

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

CAROLINE SILVA BONFIM

**SISTEMA DE MONITORAMENTO BASEADO EM ARDUINO PARA ENERGIA
GERADA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS**

**Ilha Solteira
2023**

CAROLINE SILVA BONFIM

**SISTEMA DE MONITORAMENTO BASEADO EM ARDUINO PARA ENERGIA
GERADA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Nome do orientador
Christiane Marie Schweitzer

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B713s Bonfim, Caroline Silva.
Sistema de monitoramento baseado em arduino para energia gerada a partir de fontes renováveis / Caroline Silva Bonfim. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
57 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Christiane Marie Schweitzer
Inclui bibliografia

1. Geração de energia. 2. Parques eólicos. 3. Impactos ambientais. 4.
Sistema de monitoramento.


Raiane da Silva Santos

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos quatro dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e três, a discente **Caroline Silva Bonfim**, matriculada sob o RA: 181052521, tendo como banca examinadora sua orientadora a Profa. Dra. Christiane Marie Schweitzer, o Prof. Dr. Antonio Marcos Cossi e a Profa. Dra. Mara Lúcia Martins Lopes, apresentou o Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica (FEIS/UNESP), intitulado "SISTEMA DE MONITORAMENTO BASEADO EM ARDUINO PARA ENERGIA GERADA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS", obtendo a nota 10,0 (Dez).

Caroline Silva Bonfim
Caroline Silva Bonfim
Discente

Christiane Marie Schweitzer
Profa. Dra. Christiane Marie Schweitzer
Orientadora

Antonio Marcos Cossi
Prof. Dr. Antonio Marcos Cossi
Membro da banca

Mara L. M. Lopes
Profa. Dra. Mara Lúcia Martins Lopes
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Para a realização, não apenas deste trabalho de graduação, mas também, durante toda esta etapa da minha vida, diversas pessoas foram importantes, cada uma a sua maneira, para me proporcionar o aprendizado que hoje levo para a vida.

Agradeço à minha família, especialmente meus pais e irmã, Carla Deniz da Silva Bonfim, Aparecido Bonfim dos Santos e Camile Silva Bonfim, por terem sido meu porto seguro em momentos de incertezas, ao mesmo tempo que sempre me incentivaram a continuar em busca dos meus sonhos.

Aos meus amigos, que durante todos esses anos fizeram com que Ilha Solteira fosse meu lar, por todos os momentos divertidos e dificuldades enfrentadas, que permitiram que nosso vínculo se fortalecesse.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica, pois através de suas aulas e ensinamentos, pude completar esta trajetória, incluindo a realização deste trabalho.

A Profa. Dra. Christiane Marie Schweitzer, que foi minha orientadora, não apenas neste, mas em diferentes projetos realizados durante a graduação, pela confiança, por todas as oportunidades de crescimento que me propiciou, e, principalmente, por permitir que fizesse parte do Laboratório Computacional de Redes, onde pude conviver com pessoas incríveis que me fizeram sentir acolhida a cada encontro.

“Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar”.
Paulo Freire.

RESUMO

A energia eólica é utilizada a muito tempo, ainda assim, sua exploração em nível comercial no escopo mundial, é relativamente nova, e, no caso do Brasil, é ainda mais recente, com seu início datando a década de 1990. O incentivo por parte de políticas públicas, bem como, dos investimentos e estudos realizados, fez com que, em território nacional, em aproximadamente 30 anos, houvesse um aumento significativo na produção de energia eólica, obtendo, em 2021, 26,7% a mais nesse tipo de energia do que em comparação com 2020. Ainda assim, como toda forma de atividade industrial, a produção de energia eólica, mesmo sendo uma energia renovável, causa danos ao ambiente onde ocorrem as instalações das estruturas, de forma que estes precisam ser estudados, com o intuito de serem mitigados. Sendo assim, neste trabalho de graduação é realizado um estudo de caso com relação a parques eólicos, partindo das licenças ambientais necessárias para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, assim como dos impactos causados pela instalação e funcionamento das estruturas, tanto para o ambiente ao redor, quanto para a população situada próxima ao local das atividades, nos âmbitos sociais e de saúde. Sendo que, para o estudo de caso foram selecionadas três instalações para análise dos impactos que podem causar, sendo estas: os complexos eólicos do Agreste do Rio Grande do Norte e de Trairí, e o parque eólico de Tramandaí. E, como prova de conceito, tendo em mente a dificuldade de interpretação de dados fornecidos por mapas e medições em estações de meteorologias, que muitas vezes não são específicos para a região alvo de estudo de seu potencial energético, também é apresentado neste trabalho, um sistema de aquisição de dados de um modelo educativo, que é baseado no microcontrolador Arduino, em conjunto com um banco de dados realizado através do *Microsoft Data Streamer*.

Palavras-chave: geração de energia; parques eólicos; impactos ambientais; sistema de monitoramento.

ABSTRACT

Wind energy has been used for a long time, even so, its exploitation on a commercial level in the world scope is relatively new, and, in the case of Brazil, it is even more recent, with its beginning dating back to the 1990s. of public policies, as well as the investments and studies carried out, meant that, in the national territory, in approximately 30 years, there was a significant increase in the production of wind energy, obtaining, in 2021, 26.7% more in this type of energy energy than compared to 2020. Even so, like all forms of industrial activity, the production of wind energy, even though it is a renewable energy, causes damage to the environment where the installation of structures takes place, so that these need to be studied, with intended to be mitigated. Therefore, in this graduation work a case study is carried out in relation to wind farms, starting from the environmental licenses necessary for the licensing of activities that modify the environment, as well as the impacts caused by the installation and operation of the structures, both for the environment around, as well as for the population located close to the place of activities, in the social and health areas. Since, for the case study, three facilities were selected to analyze the impacts they may cause, namely: the wind farms in the Agreste do Rio Grande do Norte and Trairí, and the wind farm in Tramandaí. And, as a proof of concept, bearing in mind the difficulty of interpreting data provided by maps and measurements in meteorological stations, which are often not specific to the target region of study of its energy potential, it is also presented in this work, a data acquisition system of an educational model, which is based on the Arduino microcontroller, together with a database created through the Microsoft Data Streamer.

Keywords: power generation; wind farms; environmental impacts; monitoring system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Principais componentes de um aerogerador.....	14
Figura 2	- Fotografia de um parque eólico.....	15
Figura 3	- Fornecimento total de energia mundial por fonte de energia 1973 e 2019.....	17
Figura 4	- Comparação produção de energia advinda dos ventos por região.....	18
Figura 5	- Mortes de quirópteros no Parque Eólico de Osório (2006 - 2009).....	23
Figura 6	- Diagrama para decisão sobre o destino de pás de aerogeradores.....	26
Figura 7	- Comparação dos impactos por fonte de geração de energia.....	29
Figura 8	- Localização dos complexos eólicos de João Câmara, Parazinho e Trairí.....	31
Figura 9	- Localização do parque eólico de Tramandaí.....	32
Figura 10	- Pinagem do Arduino Uno R3.....	34
Figura 11	- Esquema do circuito com Arduino utilizado para aquisição de dados.....	35
Figura 12	- Ligações utilizadas para o sensor de tensão.....	35
Figura 13	- Ligações utilizadas para o sensor de corrente.....	36
Figura 14	- Ligações utilizadas para o sensor de velocidade.....	37
Figura 15	- Ligações utilizadas para a conexão do <i>display</i> LCD.....	37
Figura 16	- Banco de dados utilizado (<i>Layout</i> inicial).....	38
Figura 17	- Banco de dados utilizado (Atualização do banco de dados).....	39
Figura 18	- Dados obtidos.....	39
Figura 19	- Curva de carga (Território nacional).....	41
Figura 20	- Curva de carga (Nordeste).....	42
Figura 21	- Curva de carga (Sudeste/Centro-Oeste).....	42
Figura 22	- Modelo educativo de gerador eólico.....	43
Figura 23	- Comparação dos dados obtidos via sensor e via multímetro.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Comparação de valores medidos pelo sensor e pelo multímetro.....	43
-----------------	--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	ENERGIA EÓLICA.....	14
1.2.1	Cenário Mundial.....	16
1.2.2	Cenário Brasileiro.....	17
1.3	OBJETIVO.....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	LEGISLAÇÃO REFERENTE A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA.....	20
2.2	RISCOS EM POTENCIAL DURANTE E APÓS A INSTALAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS.....	21
2.2.1	Impactos Ambientais.....	22
2.2.2	Impactos Sociais e à Saúde.....	23
2.3	IMPACTOS REFERENTES A PRODUÇÃO E DESCARTE DE AEROGERADORES.....	25
2.4	IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DE OUTRAS FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	27
3	PARTE EXPERIMENTAL.....	30
3.1	ESTUDO DE CASO: IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS CAUSADOS PELAS INSTALAÇÕES DE PARQUES E COMPLEXOS EÓLICOS.....	30
3.2	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	33
3.2.1	O Sistema – Modelagem e Prototipação.....	33
3.2.2	Sistema de Interface com Banco de Dados.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40

5	CONCLUSÕES.....	46
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNDICE A – Código Utilizado na Plataforma Arduino Uno R3.....	54

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho de graduação é apresentado um estudo de caso com relação a parques eólicos, partindo desde a legislação em vigor para estas estruturas, assim como os impactos que estas podem causar, dando enfoque às possibilidades resultantes do seu processo da instalação, bem como, de suas atividades cotidianas.

Além desta análise, tendo em mente a dificuldade de interpretação de dados fornecidos por mapas e medições em estações de meteorologias, que muitas vezes não são específicos para a região alvo de estudo de seu potencial energético, neste trabalho, também é apresentado um sistema de aquisição de dados, que é baseado no microcontrolador Arduino, em conjunto com um banco de dados. Para o teste do protótipo, será utilizado de um modelo educativo, o qual será adaptado as possibilidades no momento de efetuação do presente trabalho.

1.1. JUSTIFICATIVA

O consumo elevado de energia é inerente ao estilo de vida atual da sociedade, já que as necessidades cotidianas da maioria das pessoas, desde a iluminação doméstica até a conexão à internet, dependem do uso de energia. Entretanto, apenas utilizar de uma fonte de energia que seja capaz de suprir a demanda atual, não é o suficiente, já que deve ser considerada a longevidade desse meio, ou seja, se faz necessária a exploração de opções renováveis de energia. Dessa forma, entre as energias renováveis, devido ao crescimento acelerado, o foco deste trabalho é a energia eólica.

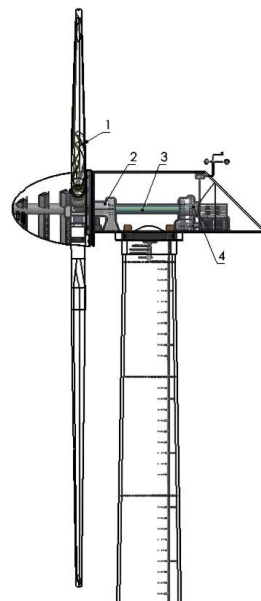
Mesmo com os benefícios das energias renováveis, tal como a energia eólica, parques eólicos, por exemplo, podem causar impactos aos ambientes em que são inseridos, de forma que, determinadas comunidades de indivíduos e espécies, podem se encontrar vulneráveis. Dessa forma, é necessário se analisar os benefícios oriundos desse modelo mediante comparação dos impactos que podem ocorrer por sua utilização.

1.2. ENERGIA EÓLICA

As crises energéticas que ocorreram a partir de 1970, devido à escassez no abastecimento do petróleo que era proveniente de países do Oriente Médio, desencadeou, segundo Cerqueira e Silva (2017), um aumento no preço do petróleo em 400% entre 1973 e 1974. Esse fato, em conjunto com as emergentes preocupações que entornavam o processo referente ao uso de combustíveis fósseis como fonte da energia produzida, levantada na conferência de Estocolmo de 1972, realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), acarretaram na expansão das discussões sobre o tema (CUNHA *et al.*, 2019). Dessa forma, diversos países passaram a buscar fontes alternativas de energia elétrica, com o intuito de diminuir ou acabar com a dependência deste combustível, uma vez que, o petróleo não é um recurso renovável.

Um dos tipos de energia renovável, que desde então recebeu destaque, foi a energia eólica, cuja energia é gerada a partir de aerogeradores, que são dispositivos capazes de converter a energia cinética dos ventos em energia elétrica. Aerogeradores possuem uma estrutura que pode ser dividida em algumas partes principais, com elas podendo ser divididas em: Pás, rotor, eixo e gerador. Esses pontos são destacados de 1 a 4, respectivamente, no esquema de um aerogerador, presente na Figura 1

Figura 1 – Principais componentes de um aerogerador



Fonte: Adaptado de Serna (2022).

As pás do aerogerador, também chamadas de hélices, são utilizadas para capturar a energia proveniente dos ventos. Como as pás são conectados ao rotor, quando há incidência dos ventos sobre a estrutura, de modo a movimenta-las, o rotor é responsável por transmitir energia cinética, convertida em energia mecânica rotacional, através de seu eixo, a um gerador que converte a energia recebida em energia elétrica, que pode ser utilizada localmente ou pode ser enviada para a rede elétrica (CINTRA; MACHADO, 2019). Além disso, um aerogerador possui um sistema de controle, através do qual há o ajuste da direção das pás e velocidade do rotor, fazendo com que a eficiência do modelo seja elevada.

Para a geração de energia eólica, são utilizados parques eólicos, os quais possuem um conjunto de turbinas eólicas, localizadas em locais onde é possível maximizar o uso da velocidade dos ventos, conforme apresentado na Figura 2. Em parques eólicos, são utilizados recursos para otimizar a eficiência e a segurança das estruturas, como taludes e o abaulamento.

Figura 2 – Fotografia de um parque eólico



Fonte: Oliveira (2019).

Os taludes são inclinações criadas nas bases das turbinas, são utilizados para estabilizar as estruturas, facilitar o acesso as mesmas e para evitar o acúmulo de água nas bases dos dispositivos (DYMINSKI, 2007). No caso do abaulamento, este cria uma curva suave na extensão da estrada de acesso as estruturas, que é útil para propiciar maior segurança próximas as estruturas, pois por conta da curvatura, há a diminuição da velocidade na via, além de aumentar a visibilidade, e promover uma estabilidade maior em épocas de ventos mais fortes (DALOSTO *et al.*, 2016).

Com o aumento do interesse sobre o tema, segundo Souza (2020), na segunda metade da década de 1970, houve o investimento em pesquisas cujo foco consistiu no estudo do setor eólico de grande porte, possibilitando um aumento nos mercados de energia eólica *onshore* (localizados em terra ao longo da costa marítima ou no interior) e *offshore* (localizado no mar). Constatando o potencial da indústria, em 1990, países como Estados Unidos da América (EUA) e Reino Unido, buscando expandir a capacidade financeira do mercado, investiram nos estudos da aplicação *offshore* dessa forma de energia (SOUZA, 2020).

Segundo Tolmasquim *et al.* (2004), em 15 anos, houve um aumento de 9000% na capacidade de produção de um aerogerador, que de 1985 a 2000 foi de 50 kW a 4500 kW.

1.2.1. Cenário Mundial

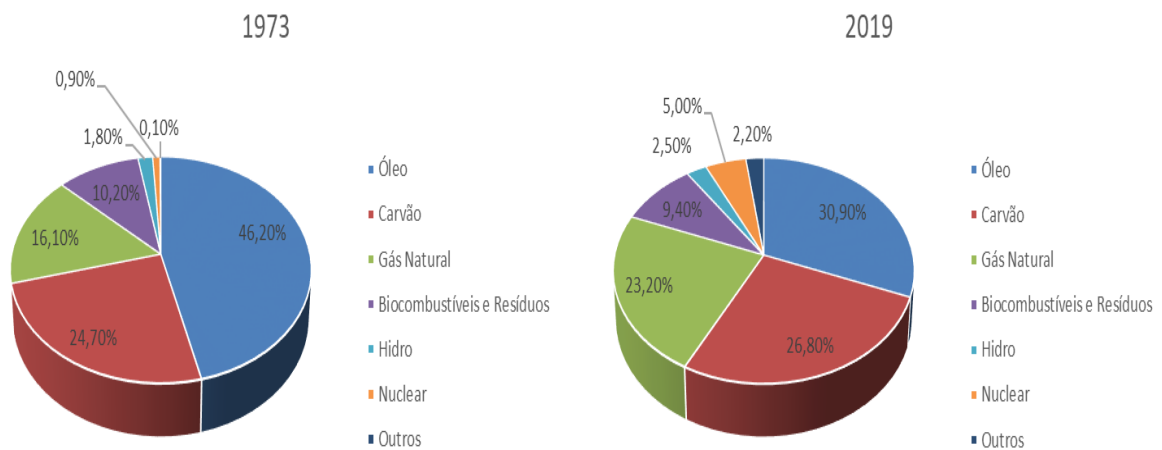
Com o cenário vivenciado pela sociedade na década de 70, a Agência Internacional de Energia (AIE) propôs algumas medidas à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) com o objetivo de minimizar os impactos e as dificuldades oriundas do aumento do preço do petróleo. Foram ofertadas algumas medidas possíveis para amortizar a situação, sendo elas: a racionalidade na utilização da energia, a diversificação das fontes de importação de petróleo e a substituição do petróleo por outras fontes de energia (SOUZA, 2020).

Por volta de 1975, diversos países realizaram pesquisas e investimentos no setor eólico de grande porte, possibilitando a expansão dos mercados *onshore* e *offshore* (SOUZA, 2020). Já em meados de 1990, ocorreu a união de outras potências, para a análise da viabilidade da aplicação em grande escala de fazendas eólicas no mar. A Dinamarca foi a primeira a comercializar a energia gerada por uma

usina eólica, a aproximadamente 2 km da costa, no Mar Báltico, e era composta por 11 turbinas eólicas, cada qual com 450 kW de capacidade. Então vários países desenvolveram suas fazendas em modelo similar, fazendo com que a AIE visse de forma positiva o mercado eólico, incentivando o crescimento da geração eólica de forma que esta se tornasse cada vez maior em diferentes países (SOUZA, 2020).

Conforme pode ser verificado na Figura 3, a matriz energética mundial, no período de 1973 a 2019, não apresenta grandes modificações quanto às fontes renováveis, entretanto, a energia derivada de petróleo diminuiu consideravelmente, em 15,3%.

Figura 3 – Fornecimento total de energia mundial por fonte de energia (1973 e 2019)



Fonte: Adaptado de AIE (2021).

1.2.2. Cenário Brasileiro

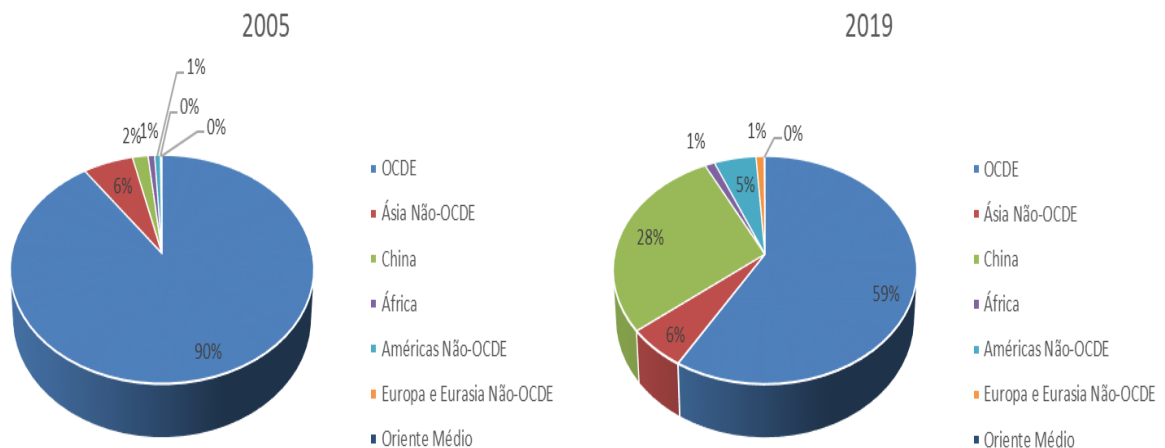
No Brasil, a primeira instalação realizada com o intuito de gerar energia, ocorreu no ano de 1992, em Fernando de Noronha, arquipélago do estado de Pernambuco, com a primeira turbina eólica, de 75 kW, chegando a gerar 10% da energia consumida do local. Além disso, também existiam outros projetos simultâneos, instalados em Minas Gerais e Ceará, por exemplo (SOUZA, 2020).

Após um período de pausa na indústria de geração de energia eólica, por conta do alto custo envolvido, e, conseqüentemente, da falta de políticas públicas de apoio do setor (SOUZA, 2020), em 2001, houve a divulgação do Atlas do Potencial

Eólico Brasileiro, documento que fornece informações para capacitar as tomadas de decisão na identificação de áreas adequadas para aproveitamentos eólico-elétricos (CRESESB, 2001). Nele, o Nordeste, o Sudeste, e o Sul foram listados como áreas em potencial para o investimento do setor eólico. Ainda que o Atlas tenha propiciado a evolução desse mercado no território nacional, uma vez que, o desenvolvimento foi atrelado às pesquisas realizadas com base no mesmo documento, cinco anos após o seu lançamento, Pacheco (2006) já destacava a necessidade de atualização do documento, para obter dados sobre o setor eólico *offshore*.

Mediante o documento publicado em 2021 pela AIE, foi identificado que em 14 anos (de 2005 a 2019), verificou-se um aumento em 4,4% do potencial brasileiro em fazer uso deste recurso, conforme a Figura 4. Sendo assim, o grupo em que o Brasil se encontra, apresentou o segundo maior aumento da produção eólica, ficando atrás apenas do crescimento apresentado pela China, que apresenta um potencial nacional ainda em crescimento e desenvolvimento.

Figura 4 – Comparação produção de energia advinda dos ventos por região



Fonte: Adaptado de AIE (2021).

Com relação aos dados mais atualizados, tem-se os valores apresentados na Resenha Energética Brasileira, que é publicada anualmente pelo Ministério de Minas e Energia (MME), tendo como intuito indicar o desempenho do setor energético do país no ano anterior. Em 2021, a energia eólica em conjunto com a energia solar e outras fontes renováveis de energia, permitiram que a relação das energias

renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE) não tivesse uma queda tão acentuada, quando comparada ao ano de 2020, pois foi verificada uma redução percentual devido às condições climáticas adversas (MME, 2022).

1.3. OBJETIVO

Neste trabalho, o objetivo principal consiste em realizar um estudo de caso de parques eólicos, assim como, discorrer sobre impactos sociais e ambientais causados por estas instalações no Brasil e no mundo. No estudo de caso, são considerados 3 locais para as análises, o Complexo Eólico do Agreste do Rio Grande do Norte, o Complexo Eólico de Trairí e o Parque Eólico do Tramandaí. Além disso, como prova de conceito, também prototipar um sistema de aquisição de dados, cuja plataforma base, consiste, no microcontrolador Arduino, com o intuito de mensurar os valores de corrente e tensão fornecidos por um gerador, de modo a fornecer estas medições através de um banco de dados, e, por fim, podendo este ser utilizado para análise dos resultados.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Além da Seção 1, o trabalho está estruturado conforme descrito a seguir.

A Seção 2 possui uma revisão de literatura, sendo esta pertinente para o embasamento das discussões referentes ao estudo de caso presente na seção subsequente.

A Seção 3 contém a parte prática do trabalho, onde é feito um estudo de impactos causados pelas instalações de geração de energia eólica. Além disso, como prova de conceito, é apresentado o protótipo de um sistema de aquisição de dados com uma interface para um banco de dados.

Na Seção 4, ocorre a apresentação dos dados e informações pertinentes desenvolvidas com a efetuação do trabalho.

Na Seção 5, ocorrem as argumentações e considerações finais, bem como, a apresentação de possibilidades para projetos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção é realizada uma revisão da literatura, onde são reunidos os pontos pertinentes para as discussões necessárias neste trabalho de graduação.

2.1. LEGISLAÇÃO REFERENTE A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

A legislação referente a geração de energia eólica pode variar de acordo com o país em que é almejado realizar as instalações, pois existem normas específicas para a regulamentação da construção, da operação e da manutenção das instalações. No Brasil, a Resolução CONAMA 462, de 24 de julho de 2014, é responsável por estabelecer critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fontes eólicas em superfície terrestre. Neste documento, que revoga a Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997, são listados três tipos de licenças ambientais para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, sendo elas: Licença Prévia, Licença de Instalação e a Licença de Operação. A emissão das licenças, é de responsabilidade dos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997).

A Licença Prévia (LP), é a licença exigida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade. Esta licença, é concedida na etapa de viabilidade ambiental e estabelece as condições básicas e os requisitos a serem atendidos para a concessão das próximas fases de licenciamento, possuindo um prazo de no máximo 5 anos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997).

A Licença de Instalação (LI), é a licença exigida na fase de implantação do empreendimento ou atividade, autorizando a execução das obras e atividades, de acordo com as condicionantes estabelecidas na LP, sendo que para a LI, o prazo máximo é de 6 anos (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997).

Por fim, há a Licença de Operação (LO), que é exigida na fase de operação do empreendimento ou atividade, autorizando o início das operações e a continuidade das mesmas, de acordo com o cumprimento das condicionantes pré-estabelecidas nas licenças citadas anteriormente e possui um prazo mínimo de 4 anos e máximo de 10 anos, com esse tempo podendo ser modificado mediante

avaliações do desempenho ambiental da atividade ou empreendimento (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997).

É necessário ressaltar que a obtenção das licenças ambientais é obrigatória para o funcionamento de empreendimentos e/ou atividades que estão sujeitas ao licenciamento ambiental, sendo que o não cumprimento das condicionantes estabelecidas nos documentos pode gerar em sanções administrativas, civis e penais aos responsáveis. Também cabe destacar que a Resolução CONAMA 462/2014, dependendo da região e da atividade específica utilizada, pode ser complementada por normas estaduais e municipais. Dessa forma, é necessário que para se obter as informações relacionadas aos requisitos legais para cada situação, sejam consultados órgãos ambientais competentes.

2.2. RISCOS EM POTENCIAL DURANTE E APÓS A INSTALAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

A energia eólica é uma energia renovável, uma vez que, sua fonte se origina dos ventos, que é um recurso natural, não-poluinte e que não irá se esgotar, de modo que, consiste em um dos modelos que supre as desvantagens destacadas por Goldemberg (2015) de uma matriz energética dependente de combustíveis fósseis. Ter uma matriz não renovável acarreta a exaustão das reservas de combustíveis existentes, além de que, devido a distribuição desigual das fontes de recursos entre países, as tensões geopolíticas podem ser acirradas devido ao acesso às mesmas, e, as condições socioambientais que são degradadas em níveis locais (como o caso da poluição da atmosfera), ou mesmo mundial (tal como o aquecimento global), pela queima destes combustíveis fósseis.

Ainda assim, como destacado por Jaber (2013), da mesma forma que qualquer outra atividade industrial, a energia eólica pode causar impactos no ambiente os quais devem ser, conscientemente, analisados e mitigados. Os parques eólicos, cujo funcionamento se dá pelo conjunto de estruturas giradas a partir da força dos ventos, em algumas situações, podem apresentar impactos negativos para certos grupos de pessoas e espécies mais sensíveis, dentre as situações que podem ser consideradas, pode ser dado enfoque nos impactos causados nos seguintes aspectos: Meio ambiente, comunidades locais (sua cultura e tradições) e desenvolvimento local.

2.2.1. Impactos Ambientais

A fauna e flora de uma região podem ser afetadas devido a construção e a operação de parques eólicos, como por exemplo, as colisões ocorridas entre aves e morcegos com as pás das turbinas, além da possibilidade de alteração do clima e paisagem. Dessa forma, estas construções também podem representar um impacto negativo no desenvolvimento local da região utilizada para a instalação das estruturas, caso se, a região possua forte atividade turística ou dependente de aspectos locais que podem sofrer modificações por conta da atividade dos parques.

Segundo Jaber (2013), existem duas formas de influência que o desenvolvimento da energia eólica pode afetar o funcionamento de ecossistemas, que são: o impacto direto em organismos individuais e o impacto na estrutura do habitat e em seu funcionamento. No primeiro caso, pode-se citar as mortes de pássaros e morcegos, que ocorrem devido á colisões entre estas espécies com as turbinas, visto que cada animal possui uma vulnerabilidade diferente de colisão, de forma que esses acidentes podem se tornar acumulativos e podem afetar, posteriormente, as comunidades bióticas do local, causando preocupação quanto a possibilidade de aumento das turbinas e da altura que estas alcançam, já que além dos grupos de animais já atingidos, outros casos podem ocorrer. Na segunda forma de impacto, cabe mencionar as alterações no ecossistema causadas pelas instalações de energia eólica, como a limpeza da vegetação, ruptura do solo, aumento do potencial de erosão, mudanças no microclima, entre outros, que podem acarretar a perda do habitat natural para certas espécies presentes na fauna e na flora local, já que cada ser vivo reage de uma forma às mudanças oriundas das estruturas.

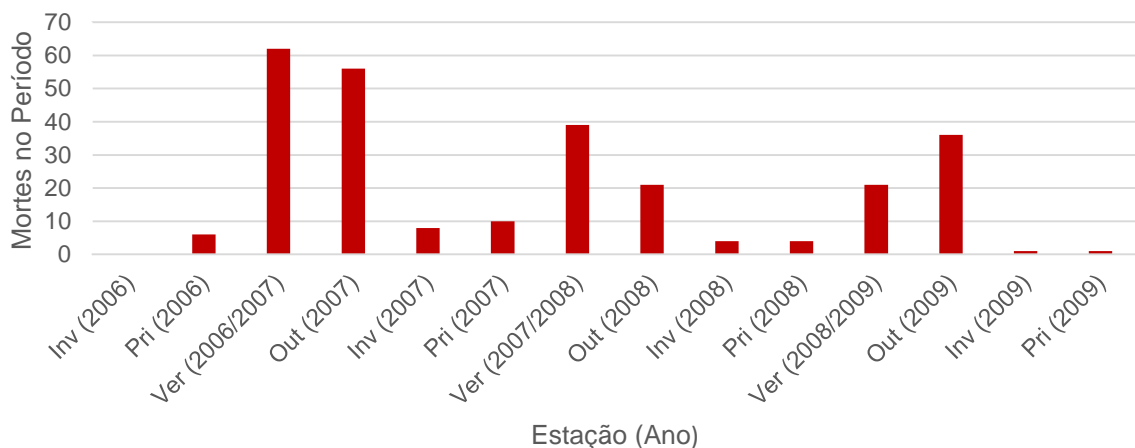
Nos impactos descritos em literatura, tem-se que em certas regiões do Texas, nos EUA, em uma região com 2.358 turbinas, foi relatado, com o auxílio de informações provenientes de um satélite, um aumento da temperatura ambiental de 0,724°C durante o dia, em um estudo de 8 anos (DE AZEVEDO *et al.*, 2017 apud ZHOU *et al.*, 2012). Além disso, segundo De Azevedo *et al.* (2017 apud WANG; PRINN, 2010) se 10% da demanda de energia global for proveniente de energia eólica em 2100, a temperatura global aumentaria em 1°C.

Já Staut (2016) menciona os impactos causados na fauna alada, que ocorrem principalmente onde existem as rotas migratórias e locais de bom estado de

conservação, e que além dos riscos causados pelos casos de acidentes, devem ser considerados outros tipos de perturbações nas aves, como, por exemplo, as consequências negativas referentes ao sucesso reprodutor. Dentre as espécies que são referência entre os grupos de aves mortas, estão as aves de rapina e passeriformes (STAUT, 2016). No caso das mortes dos morcegos, é evidenciado que teorias ainda são estudadas para identificar as causas das colisões, uma vez que estes mamíferos possuem capacidade de eco localização, adaptação que permite o reconhecimento do ambiente mesmo sem o auxílio da visão (STAUT, 2016).

Um estudo realizado no parque eólico em Osório, no Rio Grande do Sul (RS), entre 2006 e 2009, identificou picos de mortalidade no verão e no outono. A Figura 5 apresenta as mortes de quirópteros do Parque Eólico de Osório.

Figura 5 – Mortes de quirópteros no Parque Eólico de Osório (2006 - 2009)



Fonte: Adaptado de Staut (2016, apud RUI; BARROS, 2006).

Os resultados desse estudo, onde foi realizado o monitoramento dos morcegos, apontaram que há semelhanças entre as espécies mais afetadas no Brasil e as mais afetadas na América do Norte, inferindo-se que as espécies mais afetadas não são as mais abundantes (STAUT, 2016, apud RUI; BARROS, 2006).

2.2.2. Impactos Sociais e à Saúde

Os cidadãos de comunidades locais, cujas residências estão situadas próximas aos parques eólicos, também são impactados em seu cotidiano pela

instalação e a operação das estruturas, pois, além dos tópicos destacados na Subseção 2.2.1, onde o desenvolvimento local pode ser prejudicado, o que afeta famílias dependentes dessas atividades, além de desvalorização imobiliária, existem também, as questões referentes às pessoas sofrerem com os impactos visuais, sonoros e qualidade de vida.

Nos campos de saúde e bem-estar das comunidades próximas as instalações de turbinas eólicas, pode se verificar que os maiores impactos para essas pessoas são com relação ao ruído e efeito estroboscópico (JABER, 2013), que consiste em uma resultante da incidência de luz solar sobre as turbinas eólicas, que com a rotação das pás, pode causar desconforto. Esse efeito depende de alguns fatores como, por exemplo, da estação do ano e do período do dia.

Os ruídos oriundos dos aerogeradores são advindos de duas fontes: os ruídos mecânicos oriundos da *gearbox* e do gerador e os ruídos aerodinâmicos promovidos pela interação da turbina com os ventos (JABER, 2013). Tais ruídos podem se ampliar um pouco com a velocidade dos ventos, e mesmo sendo incômodos, ainda assim, segundo Staut (2016), sob o ponto de vista fisiológico, não são danosos aos homens e animais, e, também não interferem nas atividades diárias daqueles que habitam a região.

Os impactos visuais dos parques eólicos são verificados desde as mudanças presentes na paisagem até o efeito estroboscópico, anteriormente mencionado. Esse efeito, pode ser mais evidente quando as construções atingidas pelas sombras dos aerogeradores possuem portas ou janelas abertas diretamente na direção dos raios solares (STAUT, 2016, apud GIPE, 1995). Também existem reclamações que o *shadow flicker*, termo em inglês para o efeito estroboscópico, pode desorientar ou causar apreensão em 2% da população circunvizinha que sofrem de epilepsia (STAUT, 2016, apud GIPE, 1995).

Culturalmente, mesmo que, no caso de alguns projetos eólicos, o local se torne um ponto turístico, Jaber (2013) menciona que as estruturas impactam de forma direta e indireta as oportunidades recreativas da região utilizada. No caso de impactos diretos, estes existem quando atividades antes realizadas na região, devem ser redirecionadas ou prejudicadas por conta das instalações de energia eólica, já os impactos indiretos são referentes à aparência do local, que pode influenciar nos valores mercadológicos e na história regional (JABER, 2013).

2.3. IMPACTOS REFERENTES A PRODUÇÃO E DESCARTE DE AEROGERADORES

Conforme apresentado na Seção 2.2, a instalação e o funcionamento contínuo de um parque eólico podem provocar impacto nas comunidades que vivem ao redor dela, seja no caso de seres humanos, ou, mais comumente, assim como apresentado, espécies da avifauna e quirópteros. Entretanto, existem outras etapas, que muitas vezes podem ser ignoradas, como, por exemplo, o processo de produção de suas pás, e, o descarte das mesmas. Dessa forma, nesta seção, ainda com o enfoque nas possíveis preocupações que podem se originar com relação aos impactos que entornam instalações com turbinas eólicas, será apresentado uma introdução ao tópico de produção e descarte de pás de aerogeradores.

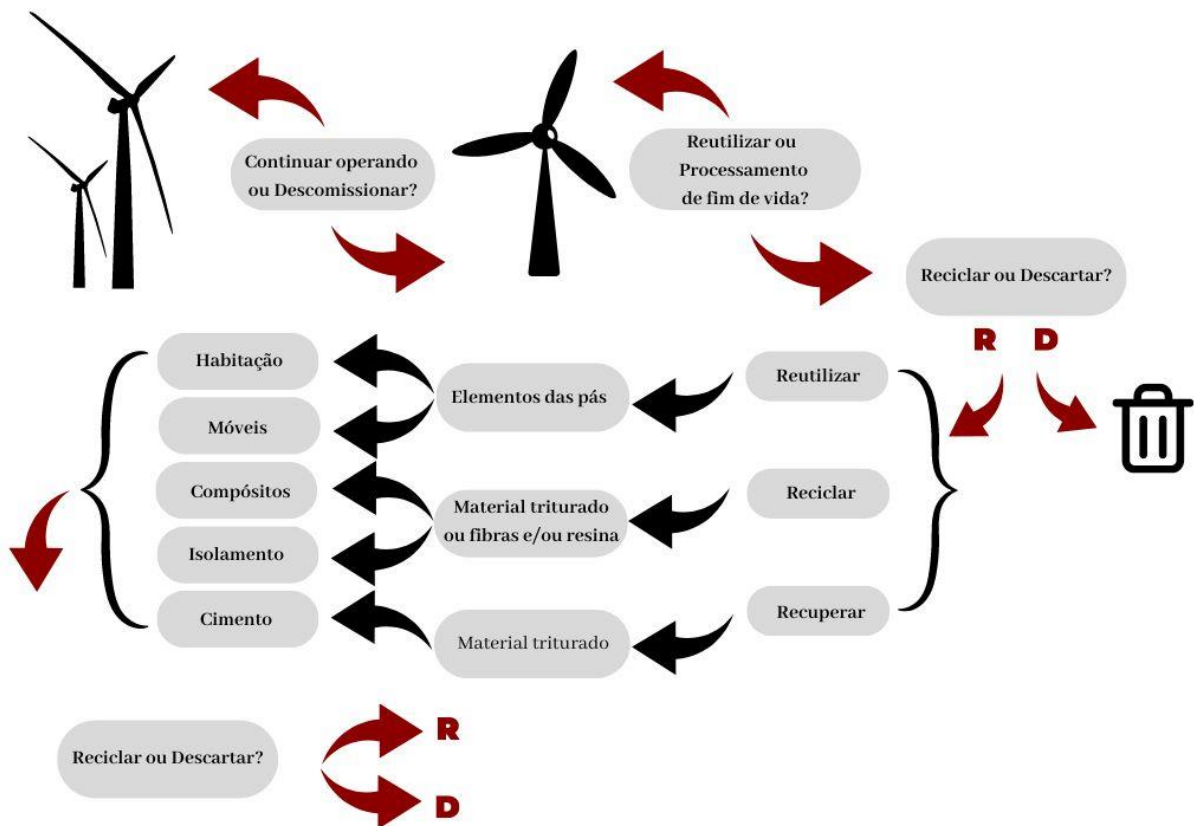
Nos dias atuais, para a produção de pás de aerogeradores, são utilizados como materiais base: madeiras, fibras de vidro e de carbono, e matrizes poliméricas (CAMPOS, 2013). O material mais comum na produção de pás de aerogeradores, consiste na fibra de vidro, que segundo apresentado por Piovesan *et al.* (2013), o contato com estes fragmentos causa irritação em olhos, pele, nariz e garganta, e, a altos níveis de exposição, problemas respiratórios podem ser agravados. Um outro ponto a ser destacado, é a laminação de plásticos reforçados com fibra de vidro, que é realizada com resina poliéster, que é volátil e que liberam gases tóxicos prejudiciais à saúde das pessoas, capaz de causar irritação do sistema respiratório e outras membranas mucosas (ORTH *et al.*, 2012). Além disso, altas exposições ao estireno, material que é a base da resina de poliéster, pode causar náuseas, perda de apetite, depressão do Sistema Nervoso Central e debilidade geral (ORTH *et al.*, 2012).

As pás dos aerogeradores, que possuem uma vida útil de 20 a 25 anos (TRINDADE, 2022, apud LARSEN, 2009), e como a produção de resíduos está diretamente relacionada com a capacidade instalada (TRINDADE, 2022), tendem a aumentar com o passar do tempo, pois, no caso da energia *onshore*, tendo como base a capacidade global instalada no ano de 2018, com 542 GW, possui uma estimativa de crescimento de três vezes maior até 2030 e dez vezes até 2050, resultando em 1787 GW e 5044 GW, respectivamente (TRINDADE, 2022, apud IRENA, 2019). Atualmente, após o fim da vida útil, as tecnologias utilizadas nas pás dos aerogeradores, podem ser térmicas, como pirólise, incineração e leite fluidizado,

ou químicas, como a solvólise (TRINDADE, 2022). Porém para todos os exemplos existe a moagem e posterior deposição final de aterros (TRINDADE, 2022). Entretanto, estudos apontam que tecnologias térmicas ou químicas não são indicadas, pois podem comprometer as propriedades de resistência à tração das fibras (TRINDADE, 2022, apud BEAUSON; BRØNDSTED, 2016).

Segundo a Figura 6, tem-se um diagrama para que se possa decidir o destino das pás de aerogeradores ao fim de sua vida útil. Neste estudo, são considerados quatro critérios a cada decisão a ser tomada (com cada opção sendo representada por uma seta vermelha): custos, viabilidade técnica, legislação e impactos ambientais, os quais são apresentadas três alternativas finais, sendo elas: reuso, a reciclagem e a eliminação, de forma que as pás sejam utilizadas novamente em turbinas eólicas, ou transformadas em novos materiais, ou eliminadas, o que inclui o depósito das mesmas em aterros (TRINDADE, 2022, apud BEAUSON *et al.*, 2022).

Figura 6 – Diagrama para decisão sobre o destino de pás de aerogeradores



Fonte: Adaptado de Trindade (2022, apud BEAUSON *et al.*, 2022).

2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DE OUTRAS FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com o intuito de se exemplificar a ideia de Jaber (2013), de que toda atividade industrial influencia e causa impactos no ambiente em que está inserido, esta seção é destinada à discussão dos impactos que outras fontes renováveis de energia causam nas respectivas áreas de instalação e funcionamento. Para esta comparação, foram consideradas a energia termelétrica, hidrelétrica, solar e eólica.

Inatomi e Udaeta (2005) descrevem uma usina termelétrica convencional, como uma que gera energia a partir da queima em caldeira de carvão, óleo combustível ou gás natural, que aquece a água que circula numa rede de tubos e gera um vapor responsável por girar as pás de uma turbina, que por ser ligada a um gerador, fornece a energia. Esse vapor volta aos tubos para reiniciar o ciclo após passar por um condensador.

Inatomi e Udaeta (2005), também destacam que para esta fonte de energia, tem-se que os principais impactos ambientais estão relacionados ao ambiente onde as usinas estão localizadas, uma vez que, normalmente, as usinas termelétricas são instaladas próximas aos leitos de rios ou de mares, pois utilizam a água como recurso para sua forma de geração de energia elétrica. Dessa forma, após a utilização da água no processo de geração de energia, ela é retornada à sua fonte com uma temperatura mais elevada, fazendo com que a fauna e a flora local, bem como, a temperatura média deste ambiente, possam ser impactadas, além disso, o próprio processo de queima em caldeira pode gerar poluentes, dependendo do combustível utilizado (INATOMI; UDAETA, 2005).

Já no caso das hidrelétricas, cujo processo de geração de energia elétrica utiliza da força das águas (MAGALHÃES, 1978), mesmo que o recurso primordial para este tipo de geração (a água) seja renovável, as usinas hidrelétricas interferem drasticamente no local de sua instalação.

Além das modificações que promovem ao seu redor, com a criação de represas, causando inundações de grandes áreas, o que afeta a hidrologia do local e sua paisagem, as hidrelétricas interferem no fluxo dos rios e causam a liberação do gás metano, além de prejudicar a fauna e a flora da região, causando impactos no clima, na sismologia, com erosões e com assoreamentos (INATOMI; UDAETA, 2005). O clima é alterado devido a temperatura, umidade, precipitação, ventos e

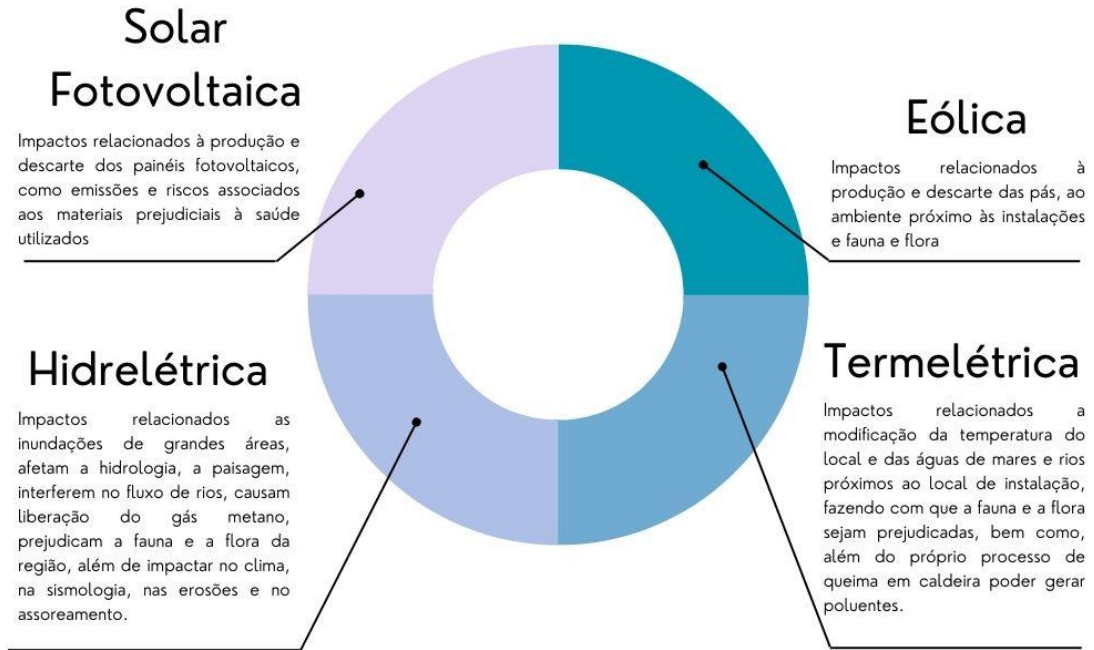
evaporação, já a sismologia é afetada por conta de possíveis tremores de terras, enquanto que as erosões e o assoreamento podem ser vistos com a perda de árvores e solo e o acúmulo de resíduos nas águas, respectivamente (INATOMI; UDAETA, 2005).

A outra fonte de energia renovável utilizada na comparação desta seção, consiste em uma forma promissora quanto a capacidade de geração de energia, ao mesmo tempo que não emite poluentes durante a sua operação, sendo ela a energia solar fotovoltaica, que converte a luz solar em energia elétrica (SILVA *et al.*, 2018).

Mesmo não emitindo poluentes durante a sua operação, ainda assim, como as outras fontes de energia, a energia solar, também impacta o ambiente em que está inserida, e, como na energia eólica, a estrutura utilizada para a geração de energia, que neste caso, consistem nos painéis fotovoltaicos, geram dúvidas quanto aos impactos gerados na sua fabricação e descarte (INATOMI; UDAETA, 2005). Segundo Tolmasquim *et al.* (2004) os impactos causados pelo sistema fotovoltaico apresentam como destaque no âmbito negativo as emissões e riscos associados a materiais prejudiciais à saúde que ocorrem durante a produção, transporte, instalação, operação, manutenção e descomissionamento dos sistemas utilizados para a produção de energia e seus auxiliares.

Na Figura 7 há um compilado das informações desta seção, em forma gráfica, com relação aos impactos ambientais relacionados a forma de geração de energia.

Figura 7 – Comparação dos impactos por fonte de geração de energia



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Conforme verificado, dentre as energias, as duas formas de geração em que os impactos foram menores, foram as energias eólica e solar fotovoltaica, neste caso, como ambas apresentam a problemática de serem inconstantes, devido a primeira ser mais abundante no período noturno e a segunda estar disponível apenas no período diurno, alguns autores, como De Oliveira *et al.* (2018), citam o interesse na perspectiva de se considerar um modelo híbrido, com usinas integradas e armazenamento de energia.

3 PARTE EXPERIMENTAL

Nesta seção, o enfoque é dado a dois tópicos principais, que correspondem a: um estudo de caso de parques eólicos, baseado de informações contidas na literatura, destacando os impactos sociais e ambientais causados pelas instalações, e, manter um sistema de aquisição de dados integrado a um sistema de banco de dados.

3.1. ESTUDO DE CASO: IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS CAUSADOS PELAS INSTALAÇÕES DE PARQUES E COMPLEXOS EÓLICOS

Para a elaboração desta seção, haverá o estudo de dados obtidos na literatura referentes a parques eólicos, cujos resultados serão discutidos na Seção 4.

De Azevedo *et al.* (2017) realizaram uma revisão da literatura sobre os impactos causados pelas instalações de energia eólica, sendo verificado, nos diferentes estudos, impactos que possuem fatores em comum. Como exemplo, um destes fatores está relacionado as atividades utilizadas para a limpeza da região que receberia as instalações, retirando as plantas existentes na área e a utilização de máquinas pesadas, as quais podem deixar o solo fragilizado, propenso a fortes mudanças climáticas, provocando erosões e causando a perturbação do equilíbrio biológico local, o que normalmente já ocorre em regiões com fortes recursos eólicos.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, duas instalações utilizadas para geração de energia eólica, cujos impactos das instalações foram estudados por Dos Santos (2017), sendo elas: o complexo eólico do Agreste do Rio Grande do Norte e o complexo eólico localizado na região litorânea do Ceará, no município de Trairí. No primeiro caso, a localização se dá entre os municípios de João Câmara e Parazinho, estando 75 km distante de Natal, capital do estado, enquanto, o segundo local, é localizado a 124 km de Fortaleza, capital do estado do Ceará (DOS SANTOS, 2017). A Figura 8 apresenta a localização dos complexos eólicos citados anteriormente.

Figura 8 – Localização dos complexos eólicos de João Câmara, Parazinho e Trairí



Fonte: Adaptado de Dos Santos (2017).

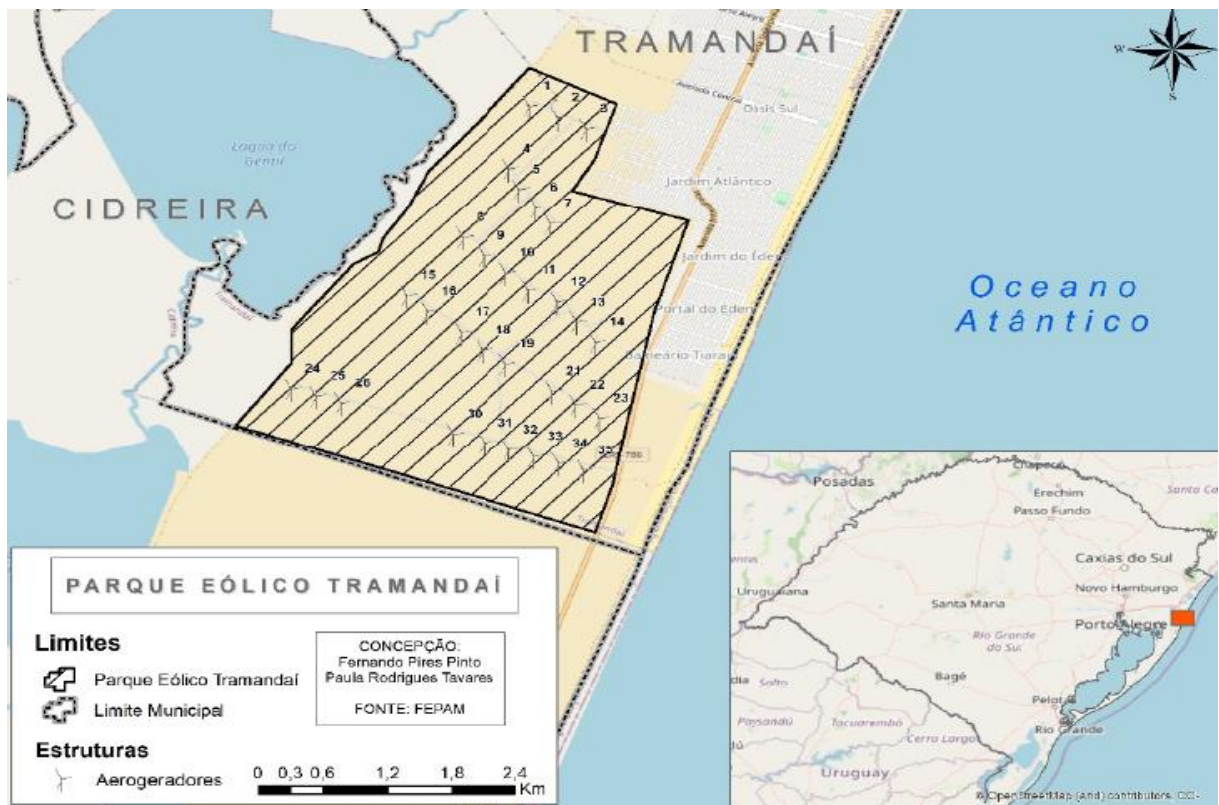
No complexo eólico do Agreste do Rio Grande do Norte, a água é o principal agente intempérico, provocando erosões de origem pluvial, e, além disso, na região do complexo onde, segundo a referência, a altura ultrapassa 90 metros, os processos erosivos se mostraram maiores com relação às áreas com um relevo menor (DOS SANTOS, 2017). Como consequência desses processos erosivos, ocorreu a formação de sulcos e de ravinas, presentes na maior parte dos locais com uma topografia distinta (DOS SANTOS, 2017). Porém, ainda foi constatado que a forma dos acessos e a estabilização dos taludes ajudam no aumento da velocidade da água oriunda de chuvas, já que, a falta de uma compactação e abaulamento de vias de boa qualidade promove a formação destes sulcos e ravinas (DOS SANTOS, 2017).

No complexo eólico localizado em Trairí, os ventos são caracterizados como o principal agente intempérico, o que provoca erosões de origem eólica, além de que a variação topográfica é expressiva, com grandes parcelas de solos expostos (DOS SANTOS, 2017). Neste caso, as principais consequências se referem a movimentação de sedimentos arenosos, resultando na sobreposição das áreas das plataformas dos aerogeradores e das vias de acesso a eles, o que é verificado com frequência na área do parque eólico, uma vez que sua topografia possui grandes

diferenças (DOS SANTOS, 2017). Além disso, semelhante ao que se foi verificado no complexo eólico do Agreste do Rio Grande do Norte, a forma dos acessos e a estabilização dos taludes ajudam no incremento sedimentar, pois, se estes não forem bem executados, não suportam os sedimentos que se alojam com os processos erosivos causado pelos ventos (DOS SANTOS, 2017).

Em outro caso, Tavares *et al.* (2021) estudaram os impactos referentes ao Parque Eólico Tramandaí, que deu início a suas atividades em 2011 e está localizado no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, conforme apresentado na Figura 9. Neste estudo, foi verificado que durante o período estudado, nos anos de 2005, 2011 e 2018, houve um aumento da presença de moradias no entorno do empreendimento, que muitas vezes ocorrem devido a sensação de segurança propiciada pela infraestrutura das estruturas, o que, por sua vez, aliada a diminuição do habitat natural de algumas espécies, pode ter afetado a diversidade do local, pois o afastamento de lugares com aumento da urbanização, mostra que a avifauna tende a evitar estas áreas.

Figura 9 – Localização do parque eólico de Tramandaí



Fonte: Adaptado de Tavares *et al.* (2021 apud TAVARES, 2020).

3.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Neste trabalho, foi prototipado um sistema de aquisição de dados com o intuito de mensurar grandezas presentes em um sistema de geração de energia eólica. Para isto, um modelo educativo deste sistema, foi utilizado como prova de conceito. Em adição, para analisar e discutir os valores obtidos, foi necessário o desenvolvimento e manutenção de um banco de dados.

Para se construir um sistema de monitoramento, quando a complexidade do projeto permite, é necessário um microcontrolador, por conta de seu tamanho reduzido e por possuir todos os componentes internos que propiciam um funcionamento autônomo, (MARCHESAN, 2012). Um dos microcontroladores mais populares, e que, inclusive é o modelo escolhido para ser utilizado neste trabalho, devido a ser *open source* e de baixo custo, consiste na plataforma Arduino, que é baseada em *hardware* e *software* que podem ser utilizados facilmente, e é destinada a projetos interativos com diferentes aplicações (ARDUINO, 2018).

Um sistema de monitoramento, cujo âmbito consiste em um circuito de geração de energia elétrica, tem por objetivo principal monitorar e controlar a produção de energia elétrica em uma usina de geração de energia ou em um sistema de geração de energia distribuída, como painéis solares ou turbinas eólicas. Normalmente, estes sistemas utilizam de sensores, responsáveis pela medição dos valores, e envio destes a um banco de dados, que consiste em um conjunto de informações, organizadas e que possam ser facilmente acessadas, gerenciadas e/ou atualizadas.

Segundo Manovich (2015), um banco de dados, é capaz de representar o mundo como uma lista de itens e que se recusa a ordenar essa lista. Desta forma, a organização e o manuseio destes dados podem ser realizados por meio de tabelas, de forma que, com o conjunto de informações relacionadas, é possível analisar uma quantidade de dados maior, podendo criar, a partir destes valores, relatórios e outras formas de análises, que simplifiquem a tomada de decisões.

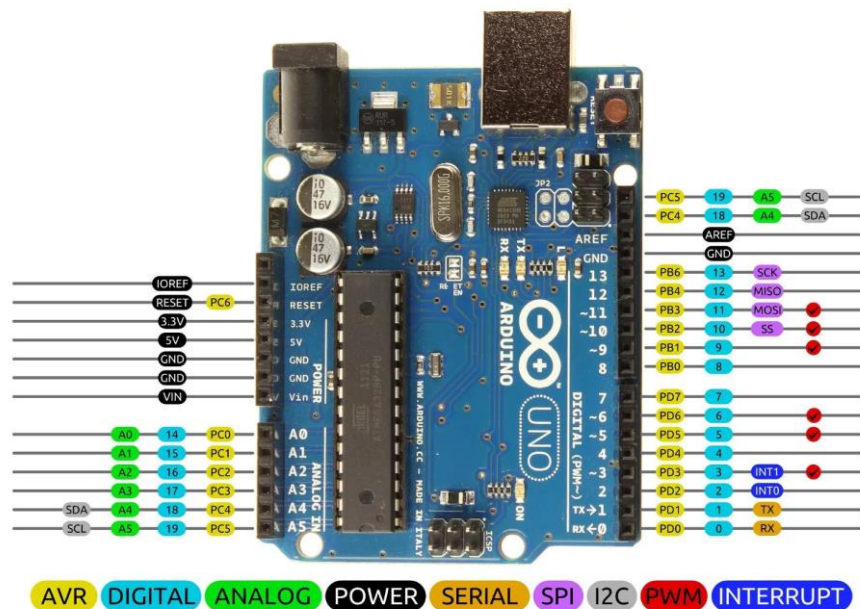
3.2.1. O Sistema – Modelagem e Prototipação

Para o sistema de aquisição de dados, foi utilizado como base Bonfim (2020), sendo que neste, foi efetuado um circuito tendo o microcontrolador Arduino Uno R3

como elemento principal, utilizando-o em conjunto de um Sensor Detector de Tensão DC de 0V a 25V e de um Sensor de Corrente ACS712 -30A a +30A para mensurar os valores desejados. Simultaneamente às medidas realizadas, a plataforma Arduino envia tais dados, apresentando-os em um *display* LCD 16x2 com conexão I2C e *backlight* azul. As conexões entre os dispositivos foram realizadas em um *protoboard* de 830 pontos, através do emprego de *jumpers*.

Para a conexão dos sensores junto a plataforma e para a elaboração do código utilizado, foi adotada, inicialmente, a pinagem do Arduino Uno R3, conforme apresentado na Figura 10.

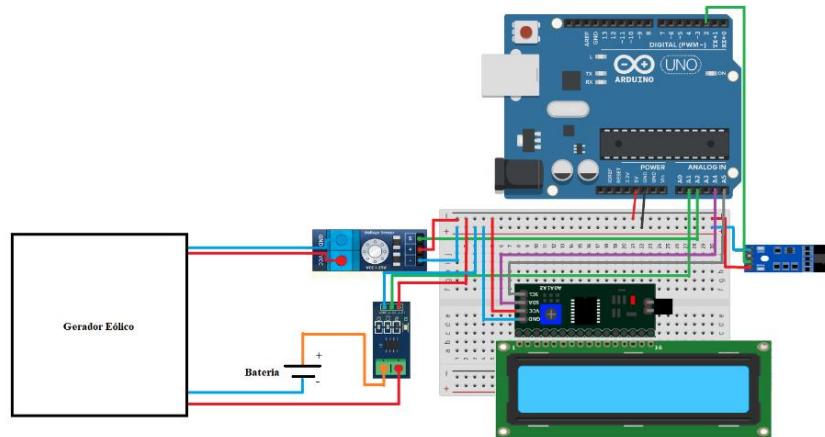
Figura 10 – Pinagem do Arduino Uno R3



Fonte: Arduino (2014).

Considerando a disposição dos pinos presentes na placa, foi efetuada a montagem do circuito, conforme a Figura 11.

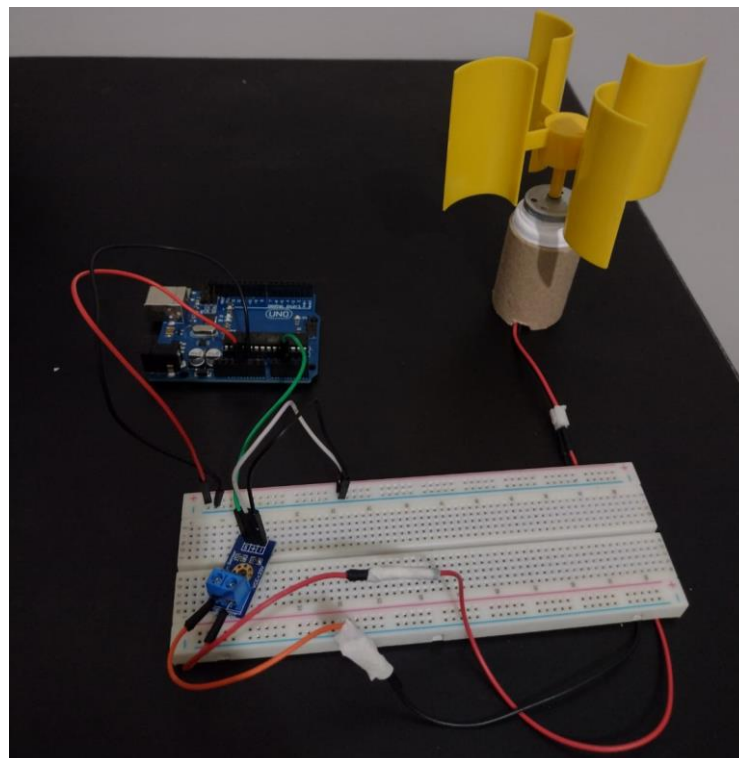
Figura 11 – Esquema do circuito com Arduino utilizado para aquisição de dados



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para que se fizesse a medição do valor de tensão com o sensor, ele é colocado em paralelo com o gerador, ou seja, há a ligação de um dos fios positivos direto na entrada VCC do sensor e a conexão de um dos fios negativos que sai do gerador direto para o GND (0V) do sensor. Para a alimentação do sensor, ele é ligado aos pinos GND e 5V do Arduino, e sua saída é ligada a entrada analógica A2. As conexões deste sensor podem ser verificadas na Figura 12.

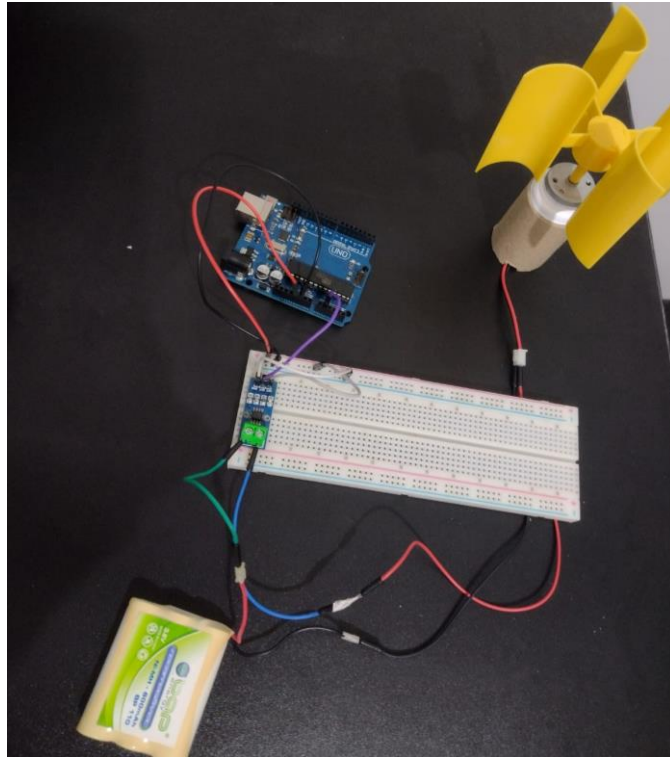
Figura 12 – Ligações utilizadas para o sensor de tensão



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para o sensor de corrente, analogamente ao caso anterior, sua alimentação é feita a partir do GND e do pino de 5V do Arduino, com sua saída conectada à entrada analógica A1. Este sensor necessita estar em série para realizar as medições, sendo assim, em um dos fios positivos que sai do gerador, o circuito é aberto e o sensor é conectado. Em seguida, a sua saída é conectada a uma das extremidades de uma bateria, enquanto, um dos fios negativos do gerador é conectado a outra extremidade. As conexões do sensor de corrente são apresentadas na Figura 13.

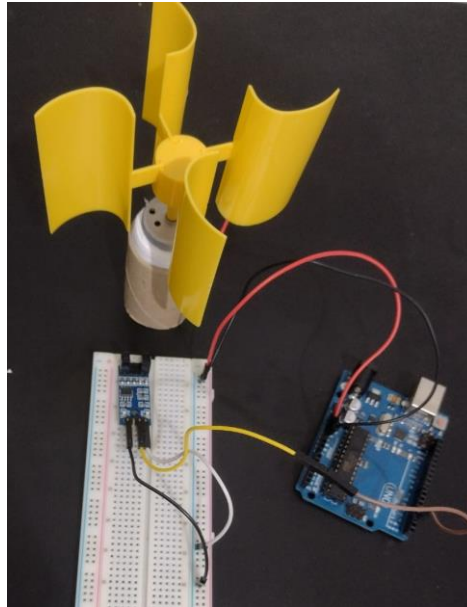
Figura 13 – Ligações utilizadas para o sensor de corrente



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O sensor de velocidade é utilizado para medir a rotação do eixo do gerador para que se possa mensurar a velocidade de rotação das hélices. A alimentação é realizada da mesma forma que os outros dois sensores supracitados, entretanto, neste caso, a saída utilizada é a digital, que é conectada a porta digital 2 do Arduino. Na Figura 14, são apresentadas as conexões do sensor de velocidade.

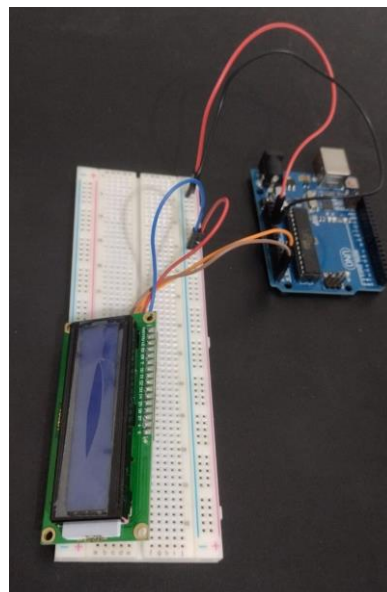
Figura 14 – Ligações utilizadas para o sensor de velocidade



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O *display* LCD, que é utilizado para apresentar os valores de tensão e corrente medidos, é conectado ao Módulo I2C, que por sua vez possibilita a comunicação do Arduino com o *display* somente com a utilização de duas linhas de dados SDA (*Serial Data*) e SCL (*Serial Clock*), conectadas aos pinos A4 e A5, respectivamente. A conexão do *display* LCD com o Arduino pode ser verificada na Figura 15.

Figura 15 – Ligações utilizadas para a conexão do *display* LCD



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para os dados apresentados no *display* LCD, a verificação dos valores obtidos para tensão e corrente foi realizada através de um multímetro ET-1002 da marca Minipa, enquanto, para o sensor de velocidade, como não se dispunha de um instrumento para uma confirmação mais precisa, houve apenas a observação se os valores medidos se encontravam dentro dos valores estimados de rotação para o modelo educativo.

3.2.2. Sistema de Interface com Banco de Dados

Para essa etapa, foi utilizado como banco de dados uma planilha salva em nuvem, a qual recebe informações de um computador conectado ao microcontrolador Arduino, cuja conexão era realizada via cabo USB. Os dados lidos pelo sistema de aquisição de dados foram importados para a planilha através do suplemento *Microsoft Data Streamer*, uma vez que os dados estavam armazenados, em complementação, foi utilizado o *software Microsoft Power BI*, para realizar a análise gráfica dos mesmos.

Na Figura 16 há uma imagem do *layout* do banco de dados utilizado.

Figura 16 – Banco de dados utilizado (*Layout* inicial)

Dados de Arduino Uno R3										
<i>Os dados provenientes da fonte de dados atual serão exibidos abaixo conforme sejam recebidos.</i>										
<u>Dados Atuais</u>										
TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
<u>Dados Históricos</u>										
TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em seguida, na Figura 17 é apresentada uma das suas atualizações, conforme obtenção dos dados.

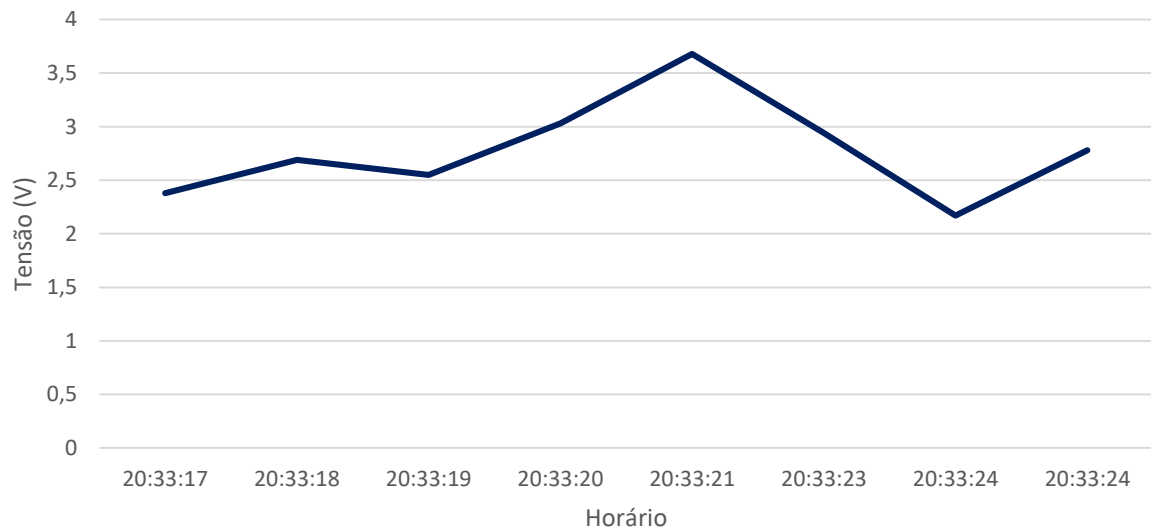
Figura 17 – Banco de dados utilizado (Atualização do banco de dados)

Dados de Arduino Uno R3										
<i>Os dados provenientes da fonte de dados atual serão exibidos abaixo conforme sejam recebidos.</i>										
Dados Atuais										
TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
20:33:23,74	Tensão: 2,78V									
Dados Históricos										
TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
20:33:23,73	Tensão: 2.17V									
20:33:22,52	Tensão: 2.94V									
20:33:21,33	Tensão: 3.68V									
20:33:20,13	Tensão: 3.03V									
20:33:18,94	Tensão: 2.55V									
20:33:17,74	Tensão: 2.69V									
20:33:16,56	Tensão: 2.38V									

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 18, os dados obtidos são apresentados de forma gráfica.

Figura 18 – Dados obtidos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado, a energia eólica é utilizada há muito tempo, porém a exploração comercial deste recurso no escopo mundial, é relativamente recente, tendo seu início com as emergentes crises advindas do fornecimento de petróleo pelos países do Oriente Médio. No caso do Brasil, esse modelo de geração em escala comercial é ainda mais recente, datando a década de 1990 como seu início, tendo como marco a instalação do primeiro aerogerador em Fernando de Noronha, em 1992.

Mesmo com aproximadamente 30 anos de existência em território nacional, o aumento da produção de energia de fontes eólicas é perceptível, podendo este ser atribuído aos investimentos e estudos realizados, além do incentivo na busca por energias renováveis, possibilitando, segundo a AIE (2021), o aumento da produção de energia eólica em 4,4% em 15 anos (2005 a 2019), no grupo em que o Brasil se encontra.

Além disso, segundo a Matriz Elétrica Brasileira, publicada pelo MME (2022) em 2021 houve um aumento de 26,7% na Energia Eólica com relação ao ano anterior, em 2020. Ainda assim, é necessário destacar que, como toda e qualquer atividade industrial, a produção de energia eólica causa danos ao ambiente onde as estruturas são instaladas, podendo estes danos afetar cidadãos próximos a região, além de espécies da fauna e flora locais mais sensíveis às mudanças oriundas da instalação, assim como, a paisagem e clima do local em questão.

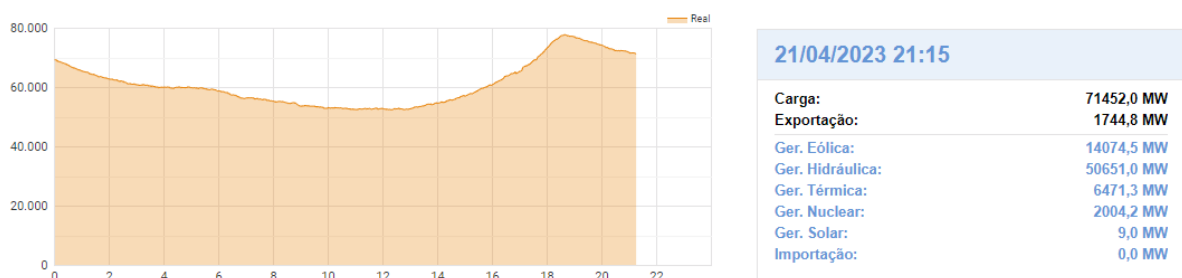
Assim como apresentado na Seção 2.2, Seção 2.3 e na Seção 3.1, os impactos em potencial, principalmente àqueles causados à fauna e à flora no entorno das instalações, não podem ser ignorados, pois, há a possibilidade de diminuição da diversidade das espécies presentes na região onde estão localizados os aerogeradores. Além disso, o clima presente próximo a região de atuação, pode ser modificado, assim como foi constatado por De Azevedo *et al.* (2017), uma vez que é possível a mudança na temperatura próxima ao solo pelas pás das estruturas, de modo a afetar plantas e animais provenientes do clima anterior. Além disso, devido ao aumento de urbanização nos arredores de parques eólicos, por conta de muitas vezes a segurança que sua infraestrutura passa, espécies de pássaros tendem a redirecionar suas rotas migratórias, de modo a evitar a interferência humana, segundo (TAVARES *et al.*, 2021).

Nos complexos eólicos de João Câmara, Parazinho e Trairí, e no parque eólico de Tramandaí, foram vistas situações diferentes, mas com o mesmo fator em comum, que é o impacto nos arredores de áreas com turbinas eólicas. No primeiro caso, foi constatada a formação de ravinas e sulcos em locais com uma topografia distinta, e, por mais que, segundo Dos Santos (2017), os aerogeradores não sejam um fator tão preocupante no sentido de aumentar os processos erosivos por conta do uso condicional de britas nos acessos ao parque, o próprio autor destaca que, a falta de uma compactação e abaulamento de vias de boa qualidade, ajudam no processo. Já em Trairí, foi verificada a movimentação de sedimentos arenosos, resultando na sobreposição de áreas das plataformas dos aerogeradores e das vias de acesso a eles, isto pode ocorrer devido a forma dos acessos e a estabilização dos taludes não ser realizada de uma maneira eficiente. Por fim, para o caso de Tramandaí, foi verificado os impactos na diversidade de espécies locais, com o aumento de movimentação humana, é verificado que a avifauna tende a evitar estas áreas.

Como comparativo, em termos de aproveitamento e impactos produzidos, pode-se citar a energia solar, que também é uma energia renovável, oriunda da utilização dos raios solares e com grande potencial em território nacional, que além de possuir maior aplicabilidade de produção em menor escala, as instalações são menos invasivas que em um modelo de geração de energia eólica.

Para viabilizar o entendimento do emprego dos modelos eólico e solar ao longo do território brasileiro, pode ser verificada a Figura 19, onde é apresentada a curva de carga em Megawatts (MW) no território nacional.

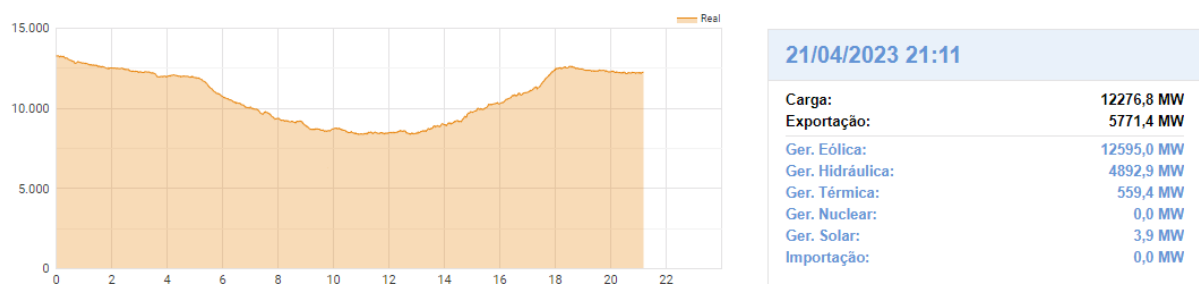
Figura 19 – Curva de carga (Território nacional)



Fonte: Ons (2023).

Com base nos dados apresentados, pode-se inferir que, quando se considera todo o território nacional, a produção de energia eólica é superior que a solar, entretanto, conforme constam nas Figuras 20 e 21, a diferença nas parcelas é relacionada a produção eólica em grande escala, por parte de parques localizados majoritariamente no nordeste brasileiro, já que no Sudeste, por exemplo, a energia solar tem vantagem, pois a incidência da velocidade dos ventos é menor. A Figura 20 apresenta a curva de carga em MW no Nordeste.

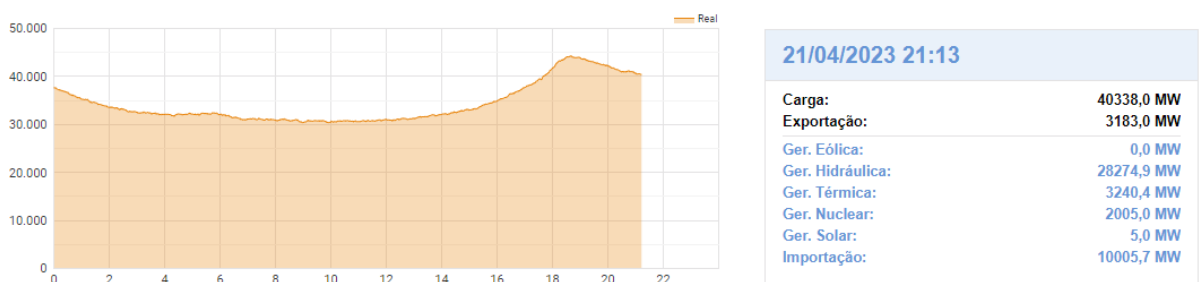
Figura 20 – Curva de carga (Nordeste)



Fonte: Ons (2023).

Já a Figura 21 apresenta a curva de carga em MW no território das regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Figura 21 – Curva de carga (Sudeste/Centro-Oeste)



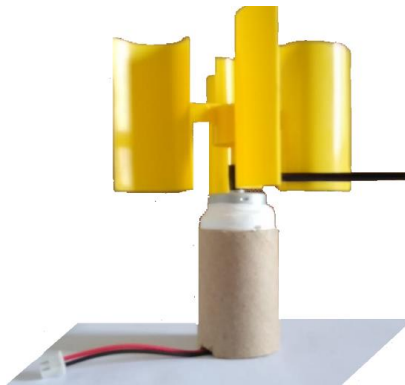
Fonte: Ons (2023).

Segundo Brandão (2022), para instalações de pequeno porte, sistemas fotovoltaicos possuem desempenho superior, pois além dos custos serem menores, a variação de energia gerada é notável, uma vez que para uma geração eólica vantajosa, seria necessário obter maior velocidade dos ventos, o que implicaria na

necessidade de projeção de uma torre de instalação maior, aumentando ainda mais os custos referentes a esse modelo.

Com relação ao sistema de aquisição de dados com Arduino, a obtenção de valores para confirmação do funcionamento do sistema de monitoramento, esta foi feita a partir da conexão do modelo educativo de gerador eólico de eixo vertical, com o circuito dos sensores conectados à plataforma Arduino, conforme a Figura 22. Assim como mencionado durante a descrição da metodologia empregada, para a tensão e a corrente geradas, foi utilizado um multímetro para confirmar a precisão das medições realizadas pelos sensores.

Figura 22 – Modelo educativo de gerador eólico



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Primeiramente foram registrados os valores de tensão medidos pelo Sensor Detector de Tensão DC e pelo multímetro. Para que houvesse uma aferição mais distinta quanto a precisão do sensor, foram realizadas cinco medidas simultâneas para cada um dos instrumentos de medição em determinado intervalo de tempo, de maneira que, a comparação é executada a partir da média dos valores. Dessa forma, verifica-se que o funcionamento deste sensor, conforme Tabela 1, ocorreu como esperado, com um erro percentual de apenas 1,75%.

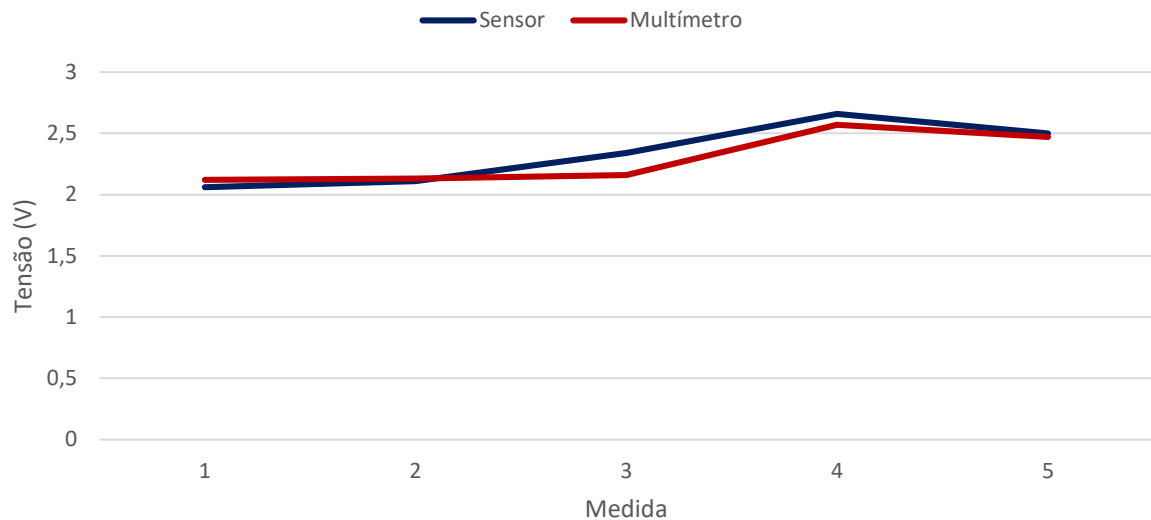
Tabela 1 – Comparação de valores medidos pelo sensor e pelo multímetro

Medida	1	2	3	4	5	\bar{V}
Sensor	2,06	2,11	2,34	2,66	2,50	2,33
Multímetro	2,12	2,13	2,16	2,57	2,47	2,29

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 23 contém a comparação dos valores obtidos pelo sensor de tensão e pelo multímetro.

Figura 23 – Comparação dos dados obtidos via sensor e via multímetro



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para o Sensor de Corrente ACS712 30A, de acordo com as especificações do fabricante fornecidas através *do datasheet* do dispositivo, há a informação que o menor valor de corrente que este sensor é capaz de medir pode ser calculado pela divisão do valor do ruído em mV pela sensibilidade do sensor em mV/A, que gera um resultado de aproximadamente 110 mA, valor este que ultrapassa a máxima corrente de saída do gerador utilizado, segundo dados de seu fornecedor (ALLEGRO, 2020). Ainda assim, para motivos de comparação foi utilizado o sensor, juntamente com o multímetro para a observação das medições. Foi registrado pelo multímetro que os valores medidos alternaram na faixa de 10 μ A a 20 mA, enquanto, o valor medido pelo sensor de corrente apresentou caracteres distintos do mesmo, não possuindo mudanças nos valores exibidos no *display* LCD.

Mediante outra análise no corpo do programa referente ao funcionamento do Sensor de Corrente ACS712 30A e segundo os resultados obtidos nos testes que confirmaram a eficiência na conversão, para apresentação no *display* LCD, do valor analógico fornecido por este sensor, pode ser inferido que é esperado que o mesmo funcione adequadamente quando utilizado em um gerador cuja produção de energia seja maior.

Para o sensor de velocidade, foi verificado que, os valores medidos para as rotações se encontravam em uma margem que variava de 0 a 100 RPM. Esses valores, de acordo com as especificações do distribuidor do gerador educativo utilizado, conferem com o esperado, entretanto, na ausência de um tacômetro ou outro instrumento de medição de velocidade de rotação não foi realizado outro teste, com maior precisão, como para os demais sensores mencionados. Porém, acredita-se que quando comparado com um instrumento que fornece uma medição mais precisa, os resultados apresentados pelo sensor se mostrarão de acordo com o estimado.

Ao final dos testes, é esperado que o sistema de monitoramento realizado na plataforma Arduino Uno R3, ao ser empregado em um gerador eólico que produza uma quantidade maior de energia, funcionando a velocidades menos mutáveis, uma vez que, o modelo educativo é tido como instável à pequenas mudanças na velocidade de vento que lhe é fornecido, possua uma performance superior àquela observada, com todos os dispositivos operando corretamente.

5 CONCLUSÕES

Conforme foi verificado, a legislação referente a parques eólicos no Brasil é ampla, dando ênfase, neste trabalho, às licenças ambientais necessárias para o licenciamento da instalação e funcionamento de atividades modificadoras do meio ambiente, sendo elas: a Licença Prévia, a Licença de Instalação e a Licença de Operação.

Como estudado nos casos dos complexos eólicos de João Câmara, Parazinho e Trairí, e no parque eólico de Tramandaí, impactos na vegetação e espécies locais podem ser observados, com destaque para os processos erosivos e a diminuição da diversidade de espécies próximas à área utilizada para o funcionamento das estruturas. Conforme foi verificado, além da ênfase de estudos novos e mais aprofundados sobre o assunto, alternativas vêm sendo estudadas e sugeridas para que os impactos sejam mitigados, de modo que, a geração de energia eólica possa suprir a necessidade energética demandada sem que populações acabem sofrendo com as estruturas de parques eólicos. Uma das possibilidades, é o investimento e estudo em outras energias renováveis, cujos impactos são menores, de forma a se utilizar um sistema híbrido e mais eficiente.

Além disso, sendo considerado como um dos fatores com maior impacto negativo no meio ambiente, como a problemática do destino das pás de aerogeradores, que até o momento não possui uma proposta amadurecida e concreta, a deposição dessas estruturas deve ser estudada, uma vez que é necessário buscar meios de se mitigar impactos da energia eólica, para que a sua utilização seja viável tanto nos âmbitos financeiro, ambiental e tecnológico.

Como prova de conceito, foi realizado um sistema de monitoramento, o qual a aquisição de dados ocorre através da plataforma Arduino Uno R3, que foi escolhida devido a ser um modelo *open source*, e, em conjunto com um sensor de corrente, um sensor de tensão, um sensor de velocidade e um *display* LCD, foram utilizados para realizar medidas das grandezas fornecidas por modelo educativo de gerador eólico, de forma a se averiguar os valores e se comparar com aqueles registrados pelo sistema utilizado, podendo confirmar que o funcionamento estava dentro do esperado, com pequenas variações decorrentes da exatidão dos sensores.

Para ser utilizado em conjunto com o sistema baseado na plataforma Arduino, foi desenvolvido um banco de dados, que recebe as informações através do

Microsoft Data Streamer, como este banco de dados é mantido em nuvem, ele pode ser acessado remotamente para análises pertinentes, como estudos de geração de energia de acordo com o modelo de gerador utilizado.

5.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros, destacam-se:

- A montagem de um gerador eólico (ou mesmo outra fonte para a geração de energia) no qual o sistema de aquisição de dados possa ser utilizado, de forma a usar os valores acumulados no banco de dados para verificar a eficiência do gerador.
- Comparação com outros sistemas de geração de energia de fontes renováveis, verificando impactos que estes podem causar.
- Métodos de descarte de pás de aerogeradores, o qual foi destacado como um dos principais impactos do modelo de geração eólica.
- Avaliar o custo ambiental de geração quando comparado com fontes térmicas.

REFERÊNCIAS

AIE. **Key World Energy Statistics**, 2021. 81 p.

ALLEGRO. **ACS712: Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**. Manchester: Datasheet, 2020. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf/570845/AllegroMicroSystems/ACS712/1>. Acesso em: 23 abr. 2023.

ARDUINO. **ARDUINO Uno R3 Pinout**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 19 jan. 2023.

ARDUINO. **What is Arduino?** [S. l.], 5 fev. 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BEAUSON, J. *et al.* **The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 155, p. 111847, 2022.

BEAUSON, J.; BRØNDSTED, P. **Wind turbine blades: an end of life perspective**. *MARE-WINT: New Materials and Reliability in Offshore Wind Turbine Technology*, p. 421-432, 2016.

BONFIM, C. S. **Desenvolvimento de aplicações didáticas em kits robóticos Arduino**. [S. l.: s. n.], 2020.

BRANDÃO, J. H. C. **Estudo comparativo de desempenho entre usinas solar e eólica para sistemas de microgeração distribuída de pequeno porte**. 2022.

CAMPOS, M. O. **Estudo comparativo de pás para aerogeradores de grande porte fabricadas em materiais compósitos reforçadas com fibra de carbono ou fibra de vidro**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CERQUEIRA, J.; SILVA, F. S. **Impactos da crise do petróleo na economia brasileira**. 2017.

CINTRA, J. L.; MACHADO, T. C. **Elaboração de uma atividade didática para compreensão do funcionamento de aerogeradores**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1997**. [S. l.], 19 dez. 1997. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237. Acesso em: 16 abr. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 462, DE 24 DE JULHO DE 2014**. [S. l.], 24 jul. 2014. Disponível em: <https://sudema.pb.gov.br/servicos/servicos-ao-publico/legislacao-ambienta/caeia/resolucao-conama-462-2014-energia-eolica.pdf/view>. Acesso em: 16 abr. 2023.

CRESESB. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>. Acesso em: 15 jan. 2023.

CUNHA, E. A. A. *et al.* **Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 8, n. 4, 2019.

DALOSTO, J. A. *et al.* **ESTRADAS VICINAIS DE TERRA: ESTUDO TÉCNICO DA RODOVIA MT-336**. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, [S. l.], v. 13, n. 23, 2016. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1329>. Acesso em: 26 jul. 2023.

DE AZEVEDO, J. P. M. *et al.* **Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo de revisão**. Revista Uningá, v. 51, n. 1, 2017.

DE OLIVEIRA, A. P. M. *et al.* **Análise técnica e econômica de fontes de energia renováveis.** The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 4, n. 1, p. 0163-0169, 2018.

DOS SANTOS, W. A. A. **Atuação, monitoramento e análise de processos erosivos no âmbito de parques eólicos: estudo de caso nas regiões litorânea e agreste do Nordeste brasileiro.** Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, p. 133-142, 2017.

DYMINSKI, A. S. **Noções de estabilidade de taludes e contenções.** Universidade Federal do Paraná, Notas de Aula, Estabilidade de Taludes. 28p, p. 61, 2007.

FREIRE, P. **Pedagogia da Esperança.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.

GIPE, P. **Wind Energy Comes of Age,** John Wiley & Sons, Inc., USA, New York, 1995.

GOLDEMBERG, J. **Energia e Sustentabilidade.** Revista de Cultura e Extensão USP, v. 14, p. 33-43, 2015.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos.** Brasil Japão. Trabalhos, p. 189-205, 2005.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **FUTURE OF WIND - Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects.** 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2019/oct/irena_future_of_wind_2019.pdf.

JABER, S. **Environmental impacts of wind energy.** Journal of Clean Energy Technologies, v. 1, n. 3, p. 251-254, 2013.

LARSEN, K. **Recycling wind.** Reinforced plastics, v. 53, n. 1, p. 20-25, 2009.

MAGALHÃES, L. C. A. **Energia hidrelétrica**. Revista de Administração Pública, 1978.

MANOVICH, L. **Banco de dados**. Revista ECO-Pós, v. 18, n. 1, p. 7-26, 2015.

MARCHESAN, M. **Sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma arduino**. Santa Maria, p. 17-19, 2012.

MME. **Resenha Energética Brasileira 2022**. [S. l.], 23 ago. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/resenha-energetica-2022.pdf/view>. Acesso em: 15 jan. 2023.

ONS. **ENERGIA AGORA: Carga e Geração**. [S. l.], 21 abr. 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao#>. Acesso em: 21 abr. 2023.

OLIVEIRA, R. **Parque eólico no Rio Grande do Norte**. 2019. Fotografia. Disponível em: https://clickpetroleoegas.com.br/parque-eolico-no-rio-grande-do-norte-em-fase-final-de-comissionamento/#google_vignette. Acesso em: 16 jul. 2023

ORTH, C. M. *et al.* **Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da indústria automobilística**. Revista Produção Online, v. 12, n. 2, p. 537-556, 2012.

PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos**. Conjuntura e Planejamento, v. 149, p. 4-11, 2006.

PIOVESAN, M. *et al.* **Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 2112-2121, 2013.

RUI, A. M., BARROS, M. A. S. **Monitoramento da fauna de quirópteros do Aproveitamento Eólico Integral de Osório (fase operação), Osório (RS), 2006.**

SANTOS, R. S.; BARBOSA, J. J. **Template para produção de trabalhos acadêmicos na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Unesp.** Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Biblioteca, 2021. 40 p.

SERNA, H. **Wind Turbine - Educational model.** 2022. Desenho técnico. Disponível em: <https://grabcad.com/library/wind-turbine-educational-model-1>. Acesso em: 16 jul. 2023

SILVA, L. R. J. R. *et al.* **Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais.** In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. 2018.

SOUZA, W. L. V. B. **A administração pública no contexto da produção de energia eólica no Brasil: implantação, ampliação e investimento.** 2020. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração Pública) - Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2020.

STAUT, F. **O Processo de implantação de parques eólicos no nordeste brasileiro.** 2016.

TAVARES, P. R. **Impactos ambientais na avifauna associados às transformações da paisagem no Parque Eólico Tramandaí-Rio Grande do Sul.** 2020.

TAVARES, P. R. *et al.* **Impactos ambientais na avifauna associados às transformações da paisagem no Parque Eólico Tramandaí.** Paisagem: leituras, significados, transformações: Volume II. Cap. 2, p. 46-61., 2021.

TOLMASQUIM, M. T. *et al.* **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil.** Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2004.

TRINDADE, T. V. **Descarte de pás dos aerogeradores: uma análise comunicacional**. 2022. Tese de Doutorado.

WANG, C.; PRINN, R. G. **Potential climatic impacts and reliability of very large-scale Wind farms**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 10, n. 4, p. 2053-2061, 2010.

ZHOU, L. *et al.* **Impacts of wind farms on land surface temperature**. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 7, p. 539-543, 2012.

APÊNDICE A – Código Utilizado na Plataforma Arduino Uno R3

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define SensorTensao A2//pino do sensor de tensão
#define SensorCorrente A1//pino do sensor de corrente
#define SensorVelocidade 2//pino do arduino ligado ao pino D0 do sensor de
velocidade

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);//definição do endereço, número de colunas e
número de linhas do display

int amostragem = 1000; // variavel para realizar a média

int ValorSensorTensao;// variavel para receber o valor lido pelo pino analógico
float ValorTensao = 0;//variavel que recebe o valor de entrada do sensor
float SomaTensao = 0 ;//variavel para soma das médias
float TensaoFinal = 0;//variavel que recebe o valor final em Volts
float R1 = 30000.0;//valor do resistor 1 do divisor de tensão do sensor de tensão
float R2 = 7500.0;//valor do resistor 2 do divisor de tensão do sensor de tensão

int ValorSensorCorrente;// variavel para receber o valor lido pelo pino analógico
float ValorCorrente = 0;//variavel que recebe o valor de entrada do sensor em Volts
float SomaCorrente = 0;//variavel para soma das médias
float CorrenteFinal = 0;//variavel que recebe o valor final em Amperes

volatile byte NumeroDeVoltas = 0;//variavel que recebera o número de voltas
realizado pela polia conectada ao gerador
int RPM = 0;//variavel que irá conter o valor do RPM do gerador
unsigned long BaseTempo = 0;//variavel para base de tempo
unsigned int ppv = 1;

void voltas(){

```

```

NumeroDeVoltas = NumeroDeVoltas + 1;

}

void setup() {

  lcd.init();//inicializa o display
  lcd.backlight();//liga a luz de fundo do display
  Serial.begin(9600);//inicia a comunicação serial com o monitor serial
  pinMode(SensorTensao, INPUT);
  //pinMode(SensorCorrente, INPUT);
  pinMode(SensorVelocidade, INPUT);
  attachInterrupt(0,voltas,RISING);//a cada borda de subida na interrupção 0 (quando
o sinal do sensor de velocidade passar de 0 para 1) o contador voltas é acionado
somando 1 ao valor anterior

}

void loop() {

  SomaTensao = 0;//para evitar erros o valor da soma é zerado
  //SomaCorrente = 0;//para evitar erros o valor da soma é zerado

  for(int i = 0; i < amostragem; i++){//repetição para gerar uma precisão melhor no
valor medido de tensão e corrente

    ValorSensorTensao = analogRead(SensorTensao);//a variavel recebe o valor lido
pelo sensor que varia de 0 a 1023
    ValorTensao = (ValorSensorTensao*5.0)/1023;//variavel recebe o valor definido
anteriormente multiplicado pela resolução do sensor para microcontroladores de 10
bits
    SomaTensao = SomaTensao + (ValorTensao/(R2/(R1+R2)));//variavel acumula o
valor da tensão DC recebido pelo sensor durante as 1000 repetições

```

```
ValorSensorCorrente = analogRead(SensorCorrente);//a variavel recebe o valor lido pelo sensor que varia de 0 a 1023
```

```
ValorCorrente = (ValorSensorCorrente*5.0)/1023;//variavel recebe o valor definido anteriormente multiplicado pela resolução do sensor para microcontroladores de 10 bits
```

```
SomaCorrente = SomaCorrente + ((ValorCorrente - 2.5)/0.066);//variavel acumula o valor da corrente DC recebido pelo sensor durante as 1000 repetições
```

```
delay(1);
```

```
}
```

```
TensaoFinal = (SomaTensao/amostragem);//calcula a média dos valores para tensão
```

```
CorrenteFinal = (SomaCorrente/amostragem);//calcula a média dos valores para corrente
```

```
if(millis() - BaseTempo >= amostragem){//calcula o número de voltas dada pela polia do motor a cada segundo
```

```
detachInterrupt(0);
```

```
RPM = ((60*amostragem)/ppv)*NumeroDeVoltas/(millis() - BaseTempo);//o número de voltas em um segundo é multiplicado em 60 para se calcular o RPM
```

```
BaseTempo = millis();
```

```
NumeroDeVoltas = 0;
```

```
}
```

```
//escreve na serial
```

```
Serial.print("Tensão: ");
```

```
Serial.print(TensaoFinal);
```

```
Serial.println("V");
```

```
Serial.print("Corrente: ");
```

```
Serial.print(CorrenteFinal);
```

```
Serial.println("A");
```

```
Serial.print("RPM: ");  
Serial.println(RPM);  
  
//escreve no display  
  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print(TensaoFinal);  
lcd.print("V");  
lcd.setCursor(7,0);  
lcd.print(CorrenteFinal);  
lcd.print("A");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("RPM: ");  
lcd.print(RPM);  
  
attachInterrupt(0,voltas,RISING);//reabilita o contador de voltas  
}
```