de turbinas que foram denominados de aerogeradores (MENDONÇA *et al*., 2019; SILVA *et al.*, 2020). Os aerogeradores detêm potência nominal e podem variar de menos de 1 kW até mais de 7 MW (BEZERRA; SANTOS, 2017).

A energia eólica está relacionada com a energia cinética das massas de ar em movimento, isto é, utiliza-se o vento para movimentar um aerogerador (turbina eólica), visto que no eixo de rotação das suas pás há um gerador elétrico, que transforma a energia do vento em energia elétrica. É uma fonte de energia considerada não poluente e renovável, no entanto, os aerogeradores precisam ser instalados em locais de vento incidente constante (SCHNEIDER, 2013). A quantidade de energia é transferida em razão da densidade do ar, velocidade do

vento e da área coberta pela rotação das pás (hélices) (FERREIRA JUNIOR; RODRIGUES, 2015).

Para Wu *et al*. (2011), a energia eólica é sustentável e limpa, fazendo parte dos recursos renováveis que estão crescendo, contudo, a conversão da energia cinética do vento em energia elétrica é multidisciplinar, envolvendo máquinas elétricas, aerodinâmica, eletrônica de potência, sistemas mecânicos, sistemas de potência e teoria de controle.

Para que um projeto de energia eólica seja viável, a energia disponível que pode ser extraída do vento e o modo que esse recurso varia no local do empreendimento é de extrema importância. A variabilidade espacial do vento é dependente de fatores como a complexidade do clima e da topografia da região que define sazonalidades diárias e anuais. Então, em razão da variabilidade do recurso eólico, o desempenho dos aerogeradores de uma usina eólica não deve ser avaliado sem aquisição adequada de dados de vento que necessitam ser realizadas no local de instalação. Assim, a mais precisa e melhor indicação do recurso disponível no local de interesse é conseguida por meio de medição em sítio, utilizando anemômetros e sensores de direção em alturas, estes devem ser compatíveis com a altura do eixo do rotor do aerogerador que se deseja ser instalado (BURTON *et al*., 2001; *ARAÚJO et al.*, 2020).

Esse processo de medição tem um elevado custo, em virtude da altura da torre dos modernos aerogeradores que podem variar entre 80 e 120m, e da necessidade das medições de vento por um período de 2 a 3 anos no mínimo, para poder atender os requisitos que são impostos pelas agências de financiamentos e autoridades permissionárias locais (RAMOS; LYRA; SILVA JUNIOR, 2013).

Diversos projetos de parques eólicos estão sendo desenvolvidos em todo o mundo, são classificados em *offshore* e *onshore*, na Europa e na América do Norte são desenvolvidos principalmente os *onshore*. Normalmente, os locais precisam ser pré-selecionados tendo como base informações gerais de velocidades do vento, fornecidas por um atlas de vento, que é validado com medições locais monitoradas por 1 ano ou mais, antes que o projeto seja aprovado e as turbinas eólicas instaladas. As instalações de turbinas em terra *(Onshore*) estão frequentemente em terreno elevado para explorar as velocidades mais altas do vento. O *offshore*, particularmente usado em grandes parques eólicos, é instalado geralmente a mais

de 5 km do continente, ou seja, em alto mar para reduzir os impactos ambientais (ANAYA-LARA *et al.*, 2009).

As vantagens da utilização da energia eólica são inúmeras, entre elas: fontes inesgotáveis que não emitem gases poluentes, não produzem resíduos, apresentam baixos impactos ambientais. Em contrapartida, as desvantagens são: desconforto sonoro, por se tratar de um fenômeno da natureza pode não gerar energia em momentos necessários, pode afetar a migração das aves (OLIVEIRA; PINHEIRO, 2020).

Há alguns anos, as tecnologias necessárias para instalação e operação de parques eólicos possuíam um custo muito superior ao das hidrelétricas. Contudo, com o avanço tecnológico e as vantagens comerciais, essas duas fontes energéticas têm custos bem similares (SILVA *et al.*, 2022).

2.1.1.1 Energia Eólica no Brasil e no Paraná

A energia eólica no Brasil tende a crescer cada dia mais, devido a vários fatores, sendo eles: aplicação simplificada, possibilidades de aperfeiçoamento técnico, redução dos custos e aumento da capacidade de cada unidade, existência de um potencial eólico significativo e o baixo impacto ambiental quando comparado com outras formas de produção de eletricidade. Imprescindível ressaltar também o encarecimento do uso do petróleo e a necessidade da diversificação da matriz energética, tendo como essencial a eólica nesse quadro de mudanças (FERREIRA JUNIOR; RODRIGUES, 2015; PINTO; SANTOS, 2019).

Em 2020, o Brasil ocupou a sétima posição no Ranking Mundial de capacidade eólica acumulada, desenvolvido pelo GWEC (Global Wind Energy Council). Quase se trata especificamente da nova capacidade instalada no ano, o Brasil ocupou o terceiro lugar, tendo instalado 2,3 GW. No que se refere a todas as fontes de energia no Brasil, no ano de 2020, a geração eólica foi responsável em média por 9,97% de toda a geração injetada no Sistema Interligado Nacional – SIN, atingido o recorde em agosto, alcançando 14,77% da geração do SIN (EPE, 2021; ABEEÓLICA, 2021).

Os estados com maior geração de energia eólica no período de 2020 foram Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Rio Grande do Sul, o Paraná ocupou a 12ª posição (ABEEÓLICA, 2021), o que se justifica pelo mapa de Potencial Eólico

Brasileiro, cuja região que demonstra condições mais favoráveis para a utilização de energia eólica é a Nordeste apresentando potência estimada de 75 GW. Em segundo lugar, está a região Sudeste com 29,7 GW. Em terceiro lugar, está a região Sul com 22,8 GW. Tal estimativa foi gerada com relação a uma velocidade média do vento de 7 m/s estando a 50 metros de altura (AMARANTE et al., 2001).

Acerca do potencial eólico do Paraná, 23 municípios se destacam, entre eles estão: Cascavel, Castro, Maringá, Tibagi, São Jerônimo da Serra, Palmas, Guarapuava, Serra do Quiriri entre Guarapuava e Tijucas do Sul e Guaratuba. A cidade de Cascavel possui velocidade de vento de 5 m/s a altura de 50 m e a 75 m e varia entre 6,5 m/s e 7,0 m/s a 100 m (COPEL, 2021).

2.1.1.2 Turbinas Eólicas

Um corpo que impede o movimento do vento sente a ação de forças que agem na direção do escoamento (forças de arrasto) e de forças que agem perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação). Essas forças são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Complementarmente, as forças de sustentação são dependentes da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre o eixo do corpo e a velocidade relativa do vento). Posto que, as turbinas de rotores que giram principalmente sob a ação de forças de sustentação permitem a liberação de muito mais potência em comparação aos que giram sob ação de forças de arrasto, com a mesma velocidade de vento (CRESESB, 2008).

As turbinas eólicas são classificadas conforme a orientação do eixo do rotor em relação ao solo, bem como quanto à sua capacidade de geração elétrica. As turbinas chamadas de pequeno porte dispõem capacidade de geração de dezenas de kW, atingindo a geração de até 50 kW, normalmente usadas em áreas rurais. As turbinas denominadas como de médio porte são capazes de produzir entre 50 kW e 1000 kW, geralmente utilizadas em sistemas híbridos e geração distribuída. As turbinas chamadas de grande porte possuem capacidade de geração acima de 1000 kW e são empregadas em usinas eólicas sendo, na maioria das vezes, conectadas nas redes elétricas (FIGUEIREDO, 2019). Quanto à orientação do eixo do rotor em relação ao solo, são classificadas em turbinas de rotores de eixo vertical e as turbinas de rotores de eixo horizontal (MOREIRA, 2010).

Turbinas de rotores de eixo vertical possuem torres de sustentação baixa, visto que o gerador se situa na base, captando ventos sem precisar de um mecanismo de orientação, operando com baixa velocidade de vento, normalmente usadas em áreas urbanas, por se comportar melhor em ventos turbulentos e emitirem poucos ruídos. Essa baixa altura permite que os dispositivos de transformação de energia sejam instalados em alturas mais acessíveis, o que facilita a manutenção. Na área rural, a sua eficiência é menor em comparação com as de eixo horizontal. Assim sendo, esse modelo é mais usado em instalações que solicitem pequenas potências e projetos pequenos (OLIVEIRA; PINHEIRO, 2020). Ademais, rotores de eixo vertical necessitam de um arranque forçado e, caso precisem de manutenção, é inevitável desmontar toda a turbina. Motivos que justificam o fato de que poucas empresas fabriquem as turbinas de eixo vertical (MOREIRA, 2010).

No mercado, encontram-se dois tipos principais de turbinas de eixo vertical, sendo eles: o Darrieus e Savonius. As turbinas do tipo Darrieus são movimentadas pela ação das forças de sustentação e são compostas por lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, fixadas pelas duas pontas ao eixo vertical (CRESESB, 2008). Como pode ser visualizado nas Figuras 1 e 2, apresentam baixo torque de partida, o que exige normalmente uma fonte externa de alimentação, ou a adição de uma turbina Savonius (FIGUEIREDO, 2019).

Figura 1 - Turbina de eixo vertical Darrieus de lâminas curvadas.
Fonte: STROSKI, 2019.

Figura 2 - Turbina de eixo vertical Darrieus de lâminas retas.
Fonte: STROSKI, 2019.

As turbinas de eixo vertical Savonius são compostas por pás com superfícies curvas arranjadas lado a lado de modo que possibilite o vento passar entre elas, tal como pode ser visualizado na Figura 3. Esse modelo de turbina usa a ação da força de arrasto, sendo que, para começar a girar, depende de uma velocidade mais baixa que as outras turbinas. Por isso, apresenta rendimento baixo, possibilitando alcançar eficiência de cerca de 15%. Portanto, a turbina Savonius não é indicada para gerar eletricidade. Por possuírem torque de partida alto e rotação baixa, tais turbinas são largamente utilizadas na moagem de grãos e bombeamento de água (FIGUEIREDO, 2019).

As turbinas de rotores de eixo horizontal (aerogeradores convencionais), Figura 4, são majoritariamente movidas pela ação das forças de sustentação e necessitam de mecanismos que possuam a capacidade de permitir que o disco varrido pelas pás permaneça sempre em posição perpendicular ao vento. No que se refere à posição do rotor em relação à torre, o disco varrido pelas pás pode se encontrar com a montante do vento (up wind) ou a jusante do vento (down wind). No primeiro caso, a “sombra” das pás causa esforços vibratórios na torre e, no segundo caso, a “sombra” da torre causa vibrações nas pás. Os sistemas a montante do vento requerem mecanismos de orientação do rotor com o fluxo de vento. Em contrapartida, nos sistemas a jusante do vento a orientação ocorre automaticamente. Tais rotores podem ser compostos por uma pá e contrapeso, duas

pás, três pás ou múltiplas pás. As pás possuem formas variadas e utilizam materiais variados. Comumente, são utilizadas pás rígidas de alumínio, madeira ou fibra de vidro reforçada (CRESESB, 2008).

Figura 3 - Turbina de eixo vertical Savonius.
Fonte: UAT GROUP, 2021.

Figura 4 - Turbinas com rotores de eixo horizontal.
Fonte: ENERGÊS, 2020.

Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento do tipo hélice, geralmente constituídos por 3 pás ou, em determinados casos (possibilidade de geral maior ruído e velocidades médias muito altas), 1 ou 2 pás, são as mais conhecidas e empregadas na geração de eletricidade ao redor do mundo. Mesmo que possuam elevado custo em comparação com os de eixo vertical, oferecem mais rendimento e eficiência. Ademais, por possuírem torque de partida baixo só operam com velocidades de vento elevadas (CRESESB, 2008; OLIVEIRA; PINHEIRO, 2020).

2.1.1.3 Instalação de Aerogeradores e Fator Ambiental

Para a instalação dos aerogeradores, é necessário levar em consideração alguns aspectos, como o perfil do vento da região e distâncias que devem ser respeitadas entre os aerogeradores. Sabe-se que aerogeradores extraem energia cinética do vento, portanto, atrás deles acontece uma diminuição da velocidade do vento o que faz com que a produção do aerogerador localizado atrás do outro diminua. As distâncias devem ser de 3 a 5 diâmetros do rotor na direção perpendicular à direção do vento 5 a 9 diâmetros do rotor na direção preferencial do vento (MARTÍNEZ, 2003; CASTRO, 2009).

Faz-se necessário também analisar o ambiente em que serão instalados os aerogeradores, pois as atividades humanas interferem no meio ambiente, como também as atividades naturais, porém, não somente as humanas podem afetar o meio ambiente, mas também as ocorrências naturais dos processos de modificações terrestre como, por exemplo, as irregularidades do relevo, os ventos e até as gotas das chuvas. Contudo, quando esses processos são associados às atividades antropogênicas podem acelerar os processos de degradações alterando, assim, o equilibro ambiental (CABRAL *et al.*, 2011).

2.2 Fragilidade Ambiental

O Brasil é um país de extensão territorial continental, o que possibilita o uso do solo em diversas finalidades como a manutenção de florestas e grandes áreas para a agricultura e pecuária. Contudo, a expansão da atividade agropastoril tem invadido áreas destinadas à preservação de recursos naturais, de forma contínua e

crescente ao longo dos anos (MOREIRA *et al.,* 2015; MIRANDA *et al*., 2020). Em um estudo sobre a Mata Atlântica brasileira, realizado por Rosa *et al.* (2021), os autores verificaram que a cobertura florestal nativa tem sido prontamente afetada pela expansão do uso agropastoril da terra. Notou-se que as mudanças na cobertura florestal aumentaram o isolamento da floresta em 36,4% das paisagens, com desmatamento das florestas mais antigas e o recorte de 27% das florestas jovens. As áreas de perda de cobertura florestal nativa apresentaram ocupação principalmente por pastagens (36%), usos agropastoris (26%), terras agrícolas (19%) e plantações de monoculturas de árvores (16%). Destaca-se, então, a necessidade de inclusão da floresta em programas de restauração para estimar melhor seus problemas inesperados e benefícios esperados.

No que se refere às variáveis do meio ambiente, acredita-se que as atividades humanas praticadas sem o correto planejamento favorecem profundas mudanças nas paisagens (SANTOS, 2018), tendo em vista que os sistemas ambientais reagem de maneiras diferentes diante das intervenções humanas nos elementos da paisagem (clima, relevo, cobertura vegetal, solo e recursos hídricos) (BELATO; SERRÃO; DIAS, 2019).

Seguindo o mesmo raciocínio, sabe-se que os assoreamentos, as ocupações de áreas declivosas, a retirada da cobertura vegetal, os aterros dos corpos hídricos, o crescimento da impermeabilização e da velocidade e quantidade do escoamento superficial influenciam consideravelmente nos meios naturais, provocando impactos e riscos emergentes. Em relação às áreas urbanas, as intervenções no meio ambiente se tornam mais visíveis devido à falta de espaço aos notáveis níveis de alteração antropogênica, segregação territorial, e a concentração demográfica, em algumas áreas tidas como de risco (SANTOS, 2015).

A fragilidade ambiental constitui-se em arranjar níveis de hierarquia diferentes ao zoneamento de território estabelecido, objetivando retratar graus da fragilidade daquele ambiente. Com base em uma análise de uso e ocupação do solo da microbacia e de como cada um dos elementos da paisagem interage de maneira integrada, é viável mostrar com mais precisão o nível de fragilidade do ambiente estudado (SUTIL; GONÇALVES; VIEIRA, 2020).

Estudar a fragilidade ambiental de bacias hidrográficas é um importante norteador de decisões políticas de monitoramento e gestão da bacia no que tange ao planejamento do uso do solo, com objetivo de melhorar a economia com foco na

preservação e restauração do meio ambiente (BRAGA *et al.,* 2017; ABRÃO; BACANI, 2018).

De acordo com Storto e Cocato (2018), as geotecnologias são fortes aliadas no tocante à fragilidade ambiental, pois oferecem importantes ferramentas para a caracterização, gestão e monitoramento do espaço, buscando a eficácia para detectar os possíveis impactos. Dentre elas, os SIG's aparecem em destaque por possuir a capacidade de integrar uma grande quantidade de variáveis, conforme finalidades diversas.

2.3 Bacia Hidrográfica e as Características que influenciam na Fragilidade Ambiental

Para Christofoletti (1979), a bacia hidrográfica é uma área determinada topograficamente, drenada por um rio principal e seus afluentes, sendo delimitada a partir de um divisor topográfico, que pode ser chamado também de divisor de águas. O principal elemento a ser levado em conta na bacia hidrográfica é a sua drenagem interna, uma vez que a entrada da água, seguida pela ação de seus cursos e da sua formação, é compreendida como um dos componentes do processo morfogenético mais ativo na esculturação da paisagem terrestre.

A bacia hidrográfica é apontada como um sistema geomorfológico aberto. Nesse sentido, quando é adicionada energia ou há perda de energia, ou o sistema se encontra em um balanço delicado. Desta maneira, a área da bacia hidrográfica exerce influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. O relevo e a sua forma agem no regime e na taxa de produção de água, bem como na taxa de sedimentação. As características físicas da bacia hidrográfica são influenciadas e controladas pela sua estrutura geológica (LIMA,1986).

Neste contexto, evidencia-se que pelo meio das formas de relevo e dos processos que lhe são inerentes, busca-se entender a dinâmica do modelado terrestre, bem como as partes constituintes do relevo. Vale frisar que estas não podem ser descritas sem que as bacias hidrográficas sejam levadas em conta, já que por fazer parte de um sistema aberto, a bacia está em contínua interação. A rede de drenagem tem um destaque importante no processo de esculturação do relevo, pois a dinâmica fluvial escava um conjunto de feições topográficas que modelam o relevo (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Ainda no que se refere à bacia hidrográfica, para Tucci (2001) ela é definida como uma área de captação natural da precipitação que faz com que as águas das chuvas se dirijam para um único ponto de saída: o exutório. A bacia hidrográfica é composta fundamentalmente por uma rede de drenagem e um conjunto de superfícies vertentes que são formados por cursos d'água que confluem até se tornar um leito único no exutório, ou seja, para que isso ocorra a cabeceira da bacia deve ter altitude elevada e o exutório deve figurar como o ponto de altitude baixa da bacia.

2.3.1 Declividade

Os mapas de declividade despontam como ferramentas essenciais para a análise do relevo, constituindo-se em um formato temático de representação da distribuição espacial dos variados níveis de inclinação presentes em um terreno possibilitando a análise da paisagem (COLAVITE; PASSOS, 2012).

A concepção do mapa de declividade serve para verificar e determinar o melhor uso e aproveitamento do solo, tendo em vista que, para isso, é fundamental a compreensão dos atributos físicos ambientais para possibilitar melhor adequação dos projetos e dos usos referentes ao solo (BIASE, 2011).

O revelo tem influência no processo de infiltração da água no solo. De modo geral, quanto mais declivoso for o terreno, menor é o tempo de oportunidade para que ocorra o processo de infiltração e recarga do lençol superficial (OLIVEIRA et al., 2014).

Os aspectos físicos relativos à declividade e características do solo não são independentes no que se refere à paisagem: em áreas de elevada declividade os solos desenvolvidos tendem a ser pouco profundos e desenvolver problemas de erosão por causa da predominância do escoamento superficial (HADLICH, 2006).

A declividade tem como definição todo e qualquer grau de inclinação que a superfície terrestre manifesta em relação a um eixo horizontal. As vertentes com declives mais acentuados apresentam melhor declividade e detêm mais riscos diante dos processos de movimentação gravitacional de massa. A declividade é de suma importância nos incidentes dos movimentos de massa, pois o material exposto em superfícies inclinadas tem a tendência de sofrer mais influência da gravidade. Ou seja, quanto maior é a declividade, mais aceleradamente a energia potencial das

águas pluviais é convertida em energia cinética, aumentando a velocidade e a capacidade de transporte da água em estado líquido, que é responsável pelos processos de erosão que modelam as formas do relevo (CASSETI, 1994; PEREIRA; THOMAZ, 2013; SOUZA; OLIVEIRA, 2019). Isto posto, o conhecimento sobre a declividade e a hipsometria contribui com a modelagem e prevenção de movimentos de massa (PEREIRA; THOMAZ, 2013).

Áreas classificadas como muito fraca e com fraca declividade são importantes para o uso do solo e da agricultura, pois estão menos suscetíveis ao processo de erosão. Ademais, áreas classificadas com declividade média e forte estão mais sujeitas à erosão, apontando a necessidade de cuidados no uso e ocupação do solo, como também nas práticas conservacionistas para que não ocorra a degradação total. As áreas que apresentam declividades maiores que 30% são altamente suscetíveis aos processos erosivos e solicitam especial cuidado com o manejo, indicando culturas perenes ou vegetação nativa, cobrindo totalmente o solo para minimizar a degradação e o processo erosivo. Então, quanto maior a declividade maiores devem ser as práticas conservacionistas (SIVIERO; RHODEN, 2020).

Soares e Piroli (2019) estudaram o relevo da Bacia do Rio Pardo, em São Paulo, e verificaram que essa bacia se apresenta como pouco acidentada, pois possui predominância de declividade menor que 10%, sendo poucas as áreas que chegam às declividades superiores a 45%. Estas estão concentradas na parte baixa da bacia, nas cabeceiras dos cursos d’água.

Em estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Perneiras, em Perneiras/SP, Garcia *el tal.* (2020) relatam que as classes de declive mostraram um maior predomínio e a classe Suave-ondulado, 3 a 8% de declividade (47% da bacia), e a classe Plano, declive de 0 a 3%, representa 41,61% da área total da bacia, pela baixa declividade, os autores classificaram essa bacia como terras próprias para o cultivo de culturas anuais.

Para Siviero e Rhoden (2020), cerca de 9,11% da área da Bacia Hidrográfica do Meio Oeste Catarinense apresenta declividade superior a 30%, necessitando de cuidados no uso do solo, bem como de práticas conservacionista, pois tudo isso indica a presença de solos rasos que estão altamente sujeitos à erosão.

2.3.2 Hipsometria

A hipsometria está relacionada com a variação do valor de altitude, sendo que seus valores são representados em metros, tendo como referência o nível médio do mar (BURROUGH, 1986).

A altimetria, a declividade e as curvas de níveis são as propriedades utilizadas na classificação do terreno. Vasconcelos *et al.* (2012) proferem que a altimetria é caracterizada por estabelecer uma superfície suavizada, em que figuram fragmentos homogêneos levemente maiores que as curvas de níveis e as declividades. Entretanto, as declividades refletem uma taxa de variação espacial da altimetria que possibilita salientar quebras no relevo. Logo, a descrição numérica da superfície fornece uma fonte de informação progressivamente mais confiável que permite estimar variados fenômenos como, por exemplo: erosão de solos, hidrogramas de bacias, fluxos d'água, movimentos de massa, entre outros.

Muñoz (2009) destaca que é viável representar de modo quantitativo as formas da superfície da Terra mediante a utilização de equações aplicadas aos modelos numéricos de representação altimétrica.

O comprimento da rampa e a declividade do terreno contribuem com o escoamento das águas. Quanto maior for o trecho em declive, maior será o escoamento da água pela superfície arrastando, assim, outros materiais para os recursos hídricos superficiais, interferindo na qualidade da água (MOTA, 1995).

2.3.3 Classes e Textura dos Solos

Os compartimentos do sistema terrestre têm influência e é influenciado pelo solo, sendo eles: a água, o ar, os organismos, as rochas, sedimentos e o ar. Com isso, o solo interage com eles em todos os processos que indicam a qualidade de vida no planeta. O manejo inadequado dos solos e a degradação provocam desequilíbrio na emissão de gases de efeito estufa e nos fluxos hídricos, apresentando influência direta na regulação da qualidade do ar e da água (EMBRAPA, 2018).

Em sua extensão continental, o Brasil evidencia ampla diversidade de solos, em consequência dos fatores de formação de solo e de sua grande diversidade de pedoambientes. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), constam 13 classes de solo, observando a influência das características físicas, químicas e morfológicas. Constata-se também a influência dos pedoambientes condicionando a

sustentabilidade de cada tipo de solo em função das práticas de manejo e dos usos do solo (EMBRAPA, 2018).

No que se refere às classes dos solos, os Latossolos têm como característica a intensa intemperização e profundidade elevada. São encontrados nos pontos mais altos da paisagem, onde o relevo é associado às pequenas declividades, plano ou suave-ondulado, e apresentam boa drenagem, favorecendo a infiltração da água (PEREIRA *et al.*, 2019). Os Latossolos Vermelhos Distroférricos, como são profundos e porosos ou muito porosos, salientam boas condições para um bom desenvolvimento radicular em profundidade, especialmente se forem eutróficos (de fertilidade alta). Em relação ao aspecto Distroférrico, distinguem-se dos Eutroférricos por explicitarem baixa fertilidade, observando que ambos exibem elevados teores de Ferro (AGEITEC, 2019). Os Latossolos são encontrados especialmente em ambientes com mais umidade, o que favorece a intemperização, ocupando mais de 30% do país, estando principalmente nos estados do Paraná, São Paulo e na Região Centro-Oeste (PEREIRA *et al.*, 2019).

No que tangem aos Nitossolos Vermelhos, são solos bastante intemperizados, medianamente profundos, com estrutura em blocos fortemente desenvolvidos, oriundos de rochas básicas e ultrabásicas, possuem esse nome por causa do aspecto “brilhante”. Mostram alto risco de erosão em razão aos relevos acidentados em que estes solos são encontrados. Quanto aos aspectos Distroférricos e Distróficos, distinguem-se dos Eutroférricos e Eutróficos por apresentarem baixa fertilidade, ressaltando que ambos possuem elevados teores de Ferro (STORTO; COCATO, 2018; AGEITEC, 2019).

Já Neossolos Litólicos se apresentam em solos rasos, não ultrapassando 50 cm, normalmente estão associados a relevos mais declivosos. As limitações do seu uso estão relacionadas com a presença de rocha, pouca profundidade e com os declives acentuados nos quais tais solos são encontrados. Os referidos fatores limitam também o uso de máquinas, o crescimento radicular e elevam o risco de erosão. Sua fertilidade está relacionada à presença de alumínio e à soma de bases, sendo maior nos Eutróficos e mais limitada nos Distróficos e Alícos (AGEITEC, 2019; LUNARDI NETO *et al*., 2020).

2.3.4 Uso e Ocupação do Solo

As atividades humanas estão diretamente ligadas ao tipo de revestimento do solo, seja ele agrícola, florestal, industrial ou residencial. Os dados de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e fotografias aéreas, podem ser relacionados com a cobertura da terra que podem ser usados para mapear o tema (LEITE; ROSA, 2012; IBGE, 2013).

A análise de uso e cobertura do solo é possível a partir do sensoriamento remoto que utiliza sensores imageadores a bordo de satélites artificiais. No atual estado da arte, o sensoriamento remoto tem oportunizado um conhecimento atualizado do uso e cobertura do solo, o que constitui importante ferramenta e subsídio à orientação e tomada de decisão. A imagem do satélite possibilita identificar diretamente os elementos geometricamente apresentados, orientando à ocupação da paisagem, respeitando a sua estabilidade/vulnerabilidade (LEITE; ROSA, 2012; HADLICH, 2006; ROCHA, 2000; MACHADO *et al.*, 2017; ASCIUTTI; STANGANINl; MELANDA, 2019).

Hadlich (2006) menciona que a relação entre o homem e o ambiente, como ele se comporta e como percebe o ambiente, reflete-se na utilização do uso do solo em dado espaço fazendo com que figure como o ponto decisivo de ligação entre os processos naturais e sociais.

Silva *et al.* (2016) constataram que o cultivo irregular em áreas acidentadas, consideradas inaptas para agricultura, tem aumentado o carreamento de sedimentos e a taxa de assoreamento das áreas de nascentes, o que reduz a capacidade de escoamento superficial da água e acelera o processo de erosão hídrica.

Em áreas desmatadas, o sistema solo sofre com o processo de compactação e de impermeabilização, características de regiões urbanizadas. Ao apresentar ligação com a pecuária, devido ao pisoteio do rebanho, do acúmulo de fertilizantes e insumos agrícolas, o manejo inadequado interage e altera este sistema (OLIVEIRA; SANTOS; SILVA, 2017).

No tocante à qualidade da água de uma microbacia, Campos (1999) e Silva *et al.* (2016) indicam que pode ser influenciada por inúmeros fatores, dentre eles, topografia, clima, geologia, cobertura vegetal, bem como tipo, uso e manejo do solo da bacia hidrográfica. Para Moreira et al. (2015), os fatores considerados mais relevantes no manejo das bacias hidrográficas são o uso e ocupação do solo, o que inclui as atividades antropogênicas e o tipo de vegetação, pois afeta a produção de água.

Sabe-se também que, no que se refere à agricultura, as culturas anuais manifestam raízes pouco profundas comparadas às culturas perenes e semiperenes, o que deixa o solo com maior exposição. Quando há ocorrência de chuvas, os sedimentos são carreados em mais quantidade para dentro da água, fato que aumenta a carga de nutrientes no córrego e, consequentemente, eleva a turbidez da água (CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011).

É de notória importância ressaltar que as atividades mineradoras normalmente provocam elevada pressão sobre os recursos naturais, especialmente sobre os recursos hídricos (NASCIMENTO; FERNANDES, 2016). A qualidade dos mananciais pode ser impactada com o uso do solo para as atividades de mineração, no uso e abastecimento dos recursos hídricos, posto que a exploração de recursos minerais constantemente está relacionada às escavações que podem comprometer a capacidade de campo de mananciais subterrâneos, bem como as vazões de mananciais de superfície (AMÉRICO-PINHEIRO, 2016).

No entanto, a presença de vegetação natural, em especial das espécies arbóreas, produz impactos positivos na qualidade da água, mantendo as condições originais da mata ciliar (CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011).

De acordo com o Manual Técnico do Uso da Terra, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), os parâmetros para a classificação e distinção de cada classe do Uso e Ocupação do Solo podem ser:

• Agropecuária. Terra empregada para produzir alimentos e commodities do agronegócio. Inclui as lavouras permanentes, lavouras temporárias, silvicultura, áreas que são comprovadamente agrícolas, mas que o uso não foi identificado no mapeamento. E as pastagens, sendo estas destinadas ao pisoteio do gado, ou seja, atividades voltadas para a pecuária, criação de animais de grande, médio e pequeno porte. Observando que estas áreas de pastagens são formadas mediante plantio de forragens perenes ou melhoria e aproveitamento das pastagens naturais.

• Água. Estão incluídas nessa classe as águas costeiras e interiores, como canais e cursos de água (canais, riachos, rios e outros corpos de água lineares), corpos d’água sem movimento, naturalmente fechados (lagos naturais regulados).

• Área Urbana. Áreas que correspondem às vilas (sedes distritais), às cidades (sedes municipais) e às áreas urbanas isoladas. Portanto, estão inclusas nesta classe as áreas de uso intensivo, sistema viário e áreas estruturadas por edificações predominando as superfícies artificiais não agrícolas. Ademais, estão nesta

categoria as cidades, metrópoles, vilas, transporte e serviços, áreas destinadas às indústrias, complexos comerciais e industriais.

• Floresta. Áreas de vegetação natural que compreendem um conjunto de estruturas campestres e florestais, englobando desde campos originais e florestas (primários) e que foram alterados até as formações florestais espontâneas secundárias, gramíneo-lenhosas e/ou herbáceas, arbustivas, que são distribuídos por diversos ambientes e situações geográficas.

• Mineração. Relaciona-se às áreas de extração e exploração de substâncias minerais.

2.3.5 Área de Preservação Permanente

Uma APP (Área de Preservação Permanente) tem por definição: área que é protegida, coberta ou não por vegetação nativa e possui a função ambiental de preservação das paisagens, dos recursos hídricos da biodiversidade e da estabilidade geológica, contribuir com o fluxo gênico de flora e fauna, proteger o solo e garantir o bem-estar da população humana (BRASIL, 2012). Os tipos mais habituais de APP estão localizados próximos aos cursos d'água, ao redor de nascentes, lagos naturais, represas, em pico de morros e em declividades superiores a 45º (FREITAS *et al.*, 2013).

A APP é de extrema importância para a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica, a existência das áreas com cobertura vegetal preservadas gera a redução da velocidade da colisão das gotas de chuva com o solo, possibilita o aumento da infiltração de água no solo, reduzindo a velocidade do escoamento da água, servindo de barreira física para as partículas de solo erodidas e, por consequência, reduz a eutrofização, o assoreamento e contaminação dos cursos d'águas. Com a degradação dessas áreas, faz-se necessário sua recuperação, porém esse processo é de alto custo e moroso. Logo, é preciso desenvolver estudos para reduzir os danos o máximo possível (QUINTO, 2018).

As Áreas de Preservações Permanentes são protegidas por legislação, o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012), que se refere à APP, às faixas, características da vegetação e do local para estipular os limites a partir dos quais tais áreas devem estar protegidas do uso pela agropecuária e demais atividades, delimitando distâncias que precisam ser respeitadas (FREITAS *et al.*, 2013).

Teruya Junior *et al.* (2016) confirmaram em seus estudos que o aumento de área das classes que constituem as áreas antropizadas (agricultura, área urbana e pastagens) é preocupante, pois a diminuição da largura das APP e o aumento da classe antrópica podem apresentar sérios problemas ao corpo d'água, como a turbidez das águas e o assoreamento. No mesmo estudo, os autores diagnosticaram que, em relação ao uso inadequado do potencial pedológico, a maior parte é devida à presença de desconformidades nas ocupações urbanas, bem como a região de proteção ambiental está sendo destinada aos empreendimentos e projetos de vários seguimentos do tipo industrial, (comércio, residencial e serviços), contribuindo com o processo de degradação e ocupação de nascentes e matas ciliares.

A APP também tem uma função importante atuando como corredor ecológico, conectando fragmentos florestais, ou seja, se a área de preservação permanente estiver conforme indica a legislação, as maiores porções dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica estariam conectadas (FREITAS *et al.*, 2013).

2.3.6 Classificação Climática

Em conformidade com o Atlas Climático da Região Sul do Brasil, viabilizado pela EMBRAPA (2012), o progresso da vegetação na Terra, tal como as culturas florestais, forrageiras e agrícolas, ocorre em razão dos tipos de clima. A classificação climática é imprescindível para conhecer quais espécies da fauna ou quais tipos de vegetação se desenvolvem em determinada área.

A classificação climática mais utilizada é a de Köppen, que se baseia na temperatura, pluviosidade e vegetação, apresentando-se por meio de um código de letras que caracteriza grandes subgrupos e grupos climáticos, assim como subdivisões para diferenciar características estacionais de pluviosidade e temperatura (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

Na região Sul do Brasil, são encontrados três tipos de clima, o Cfb, Cfa e o Af. O Cfa é classificado como subtropical, apresentando média de temperatura no mês mais frio sendo inferior a 18 ^{o}C e no mês mais quente com temperatura superior a 22 ^{o}C. O Cfb é classificado como temperado propriamente dito, apresentando média de temperatura inferior a 18 ^{o}C no mês mais frio e no mês mais quente tem média de temperatura inferior a 22 ^{o}C. O Af é classificado como tropical, evidenciando chuvas fartas e elevada umidade relativa do ar (EMBRAPA, 2012).

Portanto, o estado do Paraná manifesta alguns tipos de clima, cobertura vegetal e solo, tendo diferentes formações geológica e conformação geomorfológica. Em consequência de sua extensão e localização, exibe características de clima tropical, na região norte e em quase todo o restante do seu território possui clima subtropical (ICHIBA *et al.*, 2005).

2.3.7 Ventos

Para Cresesb (2008), a energia eólica pode ser vista como uma das formas proveniente do Sol que se manifesta, visto que os ventos são provocados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. Os movimentos da Terra e os raios solares, entre outros, são as causas da não uniformidade no aquecimento da atmosfera. Há regiões no globo terrestre onde os ventos jamais param de “soprar”, devido aos mecanismos que os produzem (resfriamento nos polos e aquecimento no equador) são frequentes na natureza. São denominados como ventos constantes ou planetários, classificados em:

Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos.

Alísios: ventos que sopram em altitudes baixas, dos trópicos para o Equador.

Contra-Alísios: ventos que sopram em altitudes elevadas, do Equador para os polos.

Ventos do Oeste. Ventos que sopram dos trópicos para os polos.

A avaliação técnica do potencial eólico requer um conhecimento preciso de como os ventos se comportam. Os dados que auxiliam a determinar o potencial eólico de uma região são inerentes à direção e à intensidade da velocidade do vento. Para a obtenção desses dados, é fundamental também fazer a análise dos fatores que influenciam o regime dos ventos no local do empreendimento. Entre esses fatores, pode-se apontar o relevo, a rugosidade do solo e demais obstáculos distribuídos ao longo da localidade (CRESESB, 2008).

O vento tem como característica um comportamento irregular. Tendo em vista que a velocidade do vento é capaz de variar muito ao longo dos dias, meses e anos, em comparação com a média anual, pode ser observada uma variação de 10% ao longo do tempo. Por causa dessa característica, o estudo do vento é realizado por meio de análise probabilística (CUSTODIO, 2009). Análise essa

chamada de Probabilidade Weibull, que descreve o fluxo variável de velocidade do vento em uma dada região, traçando um prognóstico no decorrer do tempo potencial de geração da eletricidade durante a vida útil do aerogerador. Quanto maior é a série histórica dos dados, maior é a confiabilidade da curva (PRADO, 2009).

A distribuição de Weibull é calculada por meio do fator de forma do vento K e sua média característica C. Vale frisar que essas constates (C e K) são definidas por amostras de vento coletadas na área em estudo. O fator de forma K tem relação com o tipo de distribuição da curva de Weibull. De acordo com a variação do valor de K, tem-se a modificação na curva. O fator de escala C tem relação com a velocidade média da região (CUSTÓDIO, 2009).

O fator de capacidade é tido como um indicador do percentual entre energia gerada (PG) - valor total que o aerogerador produz de energia durante um ano, sobre a potência instalada (PI) – corresponde, então, à potência instalada no aerogerador multiplicada por 8760. Essa constante (8760) é o valor de horas/dia multiplicado por dias/ano (24x365). O Fator de capacidade tem relação com as condições naturais como, por exemplo, o perfil do vento da região onde o aerogerador é instalado (FIGUEIREDO, 2019).

A curva de potência retrata o comportamento de potência da turbina eólica, na qual, para cada velocidade de vento, estima-se uma potência gerada. (FIGUEIREDO, 2019). A potência disponível do vento depende da massa específica do ar, da área e, principalmente, da velocidade de massa do ar em movimento (CUSTÓDIO, 2009).

A rugosidade do solo é a influência que a superfície tem em relação ao retardo do vento perto do solo. As construções e a vegetação são elementos contribuintes da rugosidade, contudo, não são todos os componentes da topografia que ocasionam o aumento da turbulência dos ventos como, por exemplo, os longos morros lisos (EPALANGA, 2013). A rugosidade do solo é encontrada pela dimensão e distribuição dos elementos de rugosidade que a constituem. A rugosidade geralmente é parametrizada em uma escala de comprimento, que é chamada de comprimento de rugosidade Z0. Comprimento esse que é a altura na qual o vento é zero, quando ele apresenta um comportamento logarítmico de acordo com a variação de altura (CUSTÓDIO, 2009).

2.4 Bacias Hidrográficas Paraná 3, Piquiri e Baixo Iguaçu

Com base na Resolução nº 49 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, de 2006, o Oeste do Paraná é dividido por três importantes bacias: a do Baixo Iguaçu, localizada na fronteira com a Argentina, a bacia do Paraná 3, situada na fronteira com o Paraguai e a Bacia do Piquiri, ou Paraná 2, localizada na região Norte do Oeste do Paraná (PNUD, 2018).

A bacia hidrográfica do rio Piquiri está localizada na região centro-oeste do estado do Paraná, sua área de drenagem é de 24.700 Km^2. O rio Piquiri nasce na região da Serra do São João, na divisa entre os municípios de Guarapuava e Turvo, percorre 480 km até sua foz no rio Paraná, estando na divisa dos municípios de Terra Roxa e Altônia (CORREA; GALVANI, 2017).

Rocha *et al*. (2018) evidenciam que a bacia hidrográfica do Paraná 3 está localizada na mesorregião Oeste do estado do Paraná, sua área de drenagem é de 8.000 km^2, fazendo parte de 28 municípios. A bacia do paraná 3 é subdividida em 12 sub-bacias, apresentando o direcionamento de drenagem de Leste para Oeste, tendo a sua foz no Reservatório do Lago de Itaipu. Os principais rios desta bacia são: Guaçu, Taturi, São Francisco Verdadeiro, São Francisco Falso Braço Sul, São Francisco Falso Braço Norte, Chororó, Ocoí, Marreco, São Vicente, Santa Quitéria, Passo-Cuê e Pinto.

A Bacia Hidrográfica do Iguaçu tem área internamente ao Paraná e Santa Catarina. No Paraná, sua área de drenagem é de 54.820,4 Km^2, cobrindo 28% da área total do estado. A Bacia do Iguaçu é subdividida em três sub-bacias (alto, médio e baixo Iguaçu). O Rio Iguaçu é tido como o maior rio totalmente paranaense, formado pelo encontro dos Rios Atuba e Irai na região Leste de Curitiba, rios estes que têm suas origens na borda ocidental da Serra do Mar, seguindo os três planaltos paranaenses até desaguar no Rio Paraná. Os principais afluentes da Bacia do Iguaçu são: Passaúna, Iraí, Verde, Atuba, Barigui, Passa Dois, Palmital, da Várzea, Cavernoso, Chopin, Adelaide, Castro Alves, Gonçalves Dias, Silva Jardim e Ampére. As maiores cidades situadas na Bacia do Iguaçu são: Colombo, Curitiba, Araucária, São José dos Pinhais, Pinhais, Cascavel (parcialmente situada na bacia), Francisco Beltrão e Guarapuava (SEMA, 2010).

2.5 Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica tem como objetivo avaliar um empreendimento, concluindo se deve ou não ser executado. O seu estudo é um instrumento que fornece informações acerca do ganho, possuindo como objetivo principal a previsão de circunstâncias negativas ou positivas do determinado empreendimento (INC, 2018).

De posse dos dados sobre custos iniciais, custos de manutenção e custos operacionais, pode-se dar início aos estudos de viabilidade econômica. Há vários indicadores que auxiliam a análise de viabilidade econômica de um projeto, os principais são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback.

O VPL tem como atribuição trazer para data presente todos os fluxos de caixas de um determinado empreendimento e adicioná-lo ao valor investido inicialmente. Para isso, utiliza-se a taxa de desconto TMA (Taxa Mínima de Atratividade) daquele empreendimento. O TMA é uma taxa que retrata o mínimo de retorno que o investidor espera obter do empreendimento em questão (PRATES, 2016). Quando o VPL é positivo, significa que o empreendimento possui capacidade de gerar lucro e o VPL nulo revela que o projeto vai se pagar com o passar do tempo, porém não vai produzir lucro. Logo, quando o VPL é negativo, o projeto terá prejuízo e não gerará lucro (PARMAIS, 2017).

A TIR constitui um percentual que demonstra qual é a rentabilidade de um empreendimento, levando em conta o mesmo período dos fluxos de caixas. Tem-se a TIR quando o VPL=0 (PRATES, 2019).

O Payback consiste em informar quanto tempo que determinado empreendimento leva para se pagar, ou seja, qual é o prazo de recuperação de um investimento. Tal indicador possui duas formas para ser calculado, o simples e descontado. O Payback simples não considera a alteração do dinheiro no tempo. Então, o Payback simples é calculado somando todos os fluxos de caixa do período, até que o valor se iguale ao valor inicial do investimento (PARMAIS, 2017). O Payback descontado é calculado a partir do valor presente dos fluxos de caixa, levando em conta o custo de capital (FONSECA; BRUNI, 2003).

Acerca da viabilidade econômica de aerogeradores, Gnoatto (2017) estudou a viabilidade técnica e econômica para implantação dos aerogeradores de pequeno

e médio porte, nos municípios de Cascavel, Londrina e Palmas, no Paraná. Verificou que, em todos os municípios, o valor do TIR foi negativo e o Payback descontado ficou acima da vida útil dos aerogeradores, tornando o projeto inviável financeiramente.

Nesta perspectiva, Bieger (2018) estudou a viabilidade econômica para a implantação de aerogeradores de pequeno porte na reitoria de Santa Maria/RS, onde foram simulados 20 cenários tendo em vista os ventos reais e ideais. Foram calculados TIR, VPL, Payback Simples e Payback Descontado em cada cenário, pois os cenários que consideram ventos ideais são viáveis economicamente. Entretanto, ao trazer os cenários para a realidade dos ventos de Santa Maria, os resultados foram negativos, ponderando o investimento economicamente inviável.

Em contrapartida, ao estudar a viabilidade econômica dos aerogeradores de pequeno porte em Jatai/GO, Silva (2021) obteve valores positivos, visto que os melhores resultados obtiveram TIR de 10% e Payback de 6 anos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O estudo foi desenvolvido no município de Cascavel, na região Oeste do Paraná, sendo delimitada uma microbacia hidrográfica (Figura 5), entre as latitudes sul 25°53'20'' e longitude oeste 53°26'19". A Bacia escolhida é referente ao Rio Cascavel. O município escolhido faz parte de trecho da bacia hidrográfica do Baixo Iguaçu.

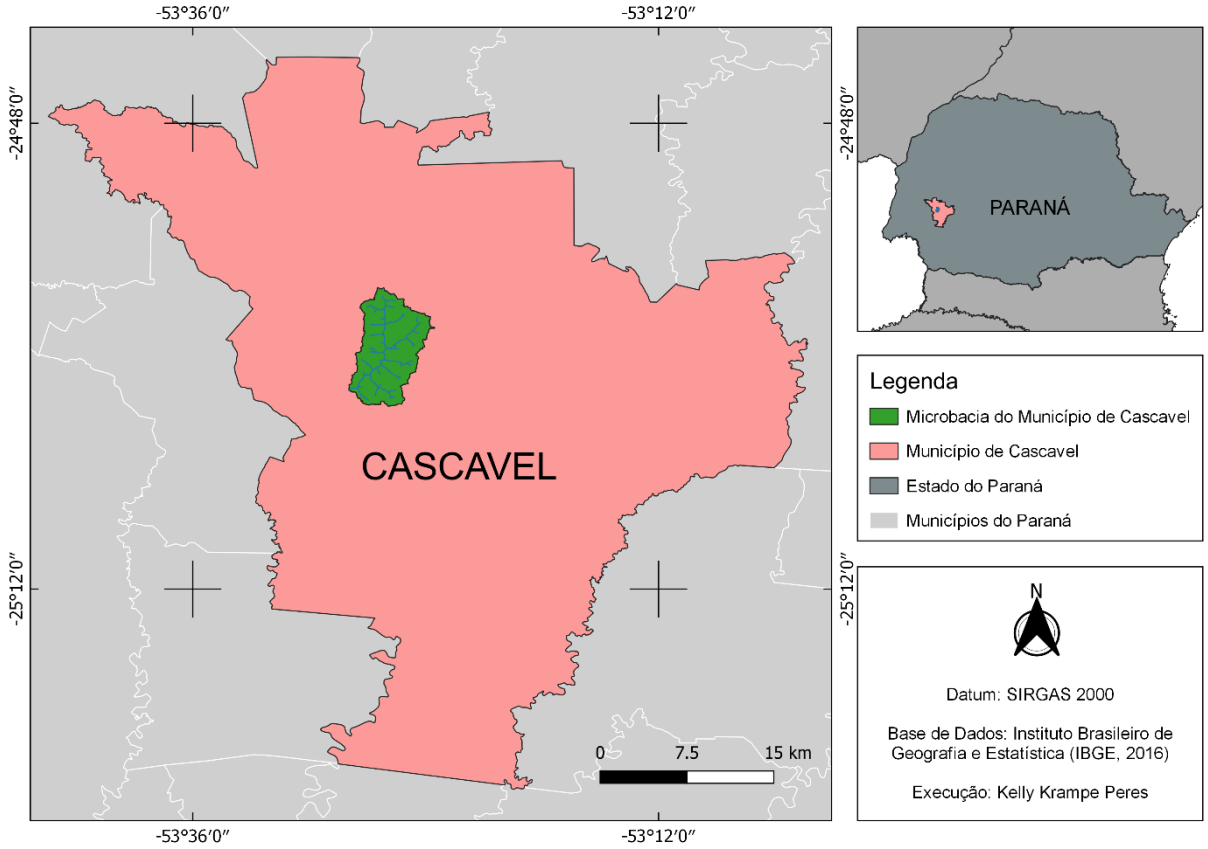


Figura 5 - Município de Cascavel-PR, Brasil, com sua respectiva microbacia hidrográfica.

3.2 Mapeamento e Análise de Fragilidade Ambiental

Para realizar o estudo da fragilidade ambiental, foram observadas as características geoambientais: declividade, classe e textura do solo, uso e ocupação do solo e clima.

Este trabalho teve a preocupação de ser inclusivo com pessoas daltônicas. Sendo assim, para os mapas temáticos identificados por cores, foram utilizadas escalas colorimétricas que possibilitem suas distinções, com o auxílio do site COLOR BREWER 2.0 (2022).

3.2.1 Declividade

A elaboração do mapa de declividade contou com a coleta do banco de dados geomorfométricos do Brasil que fica disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Depois de importar os dados raster com resolução de 30 metros, foi realizada reamostragem do Modelo Digital de Elevação (MDE), gerando uma grade retangular com resolução de 10 metros. Posteriormente, foi gerada a grade de declividade e seu respectivo fatiamento, sendo realizados no software Qgis. O mapa de declividade da microbacia foi embasado nas classes de declividade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), sendo essas divididas em 4 classes temáticas: 0 - 3%, 3 - 8%, 8 - 20%, 20% - 45% utilizando uma cor para cada classe, iniciando das cores mais frias para as mais quentes.

3.2.2 Classe e Textura do Solo

Foi utilizado o mapa de classe e textura dos solos do arquivo “Mapa de uso de solo do estado do Paraná” disponibilizado no site da EMBRAPA (2007).

3.2.3 Uso e Ocupação do Solo

Para uma análise mais precisa do uso e cobertura do solo referente à microbacia de Cascavel, foram utilizadas imagens do Programa Sentinel, produzido entre uma parceria entre a Agência Espacial Europeia (ESA) e um consórcio com cerca de 60 companhias que mantêm os satélites Sentinel 2A e 2B, responsáveis por cobrir a superfície terrestre em 13 bandas diferentes, com resolução espacial que chega a 10 metros (COPERNICUS, 2020), o que possibilita mais definição das

imagens e melhor acurácia na identificação das áreas. As imagens foram obtidas do satélite Sentinel 2A (datadas em 25-04-2020, 15-04-2020, e 15-05-2020).

Foi utilizado o método de classificação manual no software Qgis. Foram escolhidas cinco classes para a identificação das áreas de estudo (Agropecuária, Água, Área Urbana, Floresta e Mineração).

3.2.4 Clima

Para a classificação climática, foi utilizado o mapa de classificação climática Brasileira, segundo Alvares *et al.* (2013), que disponibiliza shapefiles para todo o país acerca das áreas que sofrem influência das condições climáticas embasadas na classificação de Köppen-Geiger.

3.2.5 Fragilidade Ambiental

A análise da fragilidade ambiental foi realizada com a calculadora raster do QGis, utilizando a álgebra de mapas, que faz o emprego de uma função matemática para ponderar valores definidos em cada classe da variável considerada.

Para a realização dos mapas de fragilidade ambiental, cada uma das variáveis consideradas (declividade, clima, classe e textura dos solos e uso e ocupação do solo) tiveram suas subclasses ponderadas com valores de 1 a 5. Onde 1 é o menor e 5 o maior indicativo de fragilidade – 1-"Muito Baixa", 2-"Baixa", 3-"Intermediária", 4-"Alta" e 5-"Muito Alta" (Tabela 1). Como parâmetro de ponderação, as determinações das classes foram embasadas nos estudos de Franco et al. (2012); Souza, Costa e Carvalho (2011); Massa e Ross (2012) e Ross (1994).

Para realizar a função matemática de média simples, para as classificações já ponderadas anteriormente, foi utilizada a calculadora raster do software QGis de acordo com a Equação 1.

Eq. (1)

$$F = \frac{D + Cts + Us + Cl}{4}$$

Onde:

F = Fragilidade;

D = declividade;

Cts = Classe e textura do solo;

Us = Uso e ocupação;

Cl = Clima.

Tabela 1 - Níveis de fragilidade de acordo com as características geoambientais

Características	**Classes**	**Pesos**
Declividade	Plano	1
	Suave-ondulado	2
	Ondulado	3
	Forte-ondulado	4
Classe e textura do solo	Latossolo roxo, Latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo, textura argilosa	1
	Latossolo amarelo e vermelho amarelo, textura média/argilosa	2
	Latossolo vermelho amarelo, Nitossolos, Aluvissolos, Neossolos, textura média/argilosa	3
	Neossolos, Cambissolos, textura média/arenosa	4
	Neossolos com cascalho, Litólicos e Neossolos Quartzarenicos	5
uso e ocupação	Floresta	1
	Água	2
	Agropecuária	3
	Área urbana	4
	Mineração	5
Clima	Cwa	3
	Am	2
	Af	5
	Cfa	2
	Cwb	3
	Csb	3
	Csa	3
	Cfb	2
	Bsh	5
	As	4
	Cwc	4
	Aw	4

Fonte: ROSS, 1994; SOUZA; COSTA; CARVALHO, 2011; FRANCO et al., 2012 (Adaptado).

Desta forma, foram gerados valores, pixel a pixel, que consideram todas as variáveis, resultando na fragilidade ambiental das áreas estudadas.

3.3 Verificação Mata Ciliares

A quantificação da mata ciliar foi baseada no código Florestal Brasileiro Lei 12651/2012 (BRASIL, 2012), que estabelece as delimitações das Áreas de Preservação Permanente, segundo a Tabela 2. Então, verificou-se as larguras dos cursos d'água que foram aferidas em campo, utilizou-se o recurso "Buffer" do Software Qgis para delimitar as áreas de mata ciliar. Em seguida, com o auxílio das imagens do satélite Sentinel 2, as áreas foram divididas entre mata ciliar existente e mata ciliar a ser restaurada.

Tabela 2 - Delimitação das Áreas de Preservação Permanente

Largura dos cursos d'água	Largura mínima de mata ciliar
menos de 10 metros	30 metros
de 10 a 50 metros	50 metros
de 50 a 200 metros	100 metros
de 200 a 600 metros	200 metros
superior a 600 metros	500 metros

Fonte: Lei 12651/2012 (Adaptado).

3.4 Estudo Potencial Eólico

Os dados meteorológicos históricos horários de velocidade (m/s) e direção dos ventos dos anos de 2011 a 2016, da cidade de Cascavel –PR, foram solicitados ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), sendo coletados nas estações meteorológicas do Instituto Tecnológico SIMEPAR, localizados em uma altura de 10 metros.

3.4.1 Tratamento Estatístico da Velocidade do Vento

Os dados de velocidade do vento foram organizados em planilha eletrônica no Software Excel. O tratamento estatístico das séries históricas da velocidade do vento inicia-se pelo cálculo das velocidades máxima, mínima e média, coeficiente de variação anual e desvio padrão. A velocidade média do vento, o coeficiente de variação e o desvio padrão foram calculados respectivamente pelas Equações 2, 3 e 4.

Eq. (2)

$$\bar{V} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Vi$$

Eq. (3)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{n=1}^{N}(Vi - \bar{V})^2}$$

Eq. (4)

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{V}}$$

Onde:

$\overline{v}$ = velocidade média em m/s;

N = número de dados da série temporal;

Vi = informação individual da velocidade em m/s;

σ = desvio padrão;

CV = coeficiente de variação.

3.4.2 Rugosidade e Extrapolação da Velocidade do Vento

A velocidade dos ventos para esse estudo será analisada na altura de 30 metros. Essa altura será tomada com base nas investigações de Guicho (2019), o qual avaliou o comportamento dos ventos em diferentes alturas para Cascavel-PR, verificando que para as variáveis de velocidade do vento e potência, não há diferença estatística significativa nas alturas de 20, 30 e 40 m. No entanto, ressalta que as potências máximas e velocidades de 30 e 40 m possuem o padrão semelhante e se diferenciam em comparação com os 20 metros. Logo, a altura de 30 m é estatisticamente similar às alturas de 20 e 40 m. Importante entender que é desnecessário aumentar 10 metros de torre para elevação do aerogerador, de 30 para 40 m, pois esse ganho não é estatisticamente expressivo.

Os dados de vento disponibilizados são coletados em espaços abertos, distantes da rugosidade da cidade, na altura de 10 metros. Torna-se necessário corrigir os valores de acordo com o fator de rugosidade.

Para corrigir a velocidade do vento em 30 metros de altura, utilizou-se a Lei de Hellmann, que faz uso da Equação 5 para determinar a velocidade do vento

levando em conta o fator de rugosidade (SCHUMANN, 2014). Foi adotado o fator de rugosidade 0,19, apropriado para zonas rústicas (plantações) em que se pretende instalar os aerogeradores, tal como na Tabela 3.

Eq. (5)

$$Vh = V10\left(\frac{h}{10}\right)^{a}$$

Onde:

Vh= velocidade do vento na altura desejada (m/s);

V10= velocidade do vento (m/s) na estação meteorológica (10 m);

a= expoente de Hellmann de acordo com a rugosidade do terreno (Tabela 3).

Tabela 3 - Coeficientes para determinação da velocidade do vento em diferentes alturas e terrenos

Localização da Edificação	Z0	A
Subúrbios	1,500	0,32
Plantações	0,050	0,19
Campos	0,030	0,13
Áreas com neve	0,003	0,10

Fonte: SCHUMANN, 2014 (adaptado).

3.4.3 Escolha do Aerogerador

Ao escolher o aerogerador foi levado em consideração as médias de velocidades de vendo na altura desejada para a instalação, bem como as potências desejadas.

3.4.4 Frequência e Distribuição de Weibull

Obtendo como base os dados decorrentes do tratamento estatístico, foi desenvolvido um histograma de frequência dos ventos, segundo a distribuição de Weibull. Esse histograma possibilita a visualização da faixa de velocidade dos ventos que ocorreu com mais frequência e o modo que a sua intensidade se caracteriza na série histórica.

Silva, Guedes, Araújo (1999) destacam que a Função Densidade de Probabilidade Weibull pode ser calculada com a Equação 6, sendo necessário para tal conhecer o desvio padrão da amostra e a velocidade média dos ventos que já foram calculados.

Eq. (6)

$$P(V) = \frac{k}{V} . \frac{V^{k-1}}{C} . \exp\left(-\frac{V^k}{C}\right)$$

Onde:

P(V) = Frequência de ocorrência de velocidade do vento;

V = Velocidade horizontal estável do vento livre (m/s);

C = fator de escala de Weibull empírico (m/s), com valores próximos da velocidade média;

k = fator de forma de Weibull empírico (adimensional), caracteriza-se pela assimetria da função da probabilidade;

As constantes C e k podem ser calculadas segundo as Equações (7) e (8):

Eq. (7)

$$K = \left(\frac{\sigma}{Vm}\right)^{-1,086}$$

Eq. (8)

$$C = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{V} \cong 1,128\ \bar{V}$$

Onde:

k = fator de forma (adimensional);

σ = desvio padrão;

Vm = velocidade máxima (m/s);

л = 3,1415;

C = fator de escala (m/s);

$\bar{v}$ = velocidade média (m/s).

Por meio de uma rotina de cálculo no software Excel, foram desenvolvidas as curvas da função densidade, probabilidade Weibull e potência média do aerogerador escolhido. Após as curvas de função densidade, probabilidade de Weibull e potência média a serem desenvolvidas, foi calculada a energia gerada

pelo aerogerador escolhido e o fator de capacidade. O fator de capacidade foi calculado segundo a Eq. (9):

Eq. (9)

$$FC = \frac{PG}{8760.PI}$$

Onde:

FG: Fator de capacidade (adimensional);

PG: Energia gerada (Kwh);

PI: Potência instalada (KW).

3.5 Cargas Instaladas

As cargas instaladas a serem supridas pelo aerogerador foram baseadas no estudo de Silva (2021). O autor utilizou uma propriedade rural de pequeno porte do município de Cascavel com as potências instaladas apresentadas na Tabela 4, referentes a um aviário. O consumo médio mensal da propriedade é de 5882,5 kWh/mês. Essa carga é hipotética, pois esse estudo pode ser aplicado em qualquer propriedade rural de Cascavel.

Tabela 4 - Potências instaladas na propriedade (aviário)

Equipamentos	**Quantidade**	**Potência (CV)**
Motor (comedouros)	8	0,55
Motor (silo)	1	1
Motor (Fornalha)	2	4,5
Motor (desidratador de aves)	1	1
Exaustores	6	1,5
Exaustores	14	1
Lâmpadas Incandescentes	169	0,08
Bomba (pad cooling)	1	1
Bomba (nebulização)	1	1
Bomba (Arco sanitário)	1	1
Bomba submersa (poço)	1	3,5
Bomba (filtro)	1	1
Bomba (dosadora)	1	1
Circulador (ventilador)	4	0,5
Total	**211**	**62,42**

Fonte: SILVA, 2021 (Adaptado).

3.6 Localização dos Aerogeradores

Para a localização dos aerogeradores, além dos fatores de velocidade e direção dos ventos, foi levado em consideração outro fator, sendo ele a área tida como frágil ambientalmente: Pensando na recuperação das áreas degradadas e frágeis ambientalmente, foi escolhido um ponto localizado em uma região que necessita ser recuperada, tal como o levantamento feito nesse estudo. A ocupação da área com equipamentos de Geração Eólica de Energia Elétrica garante que suas torres e geradores provoquem o menor impacto no nível de insolação da área e possibilita sua ocupação vegetativa, assim como a garantia de um dossel verde.

Existindo a necessidade de implantação de mais de um aerogerador, deveria ser considerado mais um fator: as distâncias requeridas para a instalação de aerogeradores. A distância que se recomenda para os aerogeradores localizados na direção perpendicular à direção do vento é de 2 a 3 diâmetros do rotor dos aerogeradores. Para os localizados na direção preferencial do vento, é de 6 a 10 diâmetros do rotor (MARTÍNEZ, 2003). No entanto, para Castro (2009), as distâncias devem ser de 3 a 5 diâmetros do rotor na direção perpendicular à direção do vento 5 a 9 diâmetros do rotor na direção preferencial do vento.

Vale frisar que o local escolhido é hipotético, pois o mesmo estudo pode ser aplicado por qualquer proprietário da área rural do município de Cascavel, atentando-se para o fato do local ser na região de mais fragilidade ambiental de sua propriedade.

3.7 Viabilidade Econômica

Para a determinação da viabilidade econômica, primeiro foram levantados os custos com a energia elétrica. Silva (2021) menciona que o consumidor da área rural paga R$ 0,49 kWh pela energia fornecida a partir da Concessionária local. Foi estudada a possibilidade de venda da energia em mercado aberto, utilizando os dados do preço do mercado Spot de energia, sendo R$ 85,00 MWh.

Em seguida, foram levantados alguns dados financeiros referentes à aquisição (turbina, torre), instalação (fundação e obras civis), manutenção dos aerogeradores, entre outros. Os dados relacionados com a aquisição foram levantados a partir da empresa Energia Pura, os dados referentes à instalação foram

baseados nos estudos de Manwell, Mcgowan e Rogers (2009) e Breeze (2012), quando relataram que os custos médios para a instalação de aerogeradores seguem a seguinte proporção (Tabela 5).

Tabela 5 - Custos médios para a instalação de aerogeradores

Item	Porcentagem %
Turbina	64%
Fundação	16%
Conexão à rede	11%
Planejamento	9%
Total	**100%**

Fonte: MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, (2009); BREEZE 2012 (adaptado).

Em seguida, foram analisados os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback descontado.

3.7.1 Valor Presente Líquido (VPL)

É calculada a diferença do valor descontado dos benefícios sobre o valor dos custos descontados. O VPL ≥ 0 é um indicador de viabilidade do projeto. Pode ser calculado na Equação (10):

Eq. (10)

$$VPL = \sum_{t=0}^{n} \frac{FCt}{(1+i)^t}$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

FC = Fluxo de caixa no período t;

t = Enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto (inicia em 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de caixa);

n = Número de períodos t;

i = taxa de juros (TMA).

3.7.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Tem-se a TIR quando o VPL=0. Sendo calculada conforme Equação (11)

Eq. (11)

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{FCt}{(1+TIR)^t} = 0$$

Onde:

TIR= Taxa Interna de Retorno;

FC = Fluxo de caixa no período t;

t = Enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto (inicia em 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de caixa);

n = Número de períodos t.

3.7.3 Payback Descontado

O prazo de recuperação de um investimento é calculado somando todos os fluxos de caixa do período, até que o valor seja igualado ao inicial do investimento. Seguindo a Equação (12):

Eq. (12)

$$Payback\ descontado = \frac{FC}{(1+TMA)1}$$

Onde:

FC= Fluxo de caixa;

TMA = Taxa mínima de atratividade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mapeamento e Análise de Fragilidade Ambiental

4.1.1 Declividade

Quanto maior for a declividade, mais aceleradamente a energia potencial das águas pluviais é convertida em energia cinética, aumentando a capacidade de transporte da água em estado líquido, que é responsável pelos processos de erosão que modelam as formas do relevo (PEREIRA; THOMAZ, 2013; SOUZA; OLIVEIRA, 2019). No Mapa de Declividade da microbacia do Rio Cascavel (Figura 6), estabelecida para o estudo proposto, foi possível identificar 6,95% da área total da microbacia classificada como “Forte-Ondulado” (20 - 45%), com maior concentração na porção central em direção ao exutório. Uma parte considerável que abrange as áreas desta microbacia está classificada como “Suave-Ondulado” (37,26% da área total) e “Ondulado” (53,27% da área total). Essas informações indicam a microbacia como pouco acidentada, não possuindo características físicas coerentes com ocorrências de focos erosivos, indicando que não seja vulnerável.

Importante ressaltar que as áreas no entorno dos corpos hídricos tendem a se destacar pela declividade acentuada, quando comparadas com o resto da porção total. Fator que explica a essencialidade da vegetação natural que integra as áreas de preservação permanentes (APP) previstas em lei, visto a sua importância na manutenção da qualidade ambiental e minimização dos efeitos de sedimentação, erosão e percolação de materiais contaminantes (SOUZA; OLIVEIRA, 2019).

Resultados semelhantes foram encontrados por Garcia *et al.* (2020), onde o relevo plano e suave-ondulado prevaleceu em quase 89% da área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pederneiras/SP. Neste sentido, Pereira e Thomaz (2013) encontraram na Bacia Hidrográfica do Arroio Palmeirinha, município de Reserva/PR, que 35,85% da sua área com declividade classificada como Ondulado, apenas 6,95% da área total da bacia correspondem a classe Forte-Ondulado, e 10,15% pertencem às áreas de baixa declividade (Plano).

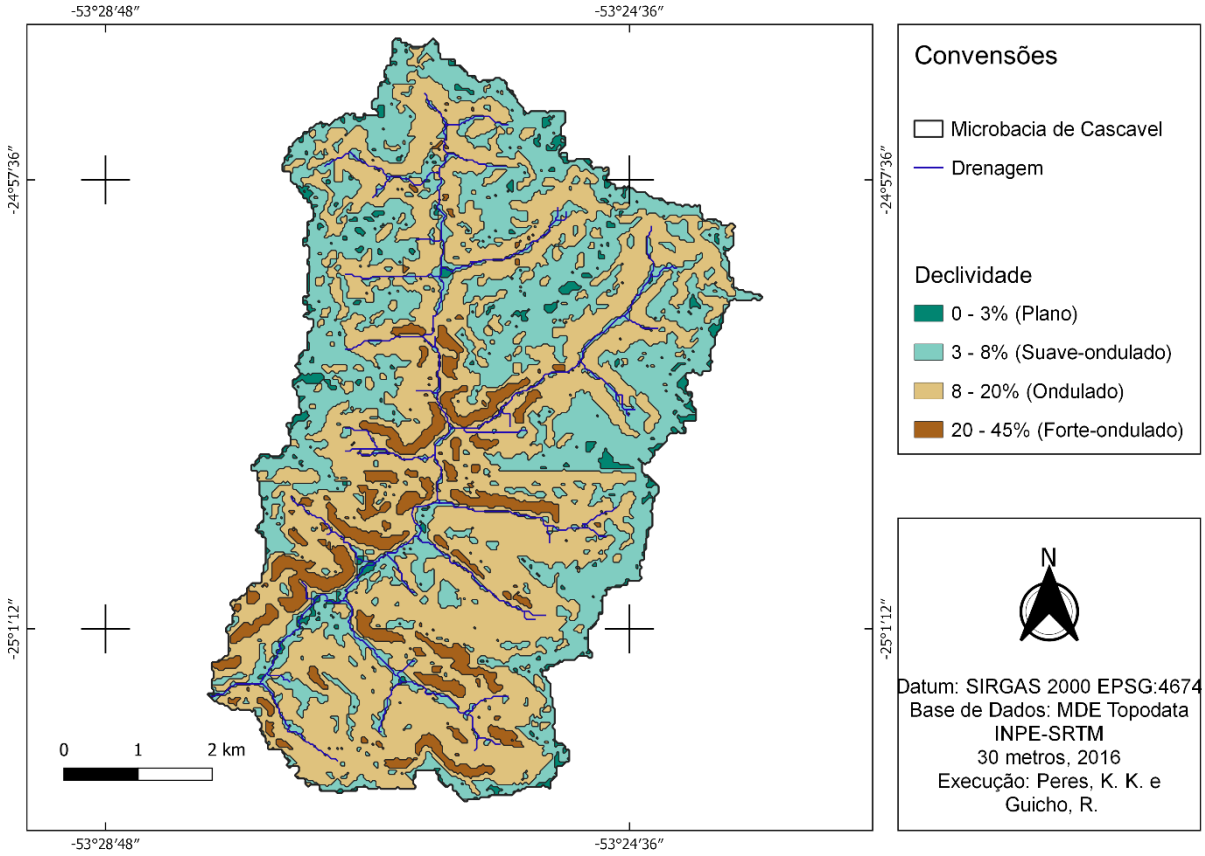


Figura 6 - Mapa de Declividade do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR.

Souza *et al.* (2017) relatam que, na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí/PR, o relevo é predominantemente da classe Suave-ondulado (47,15% da área total), em seguida se encontra a classe Ondulado (29,99% da área total).

Em contrapartida, Valle, Francelino e Pinheiro (2016) encontraram 26% da área da Bacia do Rio Aldeia Velha classificada como Forte-ondulado (20 - 45% de inclinação) sendo a classe de declividade mais representativa dessa bacia hidrográfica. Em segundo lugar, encontra-se a classe Montanhoso e escarpado (>45% de inclinação), indicando uma bacia com fortes inclinações e com condições que limitam à ocupação humana. Tem-se que a classificação quanto à declividade é muito particular em cada região.

4.1.2 Classe e Textura do Solo

No Mapa de Classes de Solos da microbacia do Rio Cascavel (Figura 7), observou-se que a textura do solo é argilosa e as classes do solo são: Latossolo Vermelho Distroférrico típico, possuindo 74,35% da área total da microbacia. O

Latossolo Vermelho Distroférrico típico álico, com 25,65% da área total. Portanto, a maior área da microbacia é do tipo de solo Latossolo Vermelho Distroférrico típico.

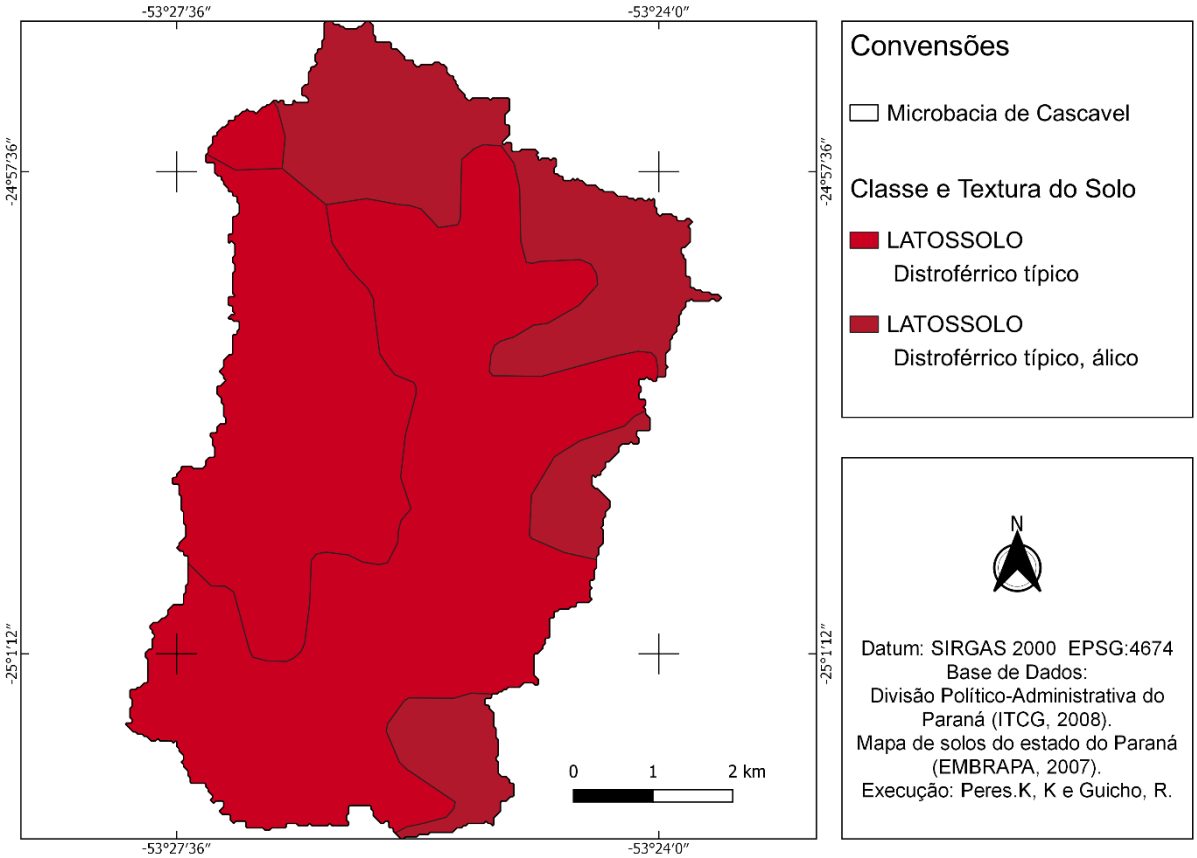


Figura 7 - Mapa de Classe e Textura do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR.

Os solos argilosos exibem propriedades físicas oriundas de rochas básicas, solos profundos, bem drenados e bem desenvolvidos, determinando boa permeabilidade em decorrência da sua alta porosidade, portanto menos suscetíveis à erosão em comparação aos solos arenosos (AGEITEC, 2019).

4.1.3 Uso e Ocupação do Solo

Na Figura 8, pode-se observar o mapa de uso e ocupação do solo. Neste mapa, estão classificadas as áreas da microbacia quanto à agropecuária, área urbana, água e floresta, sendo que foram consideradas florestas áreas de vegetação natural que compreendem um conjunto de estruturas campestres e florestais, englobando desde campos originais e florestas (primários) e que foram alterados até as formações florestais espontâneas secundárias, gramíneo-lenhosas e/ou

herbáceas, arbustivas, que são distribuídos por diversos ambientes e situações geográficas.

Vê-se na microbacia de Cascavel (Figura 8) que as “Áreas Urbanas” estão localizadas na região norte da microbacia, possuindo destaque por ser uma porção representativa da microbacia, cerca de 32,12% da área total (16,15 Km²). As regiões de florestas existentes tendem a ser desmatadas para dar lugar as residências, e as regiões de agropecuárias possuem predisposição a degradação das florestas para ganhar área de plantio e criação de gado. Com isso, Carvalho *et al.* (2016) confirmam que a presença de residências próximas ao curso d’água evidencia a ausência de áreas de preservação permanente (APP) naquela região, fato esse que causa danos ambientais, bem como escoamento irregular, inundações, despejo indevido de matéria orgânica de saneamento, como também encanamentos nocivos à interação hidrográfica e à vida humana.

Pode-se também observar na Tabela 6 que a “Agropecuária” é a classe de maior percentagem da microbacia, com 41,73% da área total (21,13 Km²), em seguida está a classe “Área Urbana” e, em terceiro, está a “Floresta” com 24,88% da área total (16,15 Km ²). Resultado esse que corrobora com o fato da região Oeste do Paraná ser de notável extensão agrícola, tendo como característica pequenas propriedades rurais (PNUD, 2018). Vale ressaltar que esta microbacia possui região de mineração (pedreira), sendo responsável por 0,47% da área total (0,23 Km²).

Com o crescimento acelerado das cidades no Brasil, houve a falta de planejamento urbano, promovendo riscos para a habitação humana, por causa da ocupação irregular e uso do solo. As cidades não tinham preparo para receber a grande demanda populacional e grande parte da população que não possuía condições financeiras instalou soa moradia em locais afastados, ou até invadindo espaços considerados inapropriados, como áreas de preservação, encostas e campos, ocasionando grandes problemas para o meio ambiente por conta dos alagamentos e inundações, assoreamento, processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa (CAMPOS; BRANCO, 2021).

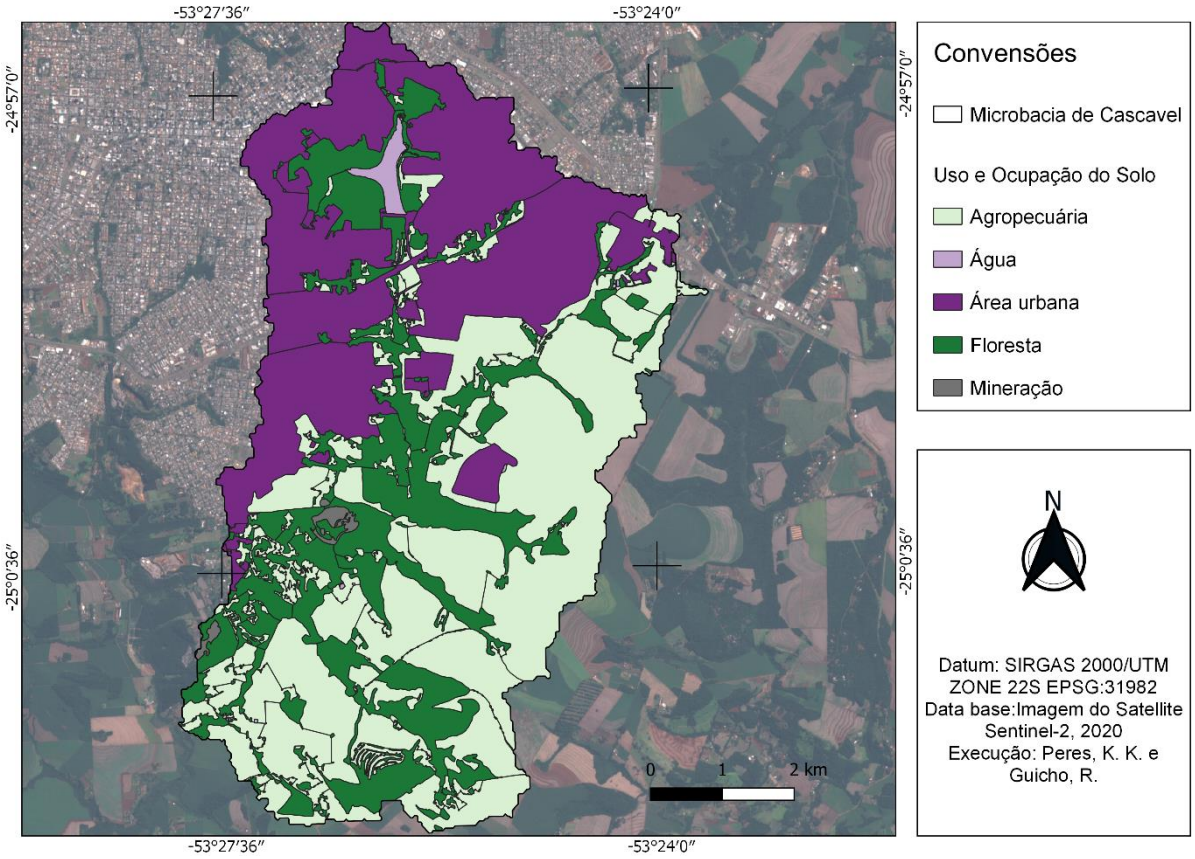


Figura 8 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR.

Tabela 6 - Porcentagens e Áreas das Classes de Uso e Ocupação do Solo do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR

Classes	Áreas (Km²)	Porcentagem %
Agropecuária	21,13	41,73
Água	0,40	0,80
Área urbana	16,15	32,12
Floresta	12,42	24,88
Mineração	0,23	0,47
Total	**50,33**	**100**

Autores como Campos, Ramires e Paula (2011), Silva *et al*. (2016), Kawano *et al.* (2021), Campos e Branco (2021), entre outros, relatam como as Áreas urbanas são prejudiciais para os corpos de água, pois as atividades antropogênicas afetam a produção de água. Sabe-se também que a qualidade da água tem relação de maneira direta e indireta com as atividades humanas, geralmente resumidas pelo manejo inadequado da água após a utilização nas indústrias, nas atividades agropecuárias e na área urbana.

Leva-se em conta também a mineração como ação de grande impacto aos recursos naturais, especialmente sobre os mananciais, pois as escavações

comprometem os mananciais tanto no subterrâneo quanto de modo superficial (NASCIMENTO; FERNANDES, 2016; AMÉRICO-PINHEIRO *et al.*, 2016).

Em áreas destinadas à pecuária e regiões urbanizadas, o solo é compactado e impermeabilizado. Devido ao pisoteio do rebanho, acúmulo de fertilizantes e insumos agrícolas, o manejo inadequado interage de forma integrada e altera este sistema (OLIVEIRA; SANTOS; SILVA, 2017). No que diz respeito à agricultura, as culturas anuais manifestam raízes pouco profundas, o que deixa o solo com maior exposição e, quando há ocorrência de chuvas, os sedimentos são carreados em maior quantidade para dentro da água, fato que aumenta a carga de nutrientes no córrego e, consequentemente, eleva a turbidez da água (CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011).

4.1.4 Clima

O tipo climático predominante identificado, em conformidade com a classificação climática brasileira de Köppen, adaptado por Alvares *et al.* (2013) foi o Cfa, caracterizado como subtropical, apresentando média de temperatura no mês mais frio inferior a 18 ºC e no mês mais quente com temperatura superior a 22 ºC (EMBRAPA, 2012).

4.1.5 Fragilidade Ambiental

No mapa de fragilidade da microbacia do Rio Cascavel (Figura 9), observa-se que as áreas mais representativas são as de fragilidade intermediária, com 25,94 Km² ou 51,54% da microbacia (Tabela 7), seguida pela classe baixa, correspondendo a 48,10% da área total. A classe com fragilidade alta, com 0,24% da microbacia, e a fragilidade muito baixa, com 0,12% da microbacia. Não foram encontradas áreas com fragilidade tida como muito alta. Pode-se observar que os locais mais frágeis se encontram na região norte e oeste da microbacia.

A classe de fragilidade com predominância neste estudo foi a classe intermediária. Resultados encontrados por Anjinho *et al.* (2021), Abrão e Bacani (2018), Nörnberg e Rehbein (2020), Gouveia *et al.* (2015), Corte *et al.* (2015), Bueno, Cunha, Bortoluzzi (2018), Bisognin *et al.* (2018) destacam que as áreas com

fragilidade intermediária são as declivosas aliadas à Agropecuária, em razão do manejo inadequado do solo, fazendo com que seja suscetível à erosão. Ademais, tem destaque ainda as áreas de pastagem de gado próximas aos cursos d'água, o que permite o contato direto dos animais com a água, fatores esses que, combinados, acabam gerando a contaminação dos mananciais.

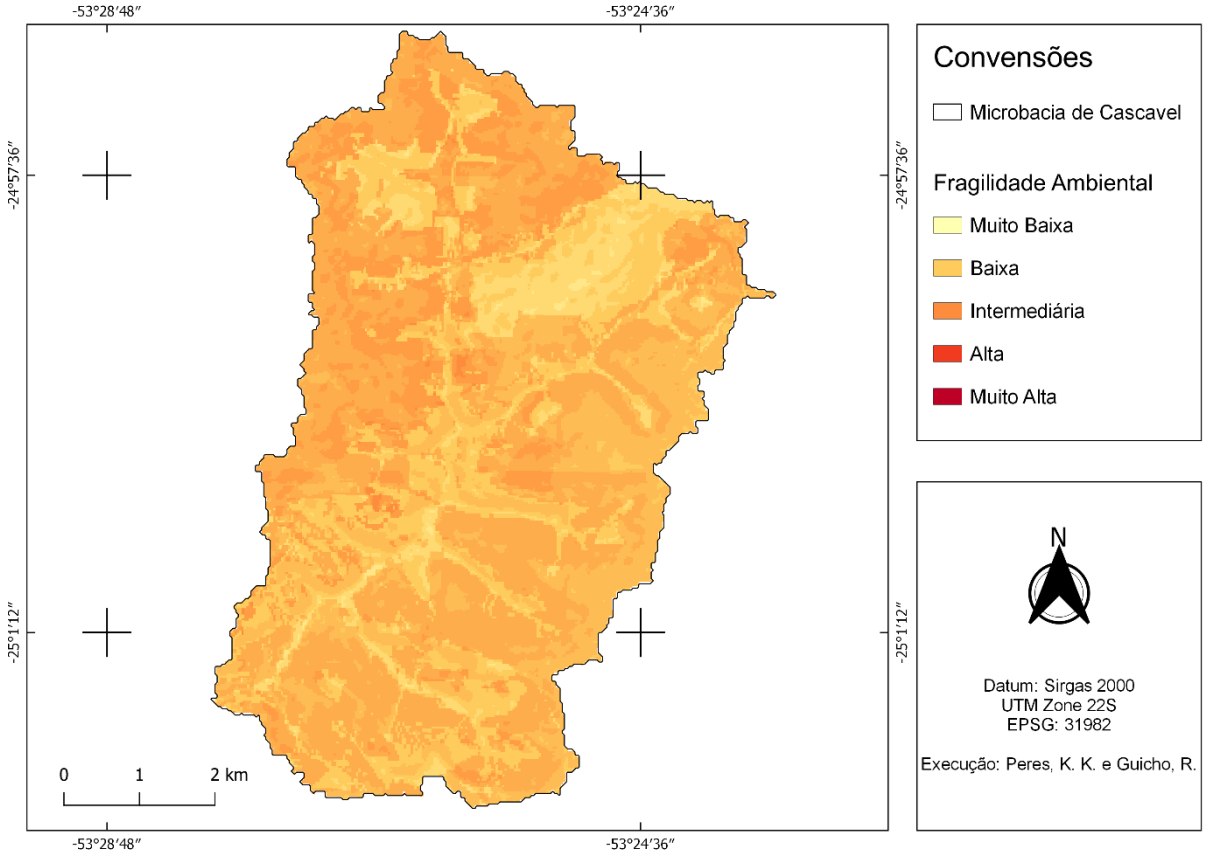


Figura 9 - Mapa de Fragilidade do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR.

Tabela 7 - Porcentagens e Áreas das Classes de Fragilidade do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR

Classes	Área (Km²)	Porcentagem %
Muito Baixa	0,06	0,12
Baixa	24,21	48,10
Intermediária	25,94	51,54
Alta	0,12	0,24
Muito Alta	0,00	0,00
Total	**50,33**	**100**

As atividades antropogênicas afetam diretamente a fragilidade desses ambientes, bem como a qualidade da água (CAMPOS; RAMIRES; PAULA, 2011; SILVA *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2018). Geralmente, áreas com relevo acentuado

com solo exposto ou com vegetação são associadas à fragilidade intermediária e alta, assim como regiões de área urbana em que a interversão humana modifica o meio ambiente (SILVEIRA *et al.*, 2014; SCHIAVO *et al.*, 2016; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016; BELATO; SERRÃO; DIAS, 2019).

Mesmo alguns autores tendo registrado a classe de fragilidade muito baixa e baixa com predominância em áreas de relevo com baixa declividade, geralmente esse fator é associado às áreas com vegetação densa e/ou regiões de reflorestamento, o que não ocorre nesse município (GONÇALVES *et al.*, 2011; FRANCO *et al.*, 2012; BACANI *et al.*, 2015; STORTO; COCATO, 2018; PERIÇATO; SOUZA, 2019; SOUZA *et al.*, 2020).

Ressalta-se a necessidade de atenção dessa microbacia, com predominância da classe de fragilidade intermediária, uma vez que se faz necessário o manejo voltado para sua restauração e conservação, buscando conter o avanço da fragilidade somado com a importância de minimizar os impactos antrópicos do uso e ocupação desses ambientes alcançando, assim, a melhoria da qualidade da água desses ambientes.

4.2 Quantificação de Mata Ciliar

O estudo da quantificação da mata ciliar da microbacia do Rio Cascavel (Figura 10) totalizou uma extensão de 2,84 Km² (Tabela 8), tendo em vista que 1,06 Km² da mata ciliar deve ser restaurada, o que representa 37,32% do total. Destaca-se que na parte Norte da microbacia a região que deve ser restaurada é predominantemente ocupada por uma área urbana. No Leste e Sul da microbacia, no caso, a área que precisa ser restaurada é predominantemente ocupada pela agropecuária.

Em estudo semelhante, Wrublack (2012) verificou que 31,25% da mata ciliar do município de Salto do Lontra precisa ser restaurada. No que se refere ao estudo de Vargas (2018), o autor diagnosticou que, de acordo com a Lei n° 12.651 de 25 de maio de 2012, a área de mata ciliar da microbacia do rio M'Boicy, em Foz do Iguaçu, possui 51% de mata ciliar e 49% com área desmatada.

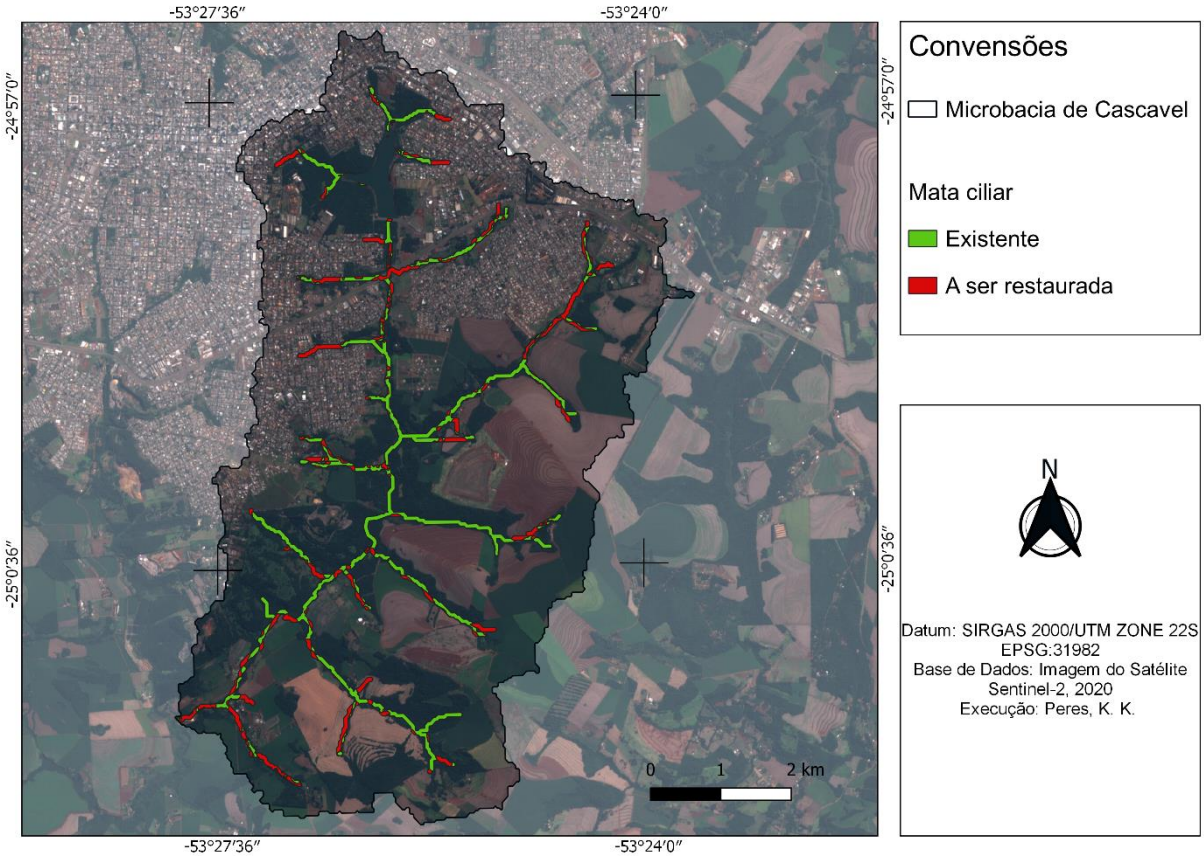


Figura 10 - Mapa da Mata Ciliar do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR.

Tabela 8 - Áreas e Porcentagens da Mata Ciliar Existente e a Ser Restaurada do Rio Cascavel, Cascavel, Paraná-BR

Mata ciliar	Km²	%
Existente	1,78	62,68
A ser restaurada	1,06	37,32
Total	**2,84**	**100**

4.3 Tratamento Estatístico e Correções das Alturas da Velocidade do Vento

Foram realizados os cálculos da velocidade média dos ventos, velocidade máxima e mínima, cálculos de coeficiente de variação e desvio padrão para 10 metros de altura (altura que os dados são fornecidos) e corrigidos para a atura do aerogerador (30 metros), conforme Tabela 9.

A velocidade média dos ventos a 10 e 30 m de altura, respectivamente, indicaram 4,12 e 5,08 m/s, resultados que corroboram com os estudos de Guicho (2019) indicando que, para Cascavel, a 30 metros de altura as velocidades máximas de vento variam entre 9 a 15,24 m/s, e as velocidade médias de vento variam de 3,02 a 5,60 m/s. O mês de outubro tem os mais elevados valores de velocidade

máxima, porém os maiores valores de velocidade média ocorrem nos meses de: junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro.

Tabela 9 - Tratamento estatístico e correções de velocidade do vento

	10 metros	**30 metros**
Velocidade mínima do vento (m/s)	0,00	0,00
Velocidade máxima do vento (m/s)	13,18	16,23
Velocidade média do vento (m/s)	4,12	5,08
Coeficiente de variação (%)	44,89	44,89
Desvio padrão	1,85	2,28

Em relação à velocidade média de vento a 10 metros de altura para Cascavel, Sato (2015) encontrou o valor de 4,03 m/s, bem como Munemori Junior (2004) identificou o valor de 3,85 m/s. Valores próximos aos encontrados pelo estudo proposto foram identificados pelos autores citados.

4.4 Escolha do Aerogerador

O aerogerador escolhido foi o WES 50 de duas pás, fabricado pela Wind Energy Solutions BV, na Holanda, projetado para áreas com menor velocidade do vento. Especificações constam na Tabela 10. As curvas de produção energética e de potência seguem no ANEXO A.

Tabela 10 - Especificações do aerogerador escolhido

Wes 50	
Potência nominal	Máx 72 kW
velocidade do vento de partida	3 m/s
Velocidade nominal do vento	10 m/s
Velocidade do vento de sobrevivência	52,5 m/s
Diâmetro das pás	20 m
Área varrida	327 m^2
Vida útil	20 anos

Fonte: WIND ENERGY SOLUTIONS, 2022.

4.5 Curva de Distribuição de Weibull

4.5.1 Fatores de Forma e Escala

Após tratamento estatístico das velocidades de vento para Cascavel nos anos de 2011 a 2016, foram calculados o fator de Forma e o fator de Escala para a altura de 10 metros e extrapolados para 30 metros de altura, tal como na Tabela 11.

Como já observado por Custódio (2009), o fator de forma K é relacionado com o tipo de distribuição da curva de Weibull, ou seja, de acordo com a variação do valor de K, tem-se a modificação na curva. Já o fator de escala C tem relação com a velocidade média da região, o que pode ser comprovado nesse estudo, quando aumentou a altura, elevando consequentemente a velocidade do vento, assim como o valor de C.

Tabela 11 - Fatores de Forma e Escala para Cascavel, Paraná-BR

Fatores de Weibull	**10 metros**	**30 metros**
Fator de Forma (K)	2,387	2,387
Fator de Escala (C)	4,650	5,729

Valores de k acima de 2 indicam uma região de ventos intensos e de baixa turbulência. Os valorem encontrados para Cascavel-PR são de k=2,287. Portanto, são ventos considerados bons para o aproveitamento do recurso eólico (SATO, 2015). Os Valores de C e K a 10 metros de altura para Cascavel (C=4,650 e K=2,387) foram semelhantes aos valores encontrados por Sato (2015) que foram de 2,33 para o fator de forma (K) a 2,33 e de 4,55 para fator de escala (C).

4.5.2 Curva de Distribuição de Weibull e Curva de Potência do Aerogerador

A tabela realizada no *Software* Excel para obtenção da Curva de Frequência e distribuição de Weibull, assim como a quantidade de energia que poderá ser gerada pelo aerogerador escolhido se encontra no Apêndice A.

A Curva de Frequência e Distribuição de Weibull em 30 metros de altura, pode ser observada na Figura 11, indicando que os ventos são mais frequentes nas velocidades de 4 m/s e 5 m/s, totalizando 33,31% dos ventos que ocorrem na região.

Lembrando que a velocidade média do vento para Cascavel em 30 metros é de 5,08 m/s.

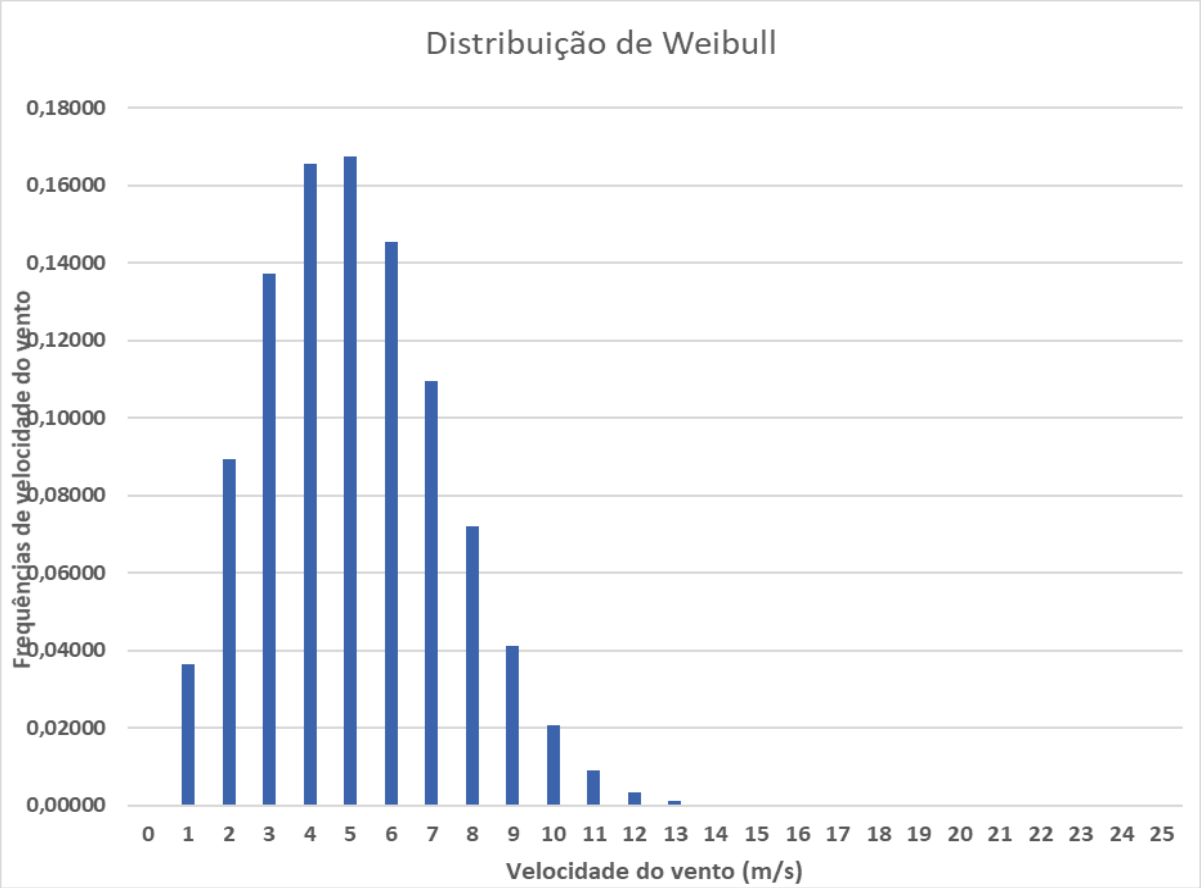


Figura 11 - Curva de Frequência e Distribuição de Weibull para Cascavel, Paraná-BR.

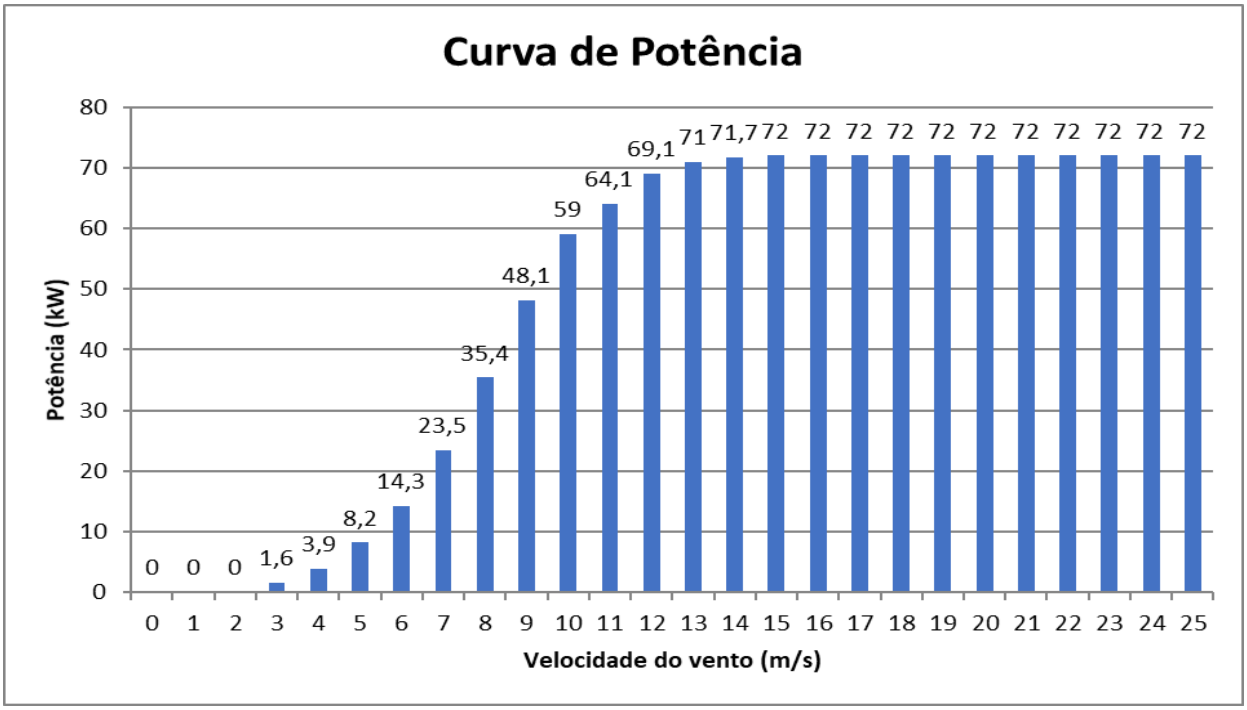


Figura 12 - Curva de Potência do aerogerador escolhido.

Na Curva de Potência do aerogerador escolhido, Figura 12, observa-se que esse aerogerador só irá gerar energia a partir de 3 m/s, atingindo a capacidade máxima de geração a partir de 15 m/s. Logo, como pode ser observado no Apêndice A, cerca de 12,57% dos ventos não serão aproveitados para geração de energia, pois são as frequências de velocidade de vento que ocorrem entre 0 e 2 m/s. Então, o aerogerador irá aproveitar 87,43% dos ventos que ocorrem em Cascavel.

4.5.3 Energia Média e Fator de Capacidade do Aerogerador

A energia média que pode ser gerada pelo aerogerador escolhido em Cascavel pode ser observada na Tabela 13. No Apêndice A, pode ser observado o número de horas e faixa de velocidade de vento que pode gerar energia. Assim, para gerar 325,41 kWh/dia o aerogerador irá trabalhar 21 horas por dia.

Para o fabricante, o aerogerador Wes 50 produz em média 10.800 kWh por mês a uma velocidade de 5,4 m/s, o que se pode verificar nas condições de vento de Cascavel, com velocidade média de 5,08 m/s, uma geração de 9.762,37 kWh por mês, ou seja, resultado semelhante ao informado pelo fabricante.

Tabela 12 - Energia gerada pelo aerogerador encolhido em Cascavel

Energia média gerada	
Por dia (kWh/dia)	325,41
Por mês (kWh/mês)	9.762,37
Por ano (kWh/ano)	118.775,75

O fator de capacidade é a proporção entre a produção efetiva e a capacidade total máxima do aerogerador, ambos em um mesmo período de tempo. É uma medida (adimensional) que indica a “eficiência” do aerogerador e pode servir como parâmetro para comparação entre projetos de potências distintas (DANTAS, 2013).

Para Teixeira *et al.* (2020), a média do fator de capacidade no Brasil está em torno de 40%, maior que o encontrado nesse estudo, que é de 27,10, porém, a região responsável pelo aumento dessa média é o Nordeste, que apresenta ventos bem mais homogêneos em comparação com a região Sul.

Dantas (2013) profere que o fator de capacidade pode ser encontrado em qualquer nível entre 0% e 100%. Contudo, estudos com energia eólica em terra

(*Onshore*) encontraram fatores de capacidade que variam entre 22,5% e 26,5%, semelhante ao fator de capacidade encontrado nesse estudo.

4.6 Localização do Aerogerador

Na Figura 13, verifica-se o mapa de localização do aerogerador, enfatizando que foi encolhida essa localização principalmente por ser uma região fragilizada ambientalmente e por estar próxima de uma região de mineração (pedreira). Essa é uma localização hipotética, pois qualquer proprietário rural pode fazer uso desse estudo, desde que instale o aerogerador na região mais fragilizada de sua propriedade, visto que o intuito é a restauração de áreas consideradas frágeis ambientalmente utilizando da energia eólica.

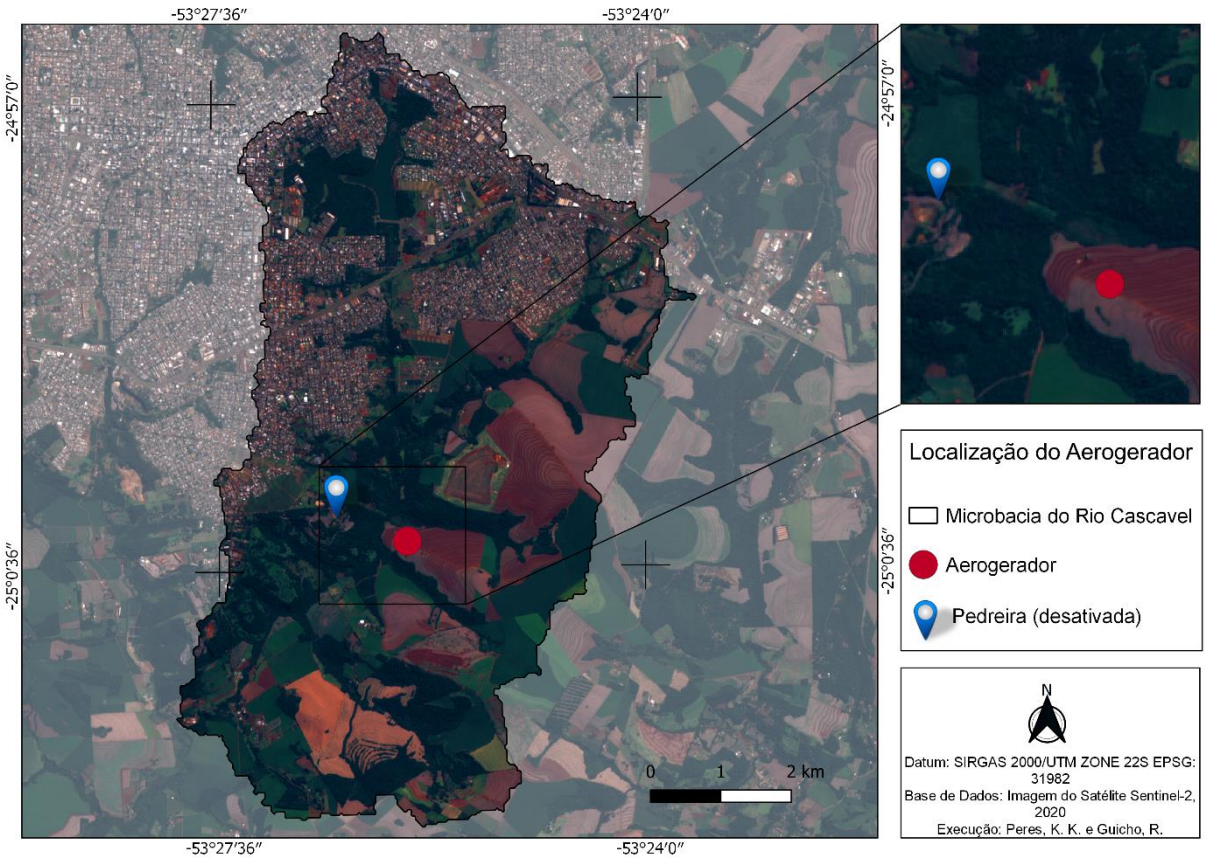


Figura 13 - Mapa de localização do aerogerador.

4.7 Viabilidade Econômica

Para os cálculos de viabilidade econômica, foram levados em conta os custos salientados na Tabela 13, sendo que o custo total para a instalação do aerogerador é de R$ 1.685.218,75. Basso (2017) destaca que os custos com manutenção geram em torno de 1% do custo do aerogerador por ano. Sendo assim, foi tido como despesa anual de R$ 10.785,40.

Tabela 13 - Custos para instalação do aerogerador

Item	**Custo (R$)**
Turbina	R$ 1.078.540,00
Fundação	R$ 269.635,00
Conexão à rede	R$ 185.374,06
Planejamento	R$ 151.669,69
Total	**R$ 1.685.218,75**

Para a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), utilizou-se uma taxa de financiamento disponibilizado pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) que possui um financiamento chamado Finem - Geração de energia, financiamento para modernização e expansão de infraestrutura de geração de energia a partir de fontes renováveis e termelétricas a gás natural no País (BNDES, 2022).

4.7.1 Primeiro Cenário

Como primeiro cenário de cálculo de viabilidade, foi analisada a viabilidade econômica do proprietário rural para abater os custos com a instalação do aerogerador com os valores gastos em energia elétrica. Foram utilizados os valores gastos com energia elétrica por uma propriedade rural em Cascavel, que possui um aviário cujas cargas estão supracitadas no Item 3.5 sendo uma média de 5882,5 kWh/mês, custando R$ 0,49 kWh. Levando em conta que o aerogerador escolhido gera em torno de 9.762,37 kWh por mês, caso utilizasse a carga equivalente à do aerogerador, gastaria R$ 57.402,84 por ano. Retirando o valor gasto em manutenção, fica R$ 46.617,44 por ano. Esse valor foi o de entrada do fluxo de caixa por ano. A planilha utilizada para o cálculo de viabilidade econômica do primeiro cenário se encontra no Apêndice B.

Os valores encontrados de Payback Simples, Payback descontado, assim como o valor do Investimento inicial e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) podem

ser observados na Tabela 14, visto que o valor de Payback descontado é de 51 anos e 8 meses, o que torna esse projeto inviável financeiramente.

Tabela 14 - Valores de Payback do primeiro cenário

Investimento Inicial	R$ 1.685.218,75
TMA	1,45% a.a.
Payback Simples	36 anos e 1 mês
Payback Descontado	51 anos e 8 meses

Foram realizadas também simulações referentes aos cálculos de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Valor Presente Líquido (VPL) para vários anos de financiamento (7,10,15,20,52). Os resultados são mostrados na Tabela 15, lembrando que a vida útil do aerogerador é de 20 anos. Nota-se que o investimento só se tornaria viável (valores de TIR e VPL positivos) com 52 anos.

Tabela 15 - Valores de TIR e VPL para o primeiro cenário

	TIR	**VPL**
7 anos	-29,64%	-R$ 1.377.028,96
10 anos	-18,42%	-R$ 1.254.163,10
15 anos	-9,41%	-R$ 1.060.818,63
20 anos	-5,08%	-R$ 880.901,92
52 anos	1,47%	R$ 8.971,36

4.7.2 Segundo Cenário

Como segundo cenário de cálculo de viabilidade, foi analisada a viabilidade econômica de vender a energia produzida pelo aerogerador para o mercado aberto – Mercado Spot (Mercado financeiro de curto prazo), onde o preço da energia eólica está em média R$ 85,00 MWh. Então, para 9.762,37 kWh por mês gerados será obtido um lucro de R$ 10.095,88 por ano, sendo esse o valor tido como entrada do fluxo de caixa por ano. A planilha utilizada para o cálculo de viabilidade econômica para o segundo cenário se encontra no Apêndice B.

Os valores encontrados de Payback Simples, Payback descontado, assim como o valor do Investimento inicial e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) podem ser observados na Tabela 16, em que o valor de Payback descontado não foi encontrado, o que torna esse projeto inviável financeiramente.

Tabela 16 - Valores de Payback do segundo cenário

Investimento Inicial	R$ 1.685.218,75
TMA	1,45%
Payback Simples	166 anos e 11 meses
Payback Descontado	Inviável

Foram realizados também os cálculos de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Valor Presente Líquido (VPL) para vários anos de financiamento (7,10,15,20,52). Todos estão em evidência na Tabela 17, lembrando que a vida útil do aerogerador é de 20 anos. Vale frisar que não foram encontrados valores de TIR e VPL positivos. Com isso, o investimento não se torna viável.

Tabela 17 - Valores de TIR e VPL para o segundo cenário

	TIR	**VPL**
7 anos	-46,37%	-R$ 1.618.474,48
10 anos	-33,18%	-R$ 1.591.865,57
15 anos	-21,34%	-R$ 1.549.993,21
20 anos	-15,05%	-R$ 1.511.028,87
52 anos	-3,37%	-R$ 1.318.310,14

4.7.3 Alternativa de Viabilidade

Foi observado que o projeto de instalação de aerogerador em áreas fragilizadas com financiamento BNDES - Finem é inviável. Por isso, busca-se maneiras de viabilizar o projeto e certas políticas na área ambiental podem ser exploradas como, por exemplo, o Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) e os Créditos de Carbono.

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é uma política com o principal objetivo de transferir recursos, financeiros ou não, para pessoas que ajudam na conservação dos ecossistemas, contribuindo com a coletividade. Os serviços ambientais abordados normalmente nos programas de PSA são: água, carbono, beleza cênica e biodiversidade (PENKAITIS; IMBERNON; VASCONCELOS, 2020). Contudo, infelizmente a Lei que aborda o PSA ainda não está em vigor.

Um dos exemplos de programas que estimulam o PSA é o Programa Produtor de Água, iniciativa da Agência Nacional de Águas (ANA), cujo objetivo é a

proteção hídrica pela redução do assoreamento e erosão dos mananciais nas áreas rurais. Tais projetos são de participação voluntária, voltados aos produtores rurais que pretendam adotar técnicas de manejos e práticas conservacionistas em suas propriedades que buscam conservar o solo e a água. Ou seja, o Programa Produtor de Água estimula o PSA e propõe bonificação aos usuários que propiciam melhorias nas bacias hidrográficas do Brasil (ANA, 2010).

O Protocolo de Quioto foi acordado em 1997, mas começou a vigorar em 2005, tendo como característica um acordo internacional que determina metas obrigatórias para reduzir emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) em países industrializados. Foi criado, então, o mercado de carbono, que são mecanismos de comércio de emissões, indicando que as empresas que ultrapassarem os limites de emissões de GEE paguem por projetos de compensação de carbono que, normalmente, são praticados por empresas intermediárias. Os projetos de compensação das emissões de GEE de empresas poluidoras determinam a compensação possibilitando a comercialização no mercado entre os países. Além das energias renováveis, a agricultura de baixo carbono, restauração de áreas degradadas e recuperação florestal devem ser destacadas, pois, com o Acordo de Paris, o Brasil comprometeu-se a reflorestar 12 milhões de hectares. Tais metas demonstram a relevância das florestas no mercado de créditos de carbono, os desafios e oportunidades que o país vai enfrentar nos próximos anos com os acordos climáticos mundiais (SILVEIRA; OLIVEIRA, 2021).

Sendo assim, o Crédito de Carbono é uma certificação eletrônica que é emitida quando existe a comprovação da redução da emissão de GEEs, lançados pelas indústrias na atmosfera. Um Crédito de Carbono é equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono que deixou de ser lançado na atmosfera, sendo referenciado em cotas. Após a comprovação dessas cotas, é atribuído um valor de crédito que é possível de ser negociado no mercado financeiro internacional. Esses créditos de carbono são chamados de commodities e servem para a venda posterior nos países desenvolvidos que não atingirem as metas colocadas pelo Protocolo de Quioto possibilitando, assim, beneficiar os países em desenvolvimento. A validação e o controle dos Créditos de Carbono no Brasil são de responsabilidade da Comissão Interministerial de Mudança do Clima e, mediante essa aprovação, é enviada à Organização das Nações Unidas (ONU) para avaliar e registrar (BORGES; BORGES; SOUZA, 2016).

Os créditos de carbono são tidos como um incentivo, um prêmio recebido por uma nação ou empresa como recompensa mediante aos seus esforços em reduzir, evitar suas emissões de GEE ou ainda por retirá-los da atmosfera, estratégia que recebe o nome de “sequestro de carbono” (SOUZA; ALVAREZ; ANDRADE, 2013). Portanto, os créditos de carbono são gerados através do investimento em ações que possibilitem estratégias que motivam economia de baixo carbono, como por exemplo o uso de energias renováveis, caso da biomassa, energia eólica e solar, sendo a energia eólica a que mais gera créditos de carbono (COONTROL, 2022).

Tais políticas podem ser viáveis, porém, precisa-se de políticas mais efetivas voltadas ao meio ambiente e à melhoria da qualidade de vida como, por exemplo, auxiliando com a quitação de boa parcela do financiamento para a instalação dessa tecnologia sustentável e limpa. Para que o produtor rural possa instalar o aerogerador em sua propriedade, utilizando os cálculos de viabilidade econômica realizados nesse estudo, seria apropriado que o poder público subsidiasse 81,71% do valor total do projeto no primeiro cenário e 96% no segundo cenário, para que o produtor rural conseguisse pagar em 7 anos, tonando esse projeto viável, tal como indicado na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores que necessitam ser subsidiados para que o projeto se torne viável

	Porcentagem subsidiada	**Valor subsidiado**	**Valor pago pelo produtor**	**Tempo para pagar**
Primeiro Cenário	81,71%	R$ 1.377.028,96	R$ 308.189,79	7 anos
Segundo Cenário	96%	R$ 1.618.474,48	R$ 66.744,27	7 anos

Sabe-se que existem vários programas de auxílio desenvolvidos pelo governo federal como, por exemplo, o Programa Casa Verde e Amarela, que auxilia pessoas de baixa renda a possuírem sua casa própria, buscando trazer moradia para milhares de famílias em todo o Brasil (GUIA DO BENEFÍCIO, 2022). O poder público poderia implementar iniciativas que beneficiassem o meio ambiente e também as pessoas que residem nele.

Antes de ser optado pelo aerogerador de médio porte Wes 50, foram feitas análises de custos de outros dois aerogeradores de menor porte, o Silence-X, com potência de 100 W e o Skystream, com potência de 4,2 kW. A energia gerada por eles e seus respectivos custos podem ser observadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Energia gerada e custos dos três aerogeradores

Aerogerador	Potência Nominal	Energia Gerada por mês	Custo Instalação de 1 Aerogerador	Quantidade Aerogeradores	Custo Total
Silence-X	100 W	33,78 kWh/mês	R$ 15.546,87	175	R$ 2.720.702,75
Skystream	4,2 kW	264,74 kWh/mês	R$ 101.565,00	22	R$ 2.234.430,00
Wes 50	50 Kw	9.762,39 kWh/mês	R$ 1.685.218,75	1	R$ 1.685.218,75

Fica esclarecido que, apesar do preço da unidade dos outros aerogeradores ser menor que o Wes 50, a quantidade de energia gerada é notoriamente inferior, fazendo com que o aerogerador Wes 50, mesmo que sua unidade custe mais ao final do projeto, fique mais barato.

5. CONCLUSÃO

A respeito da declividade, a microbacia do Rio Cascavel é caracterizada como pouco acidentada e não vulnerável. Com isso, não tem características físicas coerentes com ocorrências de focos erosivos. Tem predominância de Latossolo, com características físicas de solo bem drenado com poucas possibilidades de erosão. O uso e ocupação do solo da microbacia é predominante na classe Agropecuária, porém apresenta grandes áreas urbanas.

A classe de fragilidade com predominância neste estudo foi a classe intermediária, necessitando de atenção, uma vez que se faz necessário o manejo voltado para restauração e conservação, buscando conter o avanço da fragilidade com o intuito de minimizar os impactos antrópicos do uso e ocupação desses ambientes. As áreas tidas como as mais frágeis ambientalmente estão localizadas nos espaços urbanos e em locais destinados à agricultura.

No estudo da verificação da mata ciliar, observou-se que 37,32% da Área de Preservação Ambiental (APP) deve ser restaurada, sendo que na região Norte, a região a ser restaurada é predominantemente ocupada por área urbana. No Leste e Sul da microbacia, a área que precisa ser restaurada é predominantemente ocupada pela agropecuária.

A velocidade dos ventos para 10 metros de altura, e corrigida para a atura de 30 metros, tem uma média de 4,12 m/s e para 30 metros velocidade média de 5,08 m/s.

O aerogerador WES 50 com potência nominal de 50 kW, para a região de Cascavel, gera em torno de 9.762,39 kWh/mês. A escolha da região fragilizada ambientalmente para a instalação do aerogerador é justificada em razão da proximidade com a região de mineração (pedreira).

A viabilidade econômica para o proprietário rural conseguir abater os custos com a instalação do aerogerado, no tocante aos valores gastos em energia elétrica, mostrou-se inviável com Payback descontado de 51 anos e 8 meses. O segundo cenário analisado com a possibilidade de venda de energia gerada pelo aerogerador para o mercado aberto, Mercado Spot (Mercado financeiro de curto prazo), também se mostrou inviável.

Para que o projeto se torne viável, seria necessária a implantação de políticas públicas com subsidio de 81,71% do valor total do projeto no primeiro

cenário e 96% no segundo cenário, para que o produtor rural conseguisse pagar em 7 anos.

5.1 Limitações da Pesquisa

Não foi considerada a utilização de aerogeradores com eixo vertical em razão de sua indisponibilidade no mercado nacional, pela baixa potência nominal e por alguns modelos necessitarem do aerogerador vertical para dar o start de partida na produção de energia. Os valores utilizados no cálculo de custos de viabilidade econômica, em ambos os cenários, não levaram em conta a possibilidade de financiamento subsidiado.

5.2 Trabalhos Futuros

Para estudar um pouco mais a fundo as energias renováveis, sugere-se analisar a viabilidade econômica utilizando sistema híbrido de energia eólica e painéis fotovoltaicos em áreas fragilizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual: Dados 2020.** (Vol. 20). São Paulo: Agência 424. 2021.

ABRÃO, Cleiton Messias Rodrigues; BACANI, Vitor Matheus. Diagnóstico da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ao ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 38, n. 03, p. 619-645, 2018.

AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento**: solos tropicais. Solos Tropicais. 2019. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ALVARES, Clayton Alcarde *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

AMARANTE, Odilon A. Camargo do, *et al.* **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** Brasília. 2001.

AMÉRICO-PINHEIRO Juliana Heloisa Pinê. **Gestão e qualidade dos recursos hídricos: conceitos e experiências em bacias hidrográficas**. Tupã: Anap, 2016. 95 p.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Programa Produtor de Água, Projeto Piriripau: Relatório de diagnóstico socioambiental da bacia do Ribeirão Pipiripau**. 2010. Disponível em: <https://emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/diagnostico-prod-agua-piripau.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ANAYA-LARA, Olimpo *et al*. **Wind Energy Generation: Modelling and Control**. John Wiley & Sons Ltd, 2009. 288 p.

ANEEL. **Geração Distribuída.** 2021. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757&idPerfil=2>. Acesso em: 25 Jul. 2021.

ANJINHO, Phelipe da Silva *et al.* Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: a brazilian basin case study. **Land Use Policy**, [S.L.], v. 100, p. 1-11, jan. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946.

ARAÚJO, Gracielle Antunes *et al.* Aplicação do modelo Weibull na modelação matemática para análise da viabilidade de geração de energia eólica. **Revista Engenharia de Interesse Social**, [S.L.], v. 5, n. 5 p. 37-58, 2020.

ASCIUTTI, Gustavo Augusto Mendonça; STANGANINI, Fábio Noel; MELANDA, Edson Augusto. ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO

REMOTO., 19., 2019, Santos. **Identificação dos diferentes usos e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio do Quilombo, São Carlos/Sp utilizando imagem do satélite Sentinel 2 e o complemento SCP do QGIS.** Santos: Inpe, 2019. 4 p

BACANI Vitor Matheus, *et al.* Sensoriamento Remoto e Sig Aplicados à Avaliação da Fragilidade Ambiental de Bacia Hidrográfica. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, [S.L], v. 14, n.2, p. 119–135. 2015.

BARBOSA, Gabriela Diedrichs Diedrichs. **Parcerias Estratégicas Entre Propriedades Rurais Para a Geração de Bioenergia.** 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

BASSO, Thalyta Mayara. **Análise técnico-econômica de um sistema de geração eólica para uma unidade armazenadora e secadora de grãos.** 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE - Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, 2017.

BELATO, Leoni de Souza; SERRÃO, Sérgio Luis Cardoso; DIAS, Rafael Pompeu. Diagnostico da fragilidade ambiental na Bacia do Submédio Tocantins: UHE Tucuruí. **Natural Resources**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 28-37, 20 jun. 2019. Companhia Brasileira de Produção Científica. http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2237-9290.2019.001.0004.

BEZERRA Francisco Diniz; SANTOS, Lucas Souza dos. Potencialidades da Energia Eólica no Nordeste. **Caderno Setorial ETENE**. v. 2, n. 5, p. 2-20, 2017.

BIASI, Mário de. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, nov. 2011.

BIEGER, Karina Lenz. **Viabilidade Econômica de Microgeradores Eólicos para a Reitoria da Universidade Federal de Santa Maria.** 2018. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BISOGNIN, Ramiro Pereira et al. Análise da fragilidade ambiental da área da bacia hidrográfica a montante do reservatório de Ernestina/RS**. Geografia Ensino & Pesquisa**, [S.L.], v. 22, n. 14, p. 1-12, 14 ago. 2018. Universidade Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/2236499429102.

BORGES, Marcio dos Santos; BORGES, KCA de S; SOUZA, Suelen Cristina Almeida de. Considerações sobre as linhas de Crédito de Carbono no Brasil. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 137-155, 2016.

BRAGA, Celso de Carvalho *et al*. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Reservatório da UHE Caçu - Goiás. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 39,

p. 81-98, 29 nov. 2017. Universidade Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/2179460x26978.

BRASIL. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 14 de agosto de 2001; e das outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 20 nov. 2020.

BREEZE, P. **Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series.** IRENA, v. 1, n. 5, p. 223-242, 2012.

BNDS. Banco Nacional do Desenvolvimento. **BNDES Finem - Geração de energia.** Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-energia>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BUENO, Karoline; CUNHA, José Edézio da; BORTOLUZZI, Leandro Neri. O Entendimento Da Fragilidade Ambiental Do Município De Guaíra - Paraná. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 19, n. 68, p. 81-100, 19 dez. 2018. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. http://dx.doi.org/10.14393/rcg196806.

BURTON, Tony, *et al*. **Wind Energy Handbook**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. **Geocarto International**, [S.L.], v. 1, n. 3, 185p, jan. 1986. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/10106048609354060.

CABRAL, João Batista Pereira et al. Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (GO), Utilizando Técnicas de Geoprocessamento, **GeoFocus (Artículos)**, [S.L.], n. 11, p. 51-69, 2011.

CAMPOS, José Roberto. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAT, 435 p. 1999

CAMPOS, Karine Baldo de Gênova; RAMIRES, Ivan; PAULA, Suéllen Machado de. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos de quatro córregos na região de Caarapó-MS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 5, n. 2, p. 77-92, 2011.

CAMPOS, Rodrigo José de; BRANCO, Priscila. Ocupação Desordenada Dos Espaços Urbanos e Suas Consequências Socioambientais. **Revista Thêma et Scientia**, v. 11, n. 2E, p. 216-227, 2021.

CARVALHO, Luis Henrique Weiss de *et al*. Urban Settlement Spatial Analysis in Permanent Preservation Area of M'boicy Watershed River, Foz do Iguaçu City in Brazil. **International Journal Of Geosciences**, [S.L.], v. 07, n. 10, p. 1222-1231, 2016. Scientific Research Publishing, Inc. http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2016.710091.

CASSETI, Valter. **Elementos de Geomorfologia.** Goiânia: Editora da UFU. 1994. 137p.

CASTRO, Rui M.G**. Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à energia eólica.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. 4. ed., 2009. 93 p.

CAVIGLIONE, João Henrique *et al*. Cartas Climáticas do Estado do Paraná. In: **Congresso e Mostra de Agroinfomática - INFOAGRO 2000**. Ponta Grossa: Fundação ABC, 2000. p. 1-6.

COLAVITE, Ana Paula; PASSOS, Messias Modesto dos. Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem. **Revista Geonorte**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 1547-1559, 2012.

CORREA, Márcio Greyck Guimarães; GALVANI, Emerson. Análise estatística da variabilidade da precipitação pluviométrica para a bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR. **Boletim Paulista de Geografia**, [S.L.], v. 96, p. 1-10, 2017.

CORPENICUS. **Sentinel-2.** Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Acesso em: 15 out. 2020.

CORTE, Ana Paula dalla et al. Environmental fragility of Iguaçu river watershed, Paraná, Brazil. **Bosque (Valdivia)**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 287-297, 2015. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002015000200014.

COLOR BREWER 2.0. **Conselho de cores para cartografia.** Disponível em: <https://colorbrewer2.org/#type=diverging&scheme=RdBu&n=6>. Acesso em: 20 jan. 2022.

COONTROL. **Tecnologia em combustão.** Disponível em: < https://blog.coontrol.com.br/o-que-sao-creditos-de-carbono/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

COPEL (Paraná). Companhia Paranaense de Energia (Ed.). **Eólica.** Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e/301dc3a7702b129303257405005c2fdb>. Acesso em: 15 set. 2021.

CRESESB. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Eólica Princípios e Tecnologia.** Ministério de Minas e Energia. 58 p. 2008.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia.** São Paulo, Ed. Blücher. 2. ed., 1979.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

DANTAS, Elson Martins. **Um Estudo do Fator de Capacidade em Usinas Eólicas.** 2013. 78 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

EMBRAPA. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Brasília, 2012. 334 p.

EMBRAPA-CNPS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa -SPI,1979. 412 p.

EMBRAPA-CNPS. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa -SPI, 355 p. 2018.

ENERGÊS. **Tudo o Que Você Precisa Saber Sobre as Pás dos Aerogeradores.** 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-as-pas-dos-aerogeradores/>. Acesso em: 19 set. 2021.

EPALANGA, Oteniel Â. Siliveli. **Eneregia Eólica -Viabilidade Técnica de Projeto Eólico na Região de Urubici.** 2013. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021: Ano base 2020**, 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional: Ano Base 2017**. 2021. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

FÁVERO, Vinícius Oliveira *et al*. Estudo de aplicação de uma microcentral hidrelétrica para reaproveitamento de energia em estação de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v. 4, n. 1, p. 1-14, jun. 2019.

FERREIRA JUNIOR, Julio Cesar Gomes; RODRIGUES, Manoel Gonçalves. Um Estudo Sobre a Energia Eólica no Brasil. **Ciência Atual**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2015.

FIGUEIREDO, Ana Clara Valente Salgueiro. **Avaliação de Viabilidade de Aplicação de Aerogerador de Pequeno Porte em uma Pousada em Arraial do Cabo.** 2019. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FONSECA, Yonara Daltro da; BRUNI, Adriano Leal. **Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura.** 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/25449/1/T%c3%a9cnicas%20de%20avalia

%c3%a7%c3%a3o%20de%20investimentos%20uma%20breve%20revis%c3%a3o%20da%20literatura.pdf>. Acesso em: 19 set. 2021.

FRANCO, Gustavo Barreto *et al*. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.L.], v. 42, n. 01, p. 114-127, dez. 2012.

FREITAS, Eduardo P. *et al*. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 04, p. 443-449, 2013.

GARCIA, Y. M. *et al*. Declividade e Potencial Para Mecanização Agrícola da Bacia Hidrográfica do Ribeira Pederneiras – Pederneiras/SP. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 62-72, 31 mar. 2020. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2020v14n1p62-72.

GNOATTO, Henrique. **Análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de aerogerador para propriedades rurais de Cascavel, Londrina e Palmas-PR**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE - Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, 2017.

GUIA DO BENEFÍCIO. **Programa Casa Verde e Amarela.** 2022. Disponível em: < https://guiadobeneficio.info/2022/02/03/casa-verde-e-amarela/?gclid=CjwKCAjwk_WVBhBZEiwAUHQCmTFsGF4AkLqchBGMQo5o2OUN35ghdevyOnfx0deMgWkObSns-jbmQxoCkOkQAvD_BwE>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GUICHO, Ricardo. **Mapeamento do Potencial Eólico de Micro e Minigeração do Município de Cascavel - PR**. 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE - Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, 2019.

GONÇALVES, Geula Graciela Gomes et al. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 797-808, 19 dez. 2011. Universidade Federal do Paraná. http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i4.25344.

GOUVEIA, Rogerio Gonçalves Lacerda de et al. Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Queima-Pé, Tangará da Serra, MT. **Pesquisas em Geociências**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 131-140, 27 fev. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.78115.

HADLICH, G. M. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2006, Salvador. **Análise de relações entre declividade e uso do solo com auxílio do geoprocessamento, município de Sombrio, SC.** Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Depto. Geoquímica: Salvador. 2006. 6 p.

ICHIBA, Sueli Hiromi Kayy *et al*. Variabilidade da Temperatura Máxima, Média e Mínima para o Estado do Paraná. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2005, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: USP, 2005. p. 3195-3206.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

INC. Instituto Brasileiro de Coaching. **Aprenda como elaborar um estudo de viabilidade econômica de projetos.** Disponível em: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/aprenda-como-elaborar-um-estudo-de-viabilidadeeconomica-de-projetos/>. Acesso em: 25 set. 2021.

KAWANO, Tsugie *et al*. Análise dos condicionantes do meio físico no uso e ocupação da terra no alto curso da bacia do rio Pirapó–PR. **Revista Geografar,** [S.L], v. 16, n.1, p. 249-271, 2021.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, [S.L.], v. 4, n. 12, p. 90-106, dez. 2012.

LIMA, Carolina Carneiro; OLIVEIRA, Márcio Luís de. Energia Eólica: por uma revisão das bases energéticas e incentivo a economia de baixo carbono. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 619-645, 17 dez. 2015. Universidade Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/1981369419748.

LIMA, Walter de Paula. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242p.

LUNARDI NETO, Antônio *et al.* **Estudos socioambientais sobre o Planalto Catarinense.** Florianópolis: Editora Insular, 2020, 129p.

MACHADO, Tereza Cristina Efigenia *et al*. . Avaliação do uso e ocupação das áreas de preservação permanente nos anos de 2008 e 2013 na zona urbana de Humaitá, Amazonas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 5, n. 2, p. 744-750, dez. 2017.

MACZULAK, Anne Elizabeth. **Renewable Energy: Sources and Methods**. New York: Infobase Publishing, 2010. 206 p.

MANWELL, James.; MCGOWAN, Jon; ROGERS, Anthony. **Wind energy explained: theory, design and application.** [S.l.]: Wiley, 2009. 577 p.

MARTÍNEZ, Antonio Crespo. Principios de conversión de la energia eólica. In: AMENEDO, José Luis Rodríguez; DÍAZ, Juan Carlos Burgos; GÓMEZ, Santiago Arnalte. **Sistemas Eolicos de Produccion de Energia Electrica**. Madrid: Rueda, 2003. Cap. 2. p. 27-96.

MASSA, Eric Macedo; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Aplicação de um Modelo de Fragilidade Ambiental Relevo-solo na Serra da Cantareira, Bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Geography Department, University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 24, p. 57-79, 2012. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2012.0024.0004.

MATEUS, Ana Geddara de Cerqueira; TAPIA, Gabriel Ivan Medina. Análise de Sistema Híbrido Solar-eólico de Geração de Energia On Grid em Assentamento Rural. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar.** Fortaleza. p. 1-10, 2020.

MENDONÇA, Isabela Miranda de *et al*. Perspectivas de geração de energia eólica no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 18598-18611, out. 2019. http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n10-110.

MESQUITA, Luís Fabio Gonçalves; LINDOSO, Diego; RODRIGUES FILHO, Saulo. Crise hídrica do Distrito Federal: O caso da bacia do Rio Preto. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 23, n. 14, p. 307-326. 2018. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.56642.

MIRANDA, Evaristo *et al.* Contribuições do geoprocessamento à compreensão do mundo rural e do desmatamento no bioma Amazônia. **Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional – Faccat**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 16-34, 2020. https://doi.org/10.26767/1576.

MONN, Sandra *et al.* Permanência e transição no planejamento e a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo. **EURE,** [S.L.], v. 47, n. 140, p. 199-219, 2021. http://dx.doi.org/10.7764/eure.47.140.10.

MOREIRA, Taís Rizzo *et al*. Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APPs no Município de Muqui, ES. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 141-152, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.019012.

MOREIRA, Rita Isabel Pimentel. **Avaliação do potencial eólico em regime de microgeração.** 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

MOTA, Suetônio. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES. 1995. 200p.

MUNEMORI JUNIOR, Miguel. **Estimativa do potencial de energia eólica para a região de Cascavel.** 2004. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel, 2004.

MUÑOZ, Viviana Aguilar. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo.** Dissertação (Mestrado). São José dos Campos. INPE. 2009.

NASCIMENTO, Leonardo Leite; QUADROS, Jefferson Rodrigues de. Do Tempo do Direito ao Tempo dos Rios Voadores: as águas da Amazônia à margem da lei. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 124-145, jul. 2018.

NASCIMENTO, Thays Valente do; FERNANDES, Lindemberg Lima. Mapeamento do uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 169-177, 29 dez. 2016. Universidade Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/2179460x21737.

NÖRNBERG, Solange Otte; REHBEIN, Moisés Ortemar. Avaliação da fragilidade ambiental no município de Pelotas/RS. **Geosul**, [S.L.], v. 35, n. 76, p. 210-231, 27 out. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p210.

OLIVEIRA, Aretha Manoella Queiroz; PINHEIRO, José Guilherme Leitão. Energia Renovável com Utilização da Energia Eólica: Tecnologia Ambiental e Avaliação do Crescimento no Âmbito Global com Interface da Produção Brasileira de Energia. **Episteme Transversalis**, Volta Redonda-RJ, v. 11, n. 1, p. 242-267, 2020.

OLIVEIRA, Leandro Antonio; SANTOS, Juliete dos; SILVA, Maria Ediney Ferreira da. Uso e Ocupação do Solo em Áreas de Proteção Permanente de Reservatórios Artificiais. **Diversitas Journal**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 363-376, 15 dez. 2017. Galoa Events Proceedings. http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v2i3.527.

OLIVEIRA, Alisson Souza de *et al*. Stream flow regime of springs in the Mantiqueira Mountain Range region, Minas Gerais State. **Cerne**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 343-349, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). ttp://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031268.

PARMAIS. **Como fazer análise de viabilidade econômica e financeira**? Disponível em: <https://www.parmais.com.br/blog/como-fazer-analise-de-viabilidade-economica-e-financeira/>. Acesso em: 19 set. 2021.

PENKAITIS, Gabriela; IMBERNOS, Rosely Aparecida Liguori; VASCONCELOS, Clara. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). **Terrae Didática,** Campinas, v. 16, e020025, p. 1-13. 2020. http://dx.doi.org/10.20396/td.v16i0.8659281.

PEREIRA, Adalberto Alves; THOMAZ, Edivaldo Lopes. ANAIS XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. **Hipsometria e Declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio Palmeirinha, município de Reserva – PR, utilizando o Software Spring.** Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. 8 p.

PEREIRA, Karla Conceição *et al.* Physical Dynamics and the Influences of the Environment Built on Subbasins. **Journal Of Civil Engineering And Architecture,** [S.L], v.12, n.1, p. 65-74. 2018. http://dx.doi.org/10.17265/1934-7359/2018.01.007.

PEREIRA, Marcos Gervasio *et al*. **Formação, classificação e cartografia dos solos.** Ponta Grossa: Atena Editora, cap. 1, p. 1-20, 2019.

PERIÇATO, André Jesus; SOUZA, Marta Luzia de. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 29, n. 59, p. 1064-1082, 16 out. 2019. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2019v29n59p1064.

PINTO, Rodrigo Jambeiro; SANTOS, Viviane Marques Leite de. Energia Eólica no Brasil: Evolução, Desafios e Perspectivas. **RISUS – Journal on Innovation and Sustainability**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 124-142, 2019. http://dx.doi.org/10.24212/2179-3565.2019v10i1p124-142

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; **Panorama ODS: Oeste do Paraná em números.** Brasília, 92p. 2018.

PRADO, Pedro Osvaldo. **Projeto de um parque eólico com utilização de sistema de informação geográfica**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

PRATES, Wlademir Ribeiro. **O que é TIR (Taxa Interna de Retorno)?** 2019. Disponível em: <https://cienciaenegocios.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>. Acesso em: 19 set. 2021.

PRATES, Wlademir Ribeiro. **O que é VPL (Valor Presente Líquido**)? 2016. Disponível em: <https://cienciaenegocios.com/o-que-e-vpl-valor-presente-liquido/>. Acesso: 19 set. 2021.

QUINTO, Vagner Mauri. **Pagamento por Serviços Ambientais e Índice de Recuperação de Áreas na Bacia Hidrográfica Sob a Influência da Pequena Central Hidrelétrica de São Simão, Alegre, ES.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

RAMOS, Diogo Nunes da Silva; LYRA, Roberto Fernando Da Fonseca; SILVA JUNIOR, Rosiberto Salustiano da. Previsão do vento utilizando o modelo atmosférico WRF para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 163-172, 2013.

ROCHA, Cézar Henrique Barra. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora. Edição do autor. 2000. 165 p.

ROCHA, Anderson Sandro da et al. Mapeamento da Capacidade de Uso da Terras na Bacia Hidrográfica do Paraná 3: contribuições para o planejamento rural e ambiental. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 19, n. 68, p. 266-285, 19 dez. 2018. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. http://dx.doi.org/10.14393/rcg196818.

ROSA, Marcos R. *et al*. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science Advances**, [S.L.], v. 7, n. 4547, p. 1-8, jan. 2021.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Empirica da Fragilidade em Ambientes Naturais e Atropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.L.], v. 8, p. 63-74, 1994.

SANTOS, Francílio de Amorim. Fragilidade Ambiental no Município de Castelo do Piauí, Nordeste do Estado do Piauí. **Revista Formação (On-line)**, [S.L.], v. 25, n. 45, p. 51-66, 2018.

SANTOS, Jader de Oliveira. Existing Relations Between Environmental Fragility and Social Vulnerability in Susceptibility to Risk. **Mercator**, [S.L.], v. 14, n. 02, p. 75-90, 20 jul. 2015. Mercator - Revista de Geografia da UFC. http://dx.doi.org/10.4215/rm2015.1402.0005

SATO, Mireille. **Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região.** 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

SCHIAVO, Bruna Nascimento de Vasconcellos et al. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria - RS. Revista **Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 464-474, 2016.

SCHNEIDER, Craian Redian Steurer. **Estudo de viabilidade de uma microcentral hidrelétrica como fonte alternativa de energia.** 2013. 94 f. Monografia (Especialização em Engenharia Elétrica), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

SCHUMANN, Jó Henrique Palma. **Procedimento para avaliação do potencial eólico: Estudo de caso: Região do entorno do reservatório da Usina Hidroelétrica de Estreito.** 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá –MG, 2014.

SEMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Bacias Hidrográficas do Paraná – Série histórica.** Curitiba, 2010. Disponível em: http://pdslitoral.com/wpcontent/uploads/2018/01/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf. Acesso em: 01 jun. 2020.

SHAYANI, Rafael Amaral, OLIVEIRA Aurélio Golçalves de. CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. **V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE:** Brasília. p. 1-16, 2006. Disponível em: <http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2020.

SILVA, Eric Valero Carvalho da. **Avaliação econômica entre sistemas de geração de energia fotovoltaico ongrid e off-grid em um aviário de uma propriedade rural.** 2021. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na

Agricultura, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE - Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, 2021.

SILVA, Marina Raisa Vilela da *et al.* Energia Eólica, Solar e de Biomassa: Uso, Perspectiva e Desafios. **Biodiversidade**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 137-146, 2020.

SILVA, Mateus dos Santos *et al.* Análise da energia eólica no Brasil usando Séries Temporais. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 11, n. 1, e26611124827, 2022. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24827.

SILVA, Mateus Souza**. Estudo de viabilidade econômica de aerogeradores de pequeno porte em Jataí.** 2021. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2021.

SILVA, Patrícia de Castro; GUEDES, Vanessa Gonçalves; ARAÚJO, Maria Regina Pereira de. Otimização dos parâmetros da distribuição de Weibull**. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, Águas de Lindóia, v. 1, n. 1, p.1-10, nov.1999.

SILVA, Pedro Luan Ferreira da *et al*. Degradação, uso e ocupação do solo em áreas de nascentes na microbacia hidrográfica do rio Guarabira. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 5, n. 4, p. 42-53, 2016.

SILVEIRA, Caroline Soares da; OLIVEIRA, Letícia de. Análise do mercado de carbono no Brasil: histórico e desenvolvimento. **Novos Cadernos NAEA,** [S.L.], v. 24, n. 3, p. 11-31, 2021.

SILVEIRA, Thiara *et al.* Qualidade da Água e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Superficiais na Definição das Fragilidades Potencial e Ambiental de Bacias Hidrográficas**. Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 642-652, set. 2014

SIVIERO, Amanda Cristina; RHODEN, Clayton*.* Desenvolvimento Regional e Caracterização da Bacia Hidrográfica do Meio Oeste Catarinense. **Anais de Agronomia – UCEFF**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 47-72, 2020.

SOARES, Fernanda Bomfim; PIROLI, Edson Luís. XVIII SBGFA - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 18., 2019, Fortaleza. **Análise da Hipsometria e da Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (São Paulo, Brasil) Como Subsídio Para o Planejamento Ambiental da Área.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2019. 13p.

SOUZA, André Luis Rocha de; ALVAREZ, Guineverre; ANDRADE, José Célio Silveira. Mercado Regulado de Carbono no Brasil: um ensaio sobre Divergências Contábil e Tributária dos créditos de carbono. **o&s – Salvador**, Salvador, v. 20, n. 67, p. 675-697, 2013.

SOUZA, Camila Furlan de *et al.* Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí- Paraná. **Geoambiente on-line**, [S.L.], n. 29, p. 93-110, 2017.

SOUZA, Denise Silva Leão de *et al.* Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2269, 9 out. 2020. Revista Brasileira de Geografia Física. http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292.

SOUZA, Michel Madureira; COSTA, Luiz Hermes da; CARVALHO, Daniela Antônia Soares de. Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de influência direta da UHE de Belo Monte, no Estado do Pará. **Espaço Plural**: Ano XII, [S.L.], n. 25, p. 73-85, 2011.

SOUZA, S.O., OLIVEIRA, R.C. Uso de imagens alos/palsar para mapeamento da declividade do litoral norte paulista. Universidade do vale do São Francisco. **XII SINAGEO paisagem e geodiversidade.** 2019.

STORTO, Camila; COCATO, Guilherme Pereira. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá - PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 11, n. 05, p. 1694-1708, nov. 2018.

STROSKI, Pedro Ney. **Turbinas Darrieus.** 2019. Disponível em: <https://www.electricalelibrary.com/2019/03/12/turbinas-darrieus/>. Acesso em: 19 set. 2021.

SUTIL, Suelen Crispim; GONÇALVES, José Augusto Costa; VIEIRA, Eliane Maria. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 06, p. 3060-3077, 2020.

TEIXEIRA, Vinicius de Lira *et al*. Modelo Analítico Para o Fator de Capacidade De Parques Eólicos A Partir Das Características Do Vento Local. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-7, 2020.

TERUYA JUNIOR, Hugo *et al*. Mapeamento das APP's de hidrografia e declividade como subsídio a gestão da bacia hidrografia do Rio Formoso (Mato Grosso do Sul). **Revista Ung – Geociências**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 128-140, 2016.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação.** São Paulo: Ed. UFRGS, p. 35-51, 2001.

UAT GROUP. **Os benefícios da turbina eólica Helix.** 2021. Disponível em: < http://i2.blackthunder.vegas/the-benefits-of-the-helix-wind-turbine/>. Acesso em: 19 set. 2021.

VALLE, Ivana Cola; FRANCELINO, Márcio Rocha; PINHEIRO, Helena Saraiva Koenow. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 295-308, 1 abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714.

VARGAS, Eduardo Hermes de. **Comparação da Variação Espacial de Qualidade da Água com o Uso do Solo da Microbacia do Rio M'Boicy em Foz do Iguaçu/PR.** 2018. 39 f. Monografia (Especialização) – Pós-graduação em Gestão Ambiental em Municípios, Campus Medianeira., Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Maringá, 2018.

VASCONCELOS, Vinicius *et al*. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no parque nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 171-186, 20 out. 2012. Revista Brasileira de Geomorfologia. http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i2.248.

WRUBLACK, Suzana Costa. **Caracterização do Uso e Ocupação do Solo e Qualidade da Água com Utilização da Técnicas de Geoprocessamento.** 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

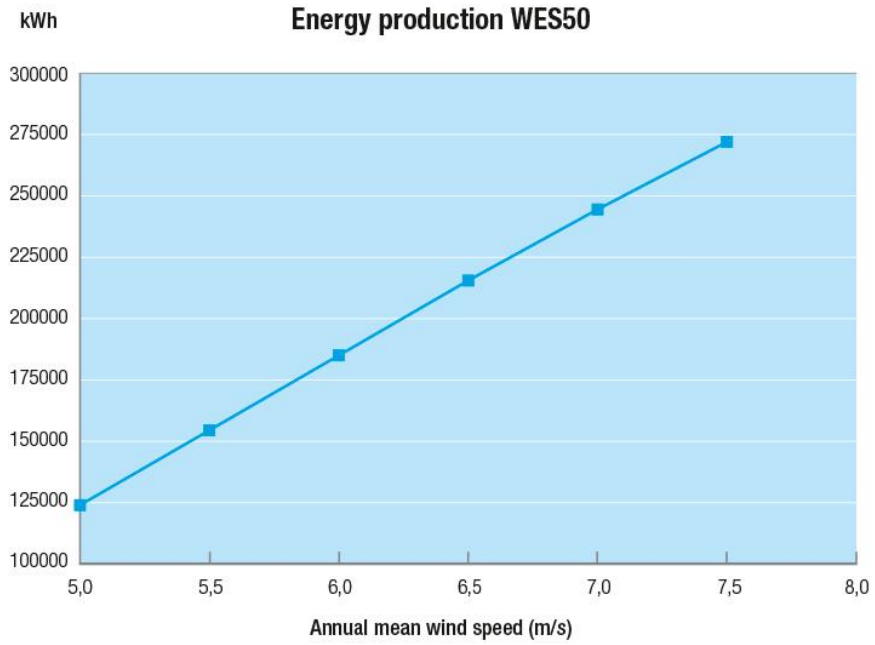
WIND ENERGY SOLUTIONS. **Wes 50.** 2022. Disponível em: <https://windenergysolutions.nl/wes/windturbine-wes-50/>. Acesso em: 23 jun. 2022.

WU, Bin *et al*. **Power Conversion and Control of Wind Energy Systems**. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 480 p.

ANEXO A

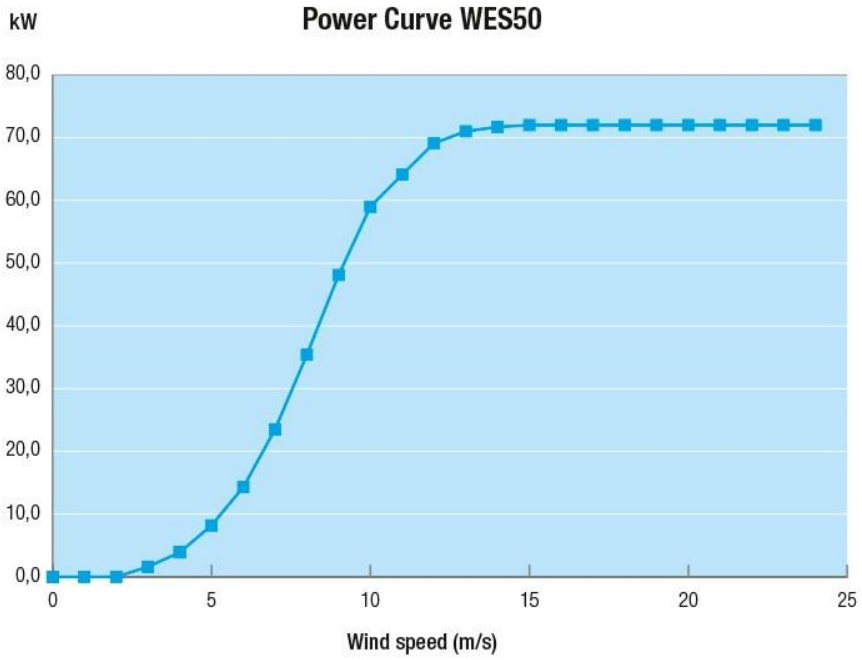
Curva de produção energética da turbina WES 50

Annual mean wind speed(m/s)	Energy annual kWh
5,0	124000
5,5	154500
6,0	185000
6,5	215500
7,0	244500
7,5	272000



Curva de potência da turbina WES 50

Wind speed (m/s)	Power kW
0	0,0
1	0,0
2	0,0
3	1,6
4	3,9
5	8,2
6	14,3
7	23,5
8	35,4
9	48,1
10	59,0
11	64,1
12	69,1
13	71,0
14	71,7
15	72,0
16	72,0
17	72,0
18	72,0
19	72,0
20	72,0
21	72,0
22	72,0
23	72,0
24	72,0



APÊNDICE A

Tabela para realização da curva de frequência e distribuição de Weibull

Vel. do Vento (m/s)	Função de Weibull f(v)	Horas (h) por dia (= 24 h x col B)	Pot. do Aerogerador (kW) (pot. nominal de 50 kW)	Energia gerada (kWh) (col C x col D)
0	0,00000	0,00000	0	0,00000
1	0,03644	0,87465	0	0,00000
2	0,08925	2,14198	0	0,00000
3	0,13719	3,29257	1,6	5,26810
4	0,16561	3,97461	3,9	15,50097
5	0,16746	4,01903	8,2	32,95603
6	0,14542	3,49019	14,3	49,90971
7	0,10961	2,63059	23,5	61,81892
8	0,07200	1,72798	35,4	61,17043
9	0,04126	0,99020	48,1	47,62883
10	0,02061	0,49464	59	29,18387
11	0,00896	0,21503	64,1	13,78326
12	0,00338	0,08116	69,1	5,60823
13	0,00111	0,02653	71	1,88356
14	0,00031	0,00749	71,7	0,53694
15	0,00008	0,00182	72	0,13106
16	0,00002	0,00038	72	0,02735
17	0,00000	0,00007	72	0,00489
18	0,00000	0,00001	72	0,00075
19	0,00000	0,00000	72	0,00010
20	0,00000	0,00000	72	0,00001
21	0,00000	0,00000	72	0,00000
22	0,00000	0,00000	72	0,00000
23	0,00000	0,00000	72	0,00000
24	0,00000	0,00000	72	0,00000
25	0,00000	0,00000	72	0,00000

APÊNDICE B

PLANILHA DE CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O PRIMEIRO CENÁRIO

Período (anos)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	Saldo
0	-R$ 1.685.218,75	-R$ 1.685.218,75	-R$ 1.685.218,75
1	R$ 46.617,44	R$ 45.951,15	-R$ 1.639.267,60
2	R$ 46.617,44	R$ 45.294,38	-R$ 1.593.973,22
3	R$ 46.617,44	R$ 44.647,00	-R$ 1.549.326,22
4	R$ 46.617,44	R$ 44.008,87	-R$ 1.505.317,35
5	R$ 46.617,44	R$ 43.379,86	-R$ 1.461.937,49
6	R$ 46.617,44	R$ 42.759,84	-R$ 1.419.177,65
7	R$ 46.617,44	R$ 42.148,69	-R$ 1.377.028,96
8	R$ 46.617,44	R$ 41.546,27	-R$ 1.335.482,69
9	R$ 46.617,44	R$ 40.952,46	-R$ 1.294.530,24
10	R$ 46.617,44	R$ 40.367,13	-R$ 1.254.163,10
11	R$ 46.617,44	R$ 39.790,18	-R$ 1.214.372,93
12	R$ 46.617,44	R$ 39.221,46	-R$ 1.175.151,46
13	R$ 46.617,44	R$ 38.660,88	-R$ 1.136.490,58
14	R$ 46.617,44	R$ 38.108,31	-R$ 1.098.382,27
15	R$ 46.617,44	R$ 37.563,64	-R$ 1.060.818,63
16	R$ 46.617,44	R$ 37.026,75	-R$ 1.023.791,88
17	R$ 46.617,44	R$ 36.497,54	-R$ 987.294,35
18	R$ 46.617,44	R$ 35.975,89	-R$ 951.318,46
19	R$ 46.617,44	R$ 35.461,69	-R$ 915.856,77
20	R$ 46.617,44	R$ 34.954,85	-R$ 880.901,92
21	R$ 46.617,44	R$ 34.455,24	-R$ 846.446,68
22	R$ 46.617,44	R$ 33.962,78	-R$ 812.483,89
23	R$ 46.617,44	R$ 33.477,36	-R$ 779.006,53
24	R$ 46.617,44	R$ 32.998,88	-R$ 746.007,65
25	R$ 46.617,44	R$ 32.527,23	-R$ 713.480,42
26	R$ 46.617,44	R$ 32.062,33	-R$ 681.418,09
27	R$ 46.617,44	R$ 31.604,07	-R$ 649.814,02
28	R$ 46.617,44	R$ 31.152,36	-R$ 618.661,65
29	R$ 46.617,44	R$ 30.707,11	-R$ 587.954,54
30	R$ 46.617,44	R$ 30.268,22	-R$ 557.686,32
31	R$ 46.617,44	R$ 29.835,60	-R$ 527.850,72
32	R$ 46.617,44	R$ 29.409,17	-R$ 498.441,55
33	R$ 46.617,44	R$ 28.988,83	-R$ 469.452,72
34	R$ 46.617,44	R$ 28.574,50	-R$ 440.878,22
35	R$ 46.617,44	R$ 28.166,09	-R$ 412.712,12
36	R$ 46.617,44	R$ 27.763,52	-R$ 384.948,60
37	R$ 46.617,44	R$ 27.366,71	-R$ 357.581,89

38	R$ 46.617,44	R$ 26.975,56	-R$ 330.606,33
39	R$ 46.617,44	R$ 26.590,00	-R$ 304.016,33
40	R$ 46.617,44	R$ 26.209,96	-R$ 277.806,37
41	R$ 46.617,44	R$ 25.835,35	-R$ 251.971,02
42	R$ 46.617,44	R$ 25.466,09	-R$ 226.504,93
43	R$ 46.617,44	R$ 25.102,11	-R$ 201.402,82
44	R$ 46.617,44	R$ 24.743,33	-R$ 176.659,49
45	R$ 46.617,44	R$ 24.389,68	-R$ 152.269,81
46	R$ 46.617,44	R$ 24.041,08	-R$ 128.228,73
47	R$ 46.617,44	R$ 23.697,47	-R$ 104.531,25
48	R$ 46.617,44	R$ 23.358,77	-R$ 81.172,49
49	R$ 46.617,44	R$ 23.024,91	-R$ 58.147,58
50	R$ 46.617,44	R$ 22.695,82	-R$ 35.451,76
51	R$ 46.617,44	R$ 22.371,43	-R$ 13.080,33
52	R$ 46.617,44	R$ 22.051,68	R$ 8.971,36
53	R$ 46.617,44	R$ 21.736,50	R$ 30.707,86
54	R$ 46.617,44	R$ 21.425,83	R$ 52.133,69
55	R$ 46.617,44	R$ 21.119,60	R$ 73.253,29

APÊNDICE C

PLANILHA DE CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O SEGUNDO CENÁRIO

Período (anos)	Fluxo de caixa	Valor presente	Saldo
0	-R$ 1.685.218,75	-R$ 1.685.218,75	-R$ 1.685.218,75
1	R$ 10.095,88	R$ 9.951,58	-R$ 1.675.267,17
2	R$ 10.095,88	R$ 9.809,35	-R$ 1.665.457,82
3	R$ 10.095,88	R$ 9.669,14	-R$ 1.655.788,68
4	R$ 10.095,88	R$ 9.530,95	-R$ 1.646.257,73
5	R$ 10.095,88	R$ 9.394,72	-R$ 1.636.863,01
6	R$ 10.095,88	R$ 9.260,45	-R$ 1.627.602,57
7	R$ 10.095,88	R$ 9.128,09	-R$ 1.618.474,48
8	R$ 10.095,88	R$ 8.997,62	-R$ 1.609.476,85
9	R$ 10.095,88	R$ 8.869,02	-R$ 1.600.607,83
10	R$ 10.095,88	R$ 8.742,26	-R$ 1.591.865,57
11	R$ 10.095,88	R$ 8.617,31	-R$ 1.583.248,27
12	R$ 10.095,88	R$ 8.494,14	-R$ 1.574.754,12
13	R$ 10.095,88	R$ 8.372,74	-R$ 1.566.381,38
14	R$ 10.095,88	R$ 8.253,07	-R$ 1.558.128,32
15	R$ 10.095,88	R$ 8.135,11	-R$ 1.549.993,21
16	R$ 10.095,88	R$ 8.018,84	-R$ 1.541.974,37
17	R$ 10.095,88	R$ 7.904,23	-R$ 1.534.070,14
18	R$ 10.095,88	R$ 7.791,25	-R$ 1.526.278,89
19	R$ 10.095,88	R$ 7.679,89	-R$ 1.518.599,00
20	R$ 10.095,88	R$ 7.570,13	-R$ 1.511.028,87
21	R$ 10.095,88	R$ 7.461,93	-R$ 1.503.566,94
22	R$ 10.095,88	R$ 7.355,28	-R$ 1.496.211,67
23	R$ 10.095,88	R$ 7.250,15	-R$ 1.488.961,52
24	R$ 10.095,88	R$ 7.146,53	-R$ 1.481.814,99
25	R$ 10.095,88	R$ 7.044,38	-R$ 1.474.770,61
26	R$ 10.095,88	R$ 6.943,70	-R$ 1.467.826,91
27	R$ 10.095,88	R$ 6.844,45	-R$ 1.460.982,46
28	R$ 10.095,88	R$ 6.746,63	-R$ 1.454.235,83
29	R$ 10.095,88	R$ 6.650,20	-R$ 1.447.585,63
30	R$ 10.095,88	R$ 6.555,15	-R$ 1.441.030,48
31	R$ 10.095,88	R$ 6.461,46	-R$ 1.434.569,02
32	R$ 10.095,88	R$ 6.369,11	-R$ 1.428.199,91
33	R$ 10.095,88	R$ 6.278,07	-R$ 1.421.921,84
34	R$ 10.095,88	R$ 6.188,34	-R$ 1.415.733,49
35	R$ 10.095,88	R$ 6.099,90	-R$ 1.409.633,60
36	R$ 10.095,88	R$ 6.012,71	-R$ 1.403.620,89

37	R$ 10.095,88	R$ 5.926,77	-R$ 1.397.694,12
38	R$ 10.095,88	R$ 5.842,06	-R$ 1.391.852,05
39	R$ 10.095,88	R$ 5.758,56	-R$ 1.386.093,49
40	R$ 10.095,88	R$ 5.676,26	-R$ 1.380.417,23
41	R$ 10.095,88	R$ 5.595,13	-R$ 1.374.822,10
42	R$ 10.095,88	R$ 5.515,16	-R$ 1.369.306,94
43	R$ 10.095,88	R$ 5.436,33	-R$ 1.363.870,61
44	R$ 10.095,88	R$ 5.358,63	-R$ 1.358.511,98
45	R$ 10.095,88	R$ 5.282,04	-R$ 1.353.229,94
46	R$ 10.095,88	R$ 5.206,55	-R$ 1.348.023,39
47	R$ 10.095,88	R$ 5.132,13	-R$ 1.342.891,26
48	R$ 10.095,88	R$ 5.058,78	-R$ 1.337.832,48
49	R$ 10.095,88	R$ 4.986,48	-R$ 1.332.846,00
50	R$ 10.095,88	R$ 4.915,20	-R$ 1.327.930,80
51	R$ 10.095,88	R$ 4.844,95	-R$ 1.323.085,85
52	R$ 10.095,88	R$ 4.775,71	-R$ 1.318.310,14
53	R$ 10.095,88	R$ 4.707,45	-R$ 1.313.602,69
54	R$ 10.095,88	R$ 4.640,16	-R$ 1.308.962,53
55	R$ 10.095,88	R$ 4.573,84	-R$ 1.304.388,69