



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Renan Seffrin Maia

**Desenvolvimento de ferramenta aplicada à análise do gerenciamento de resíduos sólidos
em usinas de geração de energia eólica**

Florianópolis

2023

Renan Seffrin Maia

Desenvolvimento de ferramenta aplicada à análise do gerenciamento de resíduos sólidos em usinas de geração de energia eólica

Trabalho Conclusão do Curso submetido ao curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientador: Prof. Marcelo Seleme Matias, Dr.

Florianópolis

2023

Maia, Renan Seffrin

Desenvolvimento de ferramenta aplicada à análise do gerenciamento de resíduos sólidos em usinas de geração de energia eólica / Renan Seffrin Maia ; orientador, Marcelo Seleme Matias, 2023.

76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis,
2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Resíduos Sólidos.
3. Energia Eólica. 4. Análise de dados. I. Matias, Marcelo
Seleme. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Renan Seffrin Maia

Desenvolvimento de ferramenta aplicada à análise do gerenciamento de resíduos sólidos em usinas de geração de energia eólica

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 03 de Julho de 2023

Prof.^a Maria Elisa Magri, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Marcelo Seleme Matias, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Leticia Gelbcke Schott, Eng^a
Avaliadora
Statkraft Energias Renováveis

Florianópolis, 2023

Dedico este trabalho a todos que o fizeram possível.

AGRADECIMENTOS

Sempre imaginei que a jornada na universidade se resumiria a um período em que minhas conquistas iriam se restringir a aspectos profissionais. Hoje, ao alcançar o fim do ciclo da graduação vejo que estava enganado. Ao longo dos meus anos na Universidade Federal de Santa Catarina, amadureci como ser humano, fortifiquei relações e conheci pessoas que fizeram a jornada valer a pena. Dia após dia, prova após prova, superação após superação, finalmente entendi que meu período como universitário veio para me mostrar que as grandes conquistas da vida, só se tornam grandes por estarmos ao lado das pessoas que admiramos e amamos. É a essas pessoas que dedico os parágrafos a seguir.

Obrigado Pai, por todas as conversas até tarde da noite, onde navegamos em um mar de infinitas hipóteses sobre o que o futuro poderia me trazer. Desde os tempos difíceis de Curitiba até as horas de comemoração juntos pela aprovação nas provas de cálculo. Além de inspiração, você sempre foi a pessoa que me fez ver sentido em cada disciplina que cursei, fazendo com que as coisas se tornassem mais leves e até divertidas. Hoje, ao entregar este trabalho, começo uma jornada para que um dia eu possa ser em parte o ser humano que você é. A minha Mãe, que sempre foi meu pilar de amor, força e exemplo de dedicação em todos os aspectos da vida. Obrigado por me apoiar incondicionalmente e acreditar em minhas ideias e sonhos, até mesmo nos dias em que eu não acreditava. Vi você se formar em 2020, e com certeza aquele dia me inspirou ainda mais para que hoje eu possa alcançar tal feito. A meu irmão, que desde criança me ensinou muito sobre foco, organização, trabalho duro e disciplina. Conviver contigo durante parte da minha graduação me motivou a ser um ser humano melhor, em breve brindaremos a sua formatura. Vó querida, suas orações me deram forças para encarar os dias difíceis e desfrutar os dias bons, muito obrigado.

A todas as amigas que cultivei ao longo desses anos, agradeço profundamente por fazerem do processo divertido, leve e feliz. Florianópolis se tornou minha casa e devo a isso a todos vocês, por me abraçarem e estarem ao meu lado durante todo esse ciclo. Saibam que podem contar comigo sempre.

Não poderia deixar de agradecer a todos que contribuíram ao meu desenvolvimento profissional. Professores e líderes, vocês guiaram a minha formação com maestria e cuidado. Sem vocês nada seria possível. A meus supervisores de estágio, André e Leticia, saibam que sempre os terei como exemplo, sou imensamente grato por todos os ensinamentos que nossos anos juntos me proporcionaram.

Família, colegas de profissão e amigos. Ao chegar no fim da minha graduação, vejo que as relações são conquistas tão importantes quanto o diploma e talvez seja essa o principal ensinamento que levo para as próximas etapas da minha vida. Repito: conquistas só se tornam grandes por estarmos ao lado das pessoas que admiramos e amamos.

RESUMO

O aumento da participação da energia eólica na matriz energética brasileira demonstra uma tendência de transição para fontes renováveis de energia. Entretanto, apesar dos aspectos positivos dessa fonte, a questão ambiental relacionada à geração de resíduos sólidos na operação de parques eólicos requer cuidados, pois pode gerar impactos indesejáveis. Nesse contexto, a análise dos dados de pesagem, decorrentes do processo de gerenciamento de resíduos sólidos, torna-se um elemento estratégico para uma gestão eficiente. O objetivo deste estudo foi desenvolver e aplicar uma ferramenta direcionada à análise do gerenciamento de resíduos sólidos em usinas de energia eólica. Para isso, foi necessário analisar os processos que contribuem para a geração de resíduos em ativos eólicos, realizar uma análise quantitativa e caracterizar os resíduos produzidos. Além disso, desenvolveu-se um aplicativo para o registro de dados de pesagem, assim como um painel de controle (dashboard) em Power BI para a análise de dados e gestão. O estudo adotou a natureza descritiva e aplicada, usando como base um complexo de geração de energia eólica em funcionamento localizado em Seabra, Bahia. A metodologia envolveu uma revisão bibliográfica, pesquisa de campo, mapeamento de processos, desenvolvimento de um banco de dados, além do desenvolvimento de um aplicativo e de um painel de controle interativo. Os dados analisados compreenderam o período entre janeiro de 2021 e março de 2023. Como resultado do estudo, construiu-se uma plataforma integrada para o registro, processamento e análise de dados. Por meio do painel de controle, identificou-se que as atividades de manutenção dos aerogeradores influenciam fortemente a geração de resíduos do parque estudado, sendo que a maior parte desses resíduos é classificada como perigosa. Adicionalmente, com base nos resultados, propôs-se um indicador que relaciona a massa de resíduos gerada no empreendimento com o número de aerogeradores no local, tornando possível a comparação com outros ativos.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Energia Eólica. Análise de dados.

ABSTRACT

The increase in the share of wind energy in the Brazilian energy matrix demonstrates a trend towards transition to renewable energy sources. However, despite the positive aspects of this source, the environmental issue related to the generation of solid waste in the operation of wind farms requires care, because it can generate undesirable impacts. In this context, the analysis of weighing data, resulting from the solid waste management process, becomes a strategic element for an efficient management. The objective of this study was to develop and apply a tool directed to the analysis of solid waste management in wind power plants. To do this, it was necessary to analyze the processes that contribute to the generation of waste in wind power assets, perform a quantitative analysis, and characterize the waste produced. In addition, an application was developed to record weighing data, as well as a Power BI dashboard for data analysis and management. The study adopted a descriptive and applied nature, using as base an operating wind power generation complex located in Seabra, Bahia. The methodology involved a literature review, field research, process mapping, database development, and development of an application and an interactive dashboard. The data analyzed comprised the period between January 2021 and March 2023. As a result of the study, an integrated platform for data recording, processing, and analysis was built. Through the dashboard, it was identified that the maintenance activities of the wind turbines strongly influence the waste generation of the studied park, and most of this waste is classified as hazardous. Additionally, based on the results, an indicator was proposed that relates the mass of waste generated in the enterprise with the number of wind turbines on site, making it possible to compare with other assets.

Keywords: Solid waste. Wind power. Data analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de um aerogerador.....	20
Figura 2 – Subestação.....	23
Figura 3 – Fluxograma de classificação de resíduos	26
Figura 4 – Local de estudo	34
Figura 5 Mapa de localização de Seabra/BA	34
Figura 6 – Fluxograma de desenvolvimento dos resultados.....	36
Figura 7 – Mapa de localização do empreendimento	37
Figura 8 – Mapa de biomas	38
Figura 9 – Hidrografia da região	39
Figura 10 – Fluxograma do gerenciamento de resíduos.....	40
Figura 11 – Colunas estipuladas para a base de dados	43
Figura 12 – Conexão do Power Apps com o banco de dados	44
Figura 13 – Criação do formulário de entrada de dados.....	44
Figura 14 Aplicação da função <i>Patch</i>	45
Figura 15 – Tela inicial do aplicativo.....	46
Figura 16 – Conexão do PowerBI com o banco de dados.....	47
Figura 17 – Seleção da tabela para conexão.....	47
Figura 18 – Fluxo de uso do Power Query	48
Figura 19 – Exemplo de modelo estrela	49
Figura 20 – Tabela dimensão classificação	49
Figura 21 – Tabela fato.....	50
Figura 22 – Modelo estrela finalizado.....	51
Figura 23 – Fluxograma de navegação do Dashboard	51
Figura 24 – Tela inicial.....	52
Figura 25 – Página geral.....	53
Figura 26 – Filtro do tipo Slicer	53
Figura 27 – Cartões de totalização	53
Figura 28 – Construção do cartão de recicláveis	54
Figura 29 – Gráficos de rosca.....	54
Figura 30 – Painel de análise de geração tipo de resíduo	55
Figura 31 – Painel de análise geração por processo	56
Figura 32 – Painel de detalhamento da análise geração por processo.....	57

Figura 33 – Painel de análise do desvio de aterro58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de resíduos grupo Enel Energia.....	29
Tabela 2 Pesos totais	59
Tabela 3 Resíduos perigosos de maior geração.....	61
Tabela 4 Total de geração de recicláveis.....	62
Tabela 5 Resíduo gerado por aerogerador.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro resumo de técnicas metodológicas	33
Quadro 2 – Classes de resíduos descritas no relatório de pesagem.....	42
Quadro 3 – Resumo das tabelas do modelo estrela	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BI	<i>Business Intelligence</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETL	<i>Extract, Transform, Load</i>
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ILZB	Instituto Lixo Zero Brasil
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MINTER	Ministério do Interior
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potência
USEPA	<i>United States Enviromental Protection Agency</i>
ZWIA	<i>Zero Waste International Alliance</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Energia eólica.....	19
2.1.1	Componentes de um aerogerador	20
2.1.2	Atividades de manutenção.....	22
2.1.3	Subestação	23
2.2	Resíduos sólidos	24
2.2.1	Conceito.....	24
2.2.2	Legislação.....	25
2.2.3	Classificação.....	25
2.2.4	Armazenamento.....	27
2.2.5	Destinação	27
2.2.6	Resíduos sólidos industriais	28
2.2.7	Geração de resíduos na operação de parques eólicos.....	29
2.3	Ferramentas de digitalização	29
2.3.1	Power Apps	30
2.3.2	Power Query.....	30
2.3.3	Power Business Intelligence.....	31
3	METODOLOGIA	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1	Diagnóstico do local de estudo.....	37
4.2	Desenvolvimento de base de dados	41
4.3	Desenvolvimento de aplicativo de entrada de dados.....	43

4.4	Tratamento de dados.....	46
4.5	Desenvolvimento do Dashboard.....	51
4.6	Análise dos dados quantitativos	58
5	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICE A – DEPOIMENTO DE UM USUÁRIO DA PLATAFORMA	76

1 INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, o debate a respeito da adoção de fontes renováveis de energia teve grande relevância no centro dos fóruns internacionais acerca do tema. Esse destaque evidenciou-se principalmente devido aos problemas ambientais consequentes da emissão de gases do efeito estufa, através da liquidação de combustíveis fósseis como um meio à geração energética (SAMPAIO; BATISTA, 2021). Diante deste contexto, a energia eólica que é a fonte energética proveniente dos ventos, surge como uma alternativa promissora no contexto energético mundial.

No Brasil os primeiros passos dessa fonte energética foram iniciados na década de 90, mais especificamente no arquipélago de Fernando de Noronha, com a instalação e início de operação do primeiro aerogerador do país no ano de 1992, segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2019). Ali foi o início de uma expansão que embora tenha começado lentamente, ganhou maior robustez no início do século XXI.

No final do ano de 2022 a energia eólica representou 12,64% da capacidade total instalada no Brasil, de acordo com dados do Sistema de Informações de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O crescimento desse percentual é um avanço muito relevante visando a transição energética do país. Até o mês de fevereiro de 2023, segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), o Brasil contava com 890 parques eólicos instalados em 12 estados.

Apesar da conotação positiva desta fonte energética, os empreendimentos eólicos esbarram constantemente em um aspecto ambiental comum a usinas de outras fontes de energia que é a geração de resíduos sólidos. Tanto na fase de construção quanto na de operação, a geração destes tipos de resíduos é um aspecto ambiental importante e que tende a corroborar para se tornar um impacto não favorável em casos em que medidas de mitigação são implantadas e o gerenciamento não é adequado.

A questão dos resíduos sólidos no Brasil tem sido amplamente discutida nos últimos anos, em razão do aumento significativo na produção no país e do consequente impacto ambiental negativo. Conforme relatório divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022) em 2022, foram produzidas cerca de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos no Brasil, das quais 29 milhões tiveram a destinação inadequada.

Diante desse viés, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), implementada em 2010, atualmente é a principal legislação voltada para a gestão de rejeitos sólidos no Brasil, e

estabelece diretrizes para a destinação correta e ambientalmente adequada do material a ser descartado. No entanto, apesar da criação da PNRS, a implementação e efetivação da política ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de investimentos em infraestrutura de coleta tratamento dos resíduos além de precária estrutura gerencial para implementação (SOUSA; COSTA; SUGAHARA, 2020).

Dado este contexto, um sistema de controle eficiente dos dados gerados a partir da geração de resíduos sólidos é uma ferramenta fundamental para o adequado gerenciamento do processo. Por meio da utilização de sistemas de informação, é possível se obter uma visão mais abrangente e detalhada sobre a geração, transporte, tratamento e destinação final de rejeitos, o que poderia levar à redução de custos e ao aumento da eficiência na gestão desses resíduos (SILVA; COSTA; SANTOS, 2018).

A análise de dados também pode auxiliar na identificação de oportunidades para a reciclagem e reutilização de resíduos, o que poderia gerar benefícios econômicos e ambientais para empresas e indústrias. De fato, o uso de tecnologias de análise de dados tem se mostrado uma ferramenta valiosa para a promoção da economia circular, que busca reduzir o desperdício de recursos e estimular a reciclagem e a reutilização de materiais (RAUT; JAIN; SHARMA, 2021).

Visando abordar a problemática do gerenciamento de resíduos em parques eólicos, o presente trabalho se propõe a apresentar um estudo de caso de um complexo eólico com 57 aerogeradores localizado no município de Seabra no estado da Bahia, com enfoque na geração de resíduos sólidos na operação e manutenção do local. A pesquisa se justifica na oportunidade de uma gestão mais eficiente dos dados gerados, sendo estes principalmente a pesagem de resíduos, a partir do mapeamento do processo de gerenciamento de resíduos sólidos do parque e do desenvolvimento de uma ferramenta integrada de entrada, tratamento e análise de dados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e aplicar uma ferramenta de gestão voltada à análise de dados da geração de resíduos sólidos na operação e manutenção de um complexo de geração de energia eólica localizado no município de Seabra/BA.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) analisar quais são os processos que contribuem para a geração de resíduos sólidos em parques eólicos;
- b) realizar análise quantitativa e caracterização dos resíduos gerados em um complexo de geração de energia eólica localizado no município de Seabra/BA;
- c) desenvolver plataforma e dashboard em Power BI de análise de dados para a gestão de resíduos sólidos gerados em parques eólicos;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A gestão de resíduos sólidos e suas ferramentas de análise de dados para apoio à decisão tem sido abordada e discutida em diferentes eixos econômicos, inclusive sobre as matrizes energéticas globais. As fontes de energias renováveis, embora apoiem na diminuição do uso de energias fósseis e na transição energética limpa, dentre elas a geração eólica, apresentam aspectos importantes a serem analisados no que se refere aos seus processos potencialmente poluidores, notoriamente os resíduos sólidos gerados em cada uma dessas etapas. Desse modo, é importante avaliar e compreender as características de uma planta de energia eólica, assim como os conceitos e a caracterização dos resíduos gerados em cada uma delas, de modo que sejam adotadas ferramentas que permitam uma visão detalhada deste processo, de forma a fornecer recursos para a tomada de decisão e melhoria.

2.1 Energia eólica

A crescente atenção à produção de eletricidade a partir de fontes renováveis tem se intensificado nos últimos anos, impulsionada principalmente pelos problemas ambientais decorrentes das emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima de combustíveis fósseis para geração de energia. Dentre as alternativas sustentáveis, a energia eólica vem ganhando destaque devido ao seu grande potencial global. No caso do Brasil, a viabilidade desse tipo de geração é bastante expressiva. Conforme indicado pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2020), o potencial eólico do país é estimado em 744,95 MW, com ênfase nas regiões norte e nordeste. Essa relevância deve-se à peculiaridade do Brasil de possuir um volume de ventos o dobro da média mundial e baixa oscilação da velocidade do vento, garantindo assim a geração consistente de eletricidade a partir de fontes eólicas (SAMPAIO; BATISTA, 2021).

De acordo com Azevedo, Nascimento e Schram (2016):

Um dos grandes assuntos discutidos amplamente no mundo todo é a questão relativa à energia: o aproveitamento desta ainda não atingiu um nível satisfatório, visto que a imensa maioria da energia utilizada no planeta é de origem não renovável, seja de fonte mineral ou atômica. (AZEVEDO; NASCIMENTO; SCHRAM, 2016, p.1)

Conforme as projeções do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil possui um enorme potencial para a produção de energia eólica. Com a utilização de tecnologias

atuais, como aerogeradores a 100 metros de altura, o potencial eólico terrestre do país pode atingir 880,5 GW, dos quais 522 GW são tecnicamente viáveis. Adicionalmente, o potencial eólico marítimo do Brasil é estimado em 1,3 TW, com a região costeira do Nordeste sendo particularmente favorável, possuindo um potencial terrestre de 309 GW (PEREIRA, 2016).

A introdução significativa da energia eólica no Brasil foi impulsionada pela implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa (Lei nº 10.438/2002). Este marco governamental tinha o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira, incentivando o uso de energia eólica, bem como de pequenas centrais hidrelétricas e usinas termelétricas movidas a biomassa. Conforme relatório da ABEEólica (2019), o Proinfa resultou na instalação de 52 parques eólicos no país, proporcionando uma capacidade de geração total de 1.298,6 MW (BEZERRA, 2021).

2.1.1 Componentes de um aerogerador

Os aerogeradores podem ser divididos em quatro grandes componentes: torre, hub, nacelle e pá, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Componentes de um aerogerador



Fonte: elaborado pelo autor.

Para Bekaert (2020), a escolha da altura da torre é influenciada pelo projeto do parque eólico, e tem se observado um aumento considerável na altura dessas estruturas ao longo das últimas duas décadas. Nesse cenário, as torres de concreto têm se mostrado mais vantajosas em comparação às de aço.

Considerando a importância de se evitar que uma torre eólica impeça o fluxo de vento para outra, peritos no assunto conduzem análises meticolosas para determinar o posicionamento ideal de cada torre. O terreno disponível para o parque eólico é levado em conta ao estipular a distância apropriada entre as torres. Segundo Pinto (2013), é sugerido que a distância entre as turbinas seja de 3 a 5 vezes o diâmetro do rotor lateralmente e de 5 a 7 vezes o diâmetro do rotor verticalmente. Letcher (2017) acrescenta que a separação entre as turbinas deve ser maior que 3 ou 4 vezes o diâmetro do rotor na direção perpendicular ao vento predominante e de 8 a 10 diâmetros na direção paralela ao vento. Assim, percebe-se que a distribuição apropriada das turbinas eólicas é o foco principal de um projeto específico.

Para a energia eólica em configurações convencionais, as torres que registram a velocidade e direção do vento são normalmente instaladas em áreas com máxima exposição ao vento, longe de potenciais perturbações, como construções ou vegetação. Entretanto, quando se trata de ambientes urbanos, a situação se complica. A falta de um protocolo definido para medir o vento nesses cenários torna o campo um tópico em constante investigação. (ARRIBAS, 2013).

Com relação aos tipos de torre há uma ampla dispersão, sendo atualmente utilizadas torres estaiadas e autossustentáveis, tubulares e de treliças. É prática habitual que o fabricante ofereça diferentes tipos de torres, de acordo com as características do local. O mesmo ocorre com relação à altura da torre. Assim, encontram-se casos em os que o mesmo modelo é oferecido com torres de 6 a 40 metros (ARRIBAS, 2013).

As pás são os elementos aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento. São fixadas através de flanges no cubo do rotor e podem ser fabricadas de vários materiais, com fibra de vidro reforçada com epóxi, alumínio e com fibras de carbono. De acordo com Fadigas (2011), as pás têm como função realizar conversão da energia proveniente do movimento das massas de ar, e transformá-las em energia mecânica de rotação.

Segundo Manwell et al. (2002, apud GARRÉ 2015), o *hub* ou rotor é a parte que transmite toda a potência e carga das lâminas para o eixo principal. Existem três tipos de hub: rígidos, oscilando e articulados. O hub rígido é o mais simples e mais comum em aerogeradores de pequeno porte e suporta as lâminas em posições fixas em relação ao eixo principal.

Localizado no topo da torre, o módulo conhecido como nacelle desempenha uma função fundamental na transmutação de energia mecânica em elétrica. Este componente não possui um modelo de fabricação uniforme como as torres e pás do aerogerador. O nacelle abriga equipamentos sofisticados, como a caixa de transmissão, dispositivos geradores, conversores de energia e sistemas de controle eletrônico. Paralelamente, também inclui elementos com

menor densidade tecnológica, como os transformadores, a carcaça da nacelle e componentes forjados. Essa combinação de equipamentos complexos e mais simples evidencia a sofisticação e a versatilidade do design da nacelle na produção de energia eólica. (ABDI, 2012).

2.1.2 Atividades de manutenção

As intensidades de vento variáveis a que uma turbina eólica está sujeita, influenciam o processo de degradação dos equipamentos. Assim, é necessário planejar a manutenção das turbinas de forma a minimizar os efeitos da degradação ao máximo. Além disso, o plano de manutenção deve ser determinado tendo em consideração as condições meteorológicas do local. Para garantir a segurança dos trabalhadores, as atividades de manutenção não devem ser realizadas em condições adversas, sendo mais viável efetuá-las com velocidades de vento inferiores a 5 m/s, evitando também assim perdas de produção de energia. Como é difícil que esta situação efetivamente aconteça, as intervenções devem ser planejadas visando maximizar a energia produzida e minimizar os custos. As manutenções podem ser divididas em preventivas e corretivas (CARLOS *et al.* 2013).

A manutenção preventiva, que é realizada com base em critérios estabelecidos previamente, visa minimizar a chance de falhas e assegurar que os equipamentos operem de maneira segura e eficaz. Este tipo de manutenção pode ser categorizado como sistemática, quando as intervenções são programadas para ocorrer em intervalos predefinidos, ou condicionada, quando as ações são executadas com base em recomendações técnicas. (CABRAL, 2006).

As verificações e inspeções regulares permitem avaliar a condição do equipamento através de uma análise visual e auditiva, enquanto as revisões programadas se baseiam em métodos que preveem falhas e outros danos, levando em consideração o nível de uso do equipamento. Este tipo de manutenção também engloba medidas de reparo preventivo, como a substituição de componentes desgastados, por exemplo (CABRAL, 2006).

Idealmente, a manutenção corretiva, também referida como manutenção curativa, deve servir como um complemento à manutenção preventiva. Esta abordagem de manutenção tem como objetivo restabelecer a operação segura e eficiente do equipamento. Ela é empregada para consertar falhas e outros problemas de funcionamento que ocorreram de forma inesperada, sem a possibilidade de planejar uma intervenção de manutenção preventiva condicional. (CABRAL, 2006; FERREIRA, 1998).

2.1.3 Subestação

De acordo com Minski (2018), a subestação é responsável pela coleta, transformação e transmissão da energia elétrica gerada pelos aerogeradores do parque eólico.

Segundo Carleto (2017), as subestações se definem essencialmente por um agrupamento de equipamentos interconectados projetados para gerenciar o fluxo de energia, modificar os níveis de tensão e corrente elétrica, além de prover proteção e controle ao Sistema Elétrico de Potência (SEP), como ilustrado na Figura 2. Em essência, uma subestação desempenha um papel crucial no SEP, agindo como um ponto de encontro entre as linhas de transmissão e distribuição de energia. Ainda segundo o autor, podem ser divididas em duas categorias:

- a) **industrial**: este tipo de subestação é projetado exclusivamente para usos industriais e é projetada de acordo com parâmetros específicos dadas as necessidades daquela indústria específica. As máquinas e equipamentos desta categoria utilizam tensões da ordem de 380 e 440V;
- b) **concessionária**: estas são propriedade e administradas por empresas responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica. O papel delas é abastecer áreas urbanas e rurais com tensões de 127 e 220 V.

Figura 2 – Subestação



Fonte: CGT Eletrosul (2020).

2.2 Resíduos sólidos

Neste tópico são definidos conceitos relevantes ao gerenciamento de resíduos sólidos e as legislações aplicáveis ao tema. Para tanto, se realiza uma revisão a respeito dos temas resíduos sólidos industriais e resíduos sólidos urbanos. No final, a seção gerenciamento de resíduos sólidos em parques eólicos apresenta revisão a respeito do tema, relacionando com os conceitos de energia eólica vistos no título anterior.

2.2.1 Conceito

O conceito de resíduo pode ser abordado de diversas maneiras. De maneira etimológica, o dicionário Houaiss e Salles (2001) definem que “resíduo é aquilo que resta, que remanesce; ou produto parcial e, ainda, qualquer substância que sobra de uma operação industrial e que ainda pode ser aproveitada industrialmente”.

Ao realizar uma abordagem técnica a respeito do tema, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conceitua resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004, p.1).

Já a USEPA – United States Environmental Protection Agency define o tema como:

Materiais não líquidos, não solúveis que vão desde o lixo doméstico aos dejetos industriais que contêm substâncias complexas e algumas vezes perigosas. Incluem-se nesta definição também lodos de esgotos, resíduos agrícolas, de demolição e mineração e mais os líquidos e gases em cilindros. (USEPA, 1995).

Santos (2007) aborda criticamente o fato de ambos os conceitos não mencionarem a possibilidade de reaproveitamento dos resíduos, segundo a autora essa lacuna pode culminar em um entendimento equivocado a respeito do conceito, resultando em um entendimento de que todo resíduo sólido deve ser tratado como rejeito, um material que não tem potencial de reaproveitamento.

2.2.2 Legislação

A legislação brasileira referente à gestão de resíduos sólidos é ampla e abrange diversas normas, leis e políticas públicas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2010, é uma das principais referências nesse assunto. Ela estabelece diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, desde a geração até a destinação final.

A PNRS exige a adoção de planos de gestão de resíduos sólidos por todos os municípios, além de estabelecer metas para a redução do volume de resíduos gerados e para o aumento da reciclagem e da reutilização. A lei também incentiva a criação de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis e determina a responsabilidade compartilhada entre empresas, poder público e sociedade em geral na gestão dos resíduos sólidos.

A legislação de resíduos sólidos é um assunto de grande importância na gestão ambiental, uma vez que estabelece as normas, diretrizes e responsabilidades para a gestão adequada desses resíduos. A PNRS estabelece, dentre outras coisas, a hierarquia na gestão de resíduos sólidos, que consiste na seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada.

Diante dos fatos elencados, a PNRS reitera o princípio do poluidor-pagador, introduzido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), responsável pelos fundamentos dos aspectos econômicos das políticas ambientais. Impõe às pessoas naturais ou jurídicas, regidas pelo direito público ou privado, o pagamento dos custos das medidas destinadas a eliminar a contaminação provocada ou a redução desta ao limite fixado pelos padrões que asseguram a qualidade de vida (ANTUNES, 2010).

2.2.3 Classificação

A categorização dos resíduos, de acordo com a NBR 10.004, depende da comparação dos materiais com substâncias conhecidas por seu impacto na saúde e no meio ambiente, aliada a identificação da atividade que levou a sua geração. O processo de classificação requer uma análise e avaliação de fatores prévios, como a matéria-prima utilizada, insumos e o processo responsável pela geração.

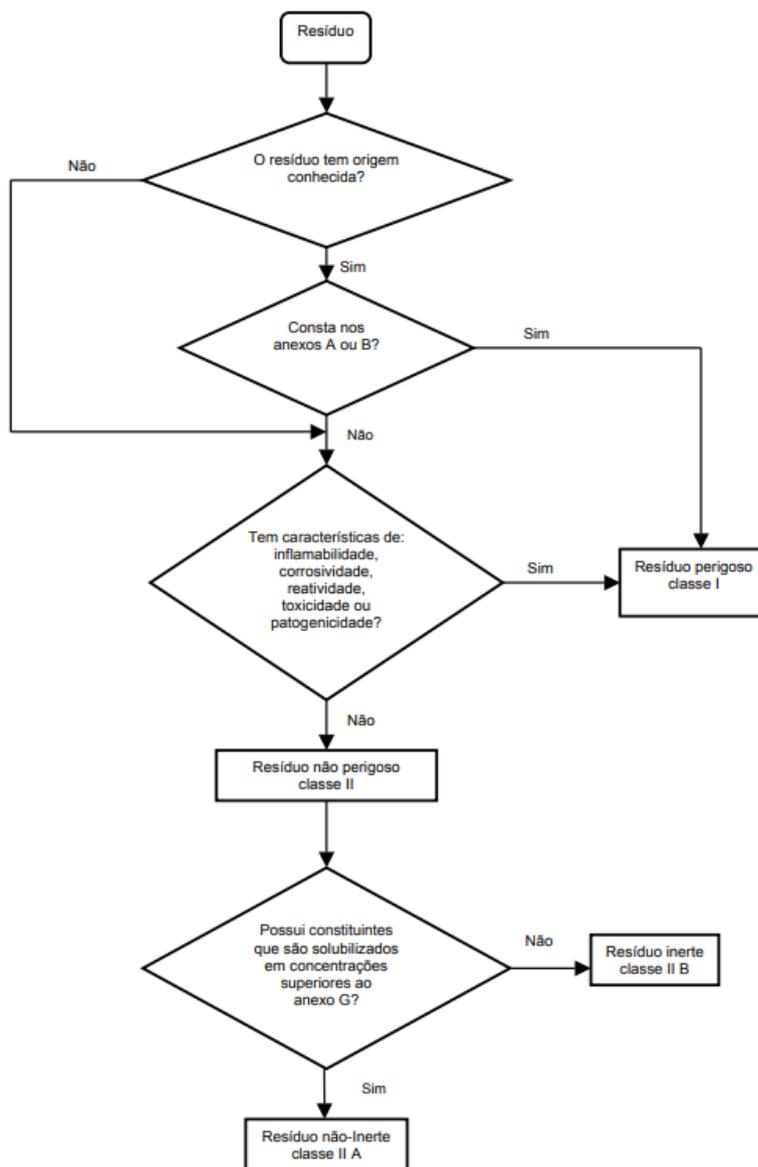
De acordo com a norma, os resíduos são classificados em:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos Classe II – Não perigosos:

- Resíduos classe II A – Não Inertes;
- Resíduos classe II B – Inertes;

Os resíduos enquadrados na classe I, perigosos, pertencem a esse grupo devido a características relacionadas ao seu potencial de reação com o meio em que estão. São elas: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os resíduos categorizados como classe II A, são definidos pela norma como aqueles que não se enquadram nas demais classificações, podendo ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água. Por fim, os classificados como II B são definidos pela falta de solubilização em água. A Figura 3 mostra o fluxo de classificação dos resíduos.

Figura 3 – Fluxograma de classificação de resíduos



Fonte: ABNT (2004).

2.2.4 Armazenamento

O armazenamento de resíduos sólidos é uma etapa importante no manejo desses materiais, e sua adequada execução pode contribuir para a prevenção de danos ao meio ambiente e à saúde pública. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é fundamental que o armazenamento seja feito de maneira segura e higiênica, em locais adequados, com medidas de segurança e proteção contra animais, insetos e intempéries (BRASIL, 2010).

A disposição dos recipientes de armazenamento deve ser realizada em locais adequados, de forma a não causar danos ao meio ambiente e à saúde pública. Segundo a PNRS, os recipientes devem ser colocados em locais cobertos, ventilados, livres de odores desagradáveis e com acesso controlado (BRASIL, 2010).

A NBR 12235/1992 ressalta que ao se tratar de resíduos perigosos, o armazenamento deve ser autorizado pelo órgão de controle ambiental, além disso, o tempo de armazenamento também é regulamentado. A autorização é dada mediante ao atendimento às condições básicas de segurança. O armazenamento deve ser feito aliado ao planejamento junto a logística que encaminha o resíduo para reciclagem, recuperação ou disposição final.

Se tratando de resíduos sólidos industriais, as normativas a seguir estabelecem os parâmetros adequados para tal:

- a) NBR 12.235/92 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos – Procedimento;
- b) NBR 1.1174/90 – Armazenamento de Resíduos Classes II A – não inertes e II B – inertes – Procedimento;
- c) Portaria nº 124, do Ministério do Interior (MINTER), de 20 de agosto de 1980, que dispõe sobre o acondicionamento, armazenamento temporário, tratamento, transporte e destino final para resíduos perigosos e industriais.

2.2.5 Destinação

De acordo com a NBR 10004/2004 (ABNT, 2004), a destinação final de resíduos sólidos pode ser feita por meio de disposição final em aterros sanitários, incineração, coprocessamento, reciclagem, entre outras formas. Cada técnica de destinação possui vantagens e desvantagens e deve ser escolhida de acordo com as características dos resíduos e a sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

2.2.6 Resíduos sólidos industriais

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) caracteriza resíduos industriais em seu artigo 13 como os produtos resultantes de processos e instalações industriais. Esse grupo de resíduos inclui uma ampla gama de materiais classificados como perigosos que, devido ao seu elevado potencial de prejudicar o meio ambiente e a saúde humana, requerem métodos de tratamento especializados.

O conceito é definido pela Resolução CONAMA nº 313/2002 como:

Todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. (BRASIL, 2002, art. 2º).

Segundo o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais (IPEA, 2012), um dos desafios de entender o atual panorama dos resíduos sólidos industriais no Brasil é a falta de informação consolidada. Na elaboração do diagnóstico, foram encontrados inventários referentes a apenas dez estados do país. Outro desafio foi a falta de padronização das informações, visto que parte dos inventários não se encontraram em conformidade com as diretrizes dispostas na Resolução Conama nº 313/2002

É responsabilidade das empresas revisar seus processos e manter programas que mitiguem os impactos negativos do descarte inadequado de resíduos. Isso está alinhado com a principal diretriz do Plano Nacional de Resíduos Sólidos para resíduos industriais, que é a eliminação dos resíduos industriais que são descartados de forma inadequada no meio ambiente (BRASIL, 2012).

Portanto, é essencial que as indústrias desenvolvam seus próprios planos de gestão de resíduos. Esses planos devem incluir metas para reduzir a quantidade de materiais restantes dos processos de fabricação que são enviados para descarte de maneira ambientalmente adequada. Além disso, esses planos devem contemplar "ações destinadas a diminuir o volume e a periculosidade dos resíduos sob sua responsabilidade, bem como aprimorar sua gestão". (FAGUNDES; SILVA; MELLO, 2015, p. 6)

2.2.7 Geração de resíduos na operação de parques eólicos

Durante a revisão de literatura, verificou-se que grande parte das publicações relacionadas ao tema dissertam a respeito da geração de resíduos proveniente do fim de ciclo de vida dos aerogeradores. Para Cherrington *et al.* (2012), as empresas que operam no setor de energia eólica devem carregar consigo a premissa de energia limpa em todas as fases de um ativo, da sua implementação até a pós operação. O autor enfatiza que a desativação de uma usina gera uma alta massa de resíduos, dentre eles as pás e as torres dos aerogeradores.

Visando uma abordagem do tema que forneça embasamento para as seções subsequentes, optou-se por trazer ao leitor dados de geração de resíduos sólidos provenientes de uma empresa que opera no setor eólico no Brasil a Enel Energia. Esta etapa da pesquisa fez uso do Relatório de Sustentabilidade Empresarial da empresa, publicados anualmente.

O relatório de 2022 do grupo Enel, que possui 4,3 GW de capacidade de geração instalada (ENEL, c2023) fornece um panorama da ordem de grandeza e proporções da geração de resíduos, a Tabela 1 sintetiza a geração referentes a operação de usinas de geração de energia.

Tabela 1 – Geração de resíduos grupo Enel Energia

Classificação	Quantidade gerada (ton)
Classe I – Perigosos	4.566,74
Classe II – Não Perigosos	39.692,27
TOTAL	44.259,01

Fonte: ENEL (c2023).

2.3 Ferramentas de digitalização

Uma vez discutidos aspectos gerais relacionados à energia eólica e às especificidades do gerenciamento de resíduos sólidos, é importante destacar o papel das ferramentas de digitalização sobre a gestão desses materiais, como também compreender a aplicação do uso deste tipo de plataforma na gestão de parques eólicos.

As ferramentas digitais têm um grande potencial de otimizar os resultados relacionados à sustentabilidade, podendo tornar os processos mais eficientes. (JENSEN; REMMEN, 2017; BRESSANELLI, 2018). Um dos exemplos é o Microsoft Power Platform.

O Microsoft Power Platform é uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos de negócios que permite aos usuários criar, personalizar e automatizar aplicativos sem a

necessidade de conhecimento em programação. O Power Platform inclui quatro principais ferramentas: Power Apps, Power Automate, Power BI e Power Virtual Agents.

De acordo com a Microsoft (2023g), o Power Apps é a ferramenta do Power Platform que permite criar aplicativos personalizados sem a necessidade de programação, utilizando uma interface gráfica intuitiva. O Power Automate permite criar fluxos de trabalho automatizados para simplificar processos de negócios, enquanto o Power BI permite a criação de dashboards e relatórios personalizados com visualizações de dados interativas. Por fim, o Power Virtual Agents permite a criação de chatbots inteligentes para interação com clientes e funcionários.

2.3.1 Power Apps

Criado pela empresa Microsoft Corporation, o Power Apps é um software que fornece o desenvolvimento para aplicativos personalizados de qualquer tipo de negócio empresarial. Os aplicativos podem ser criados através de fontes de dados online, tal como os softwares SharePoint, Excel, Office 365, Dynamics 365, SQL Server etc. São criados por meio de contas corporativas que tenham o acesso ao pacote office fornecido pela Microsoft (MICROSOFT, 2023g).

O Power Apps se enquadra em uma categoria de softwares low code. Segundo Khorram, Mottu e Sunyé (2020), esse tipo de ferramenta se caracteriza por não necessitar do usuário alto nível em técnicas de programação. O autor cita que a o uso de softwares deste tipo dá maior autonomia a equipes e otimiza o processo de desenvolvimento. Segundo Waszkowski (2019), o Power Apps é uma das principais plataformas low code no mercado atualmente.

Uma das principais vantagens do Power Apps é a agilidade que a lógica do software proporciona ao usuário no desenvolvimento dos aplicativos, dessa forma o usuário tem maior facilidade para implementar uma nova iniciativa ou adaptar a aplicação de acordo com a demanda desejada. No contexto empresarial, o Power Apps se destaca devido a integração com outros softwares e a facilidade de compartilhamento para desenvolvimento em equipe (MOURA, 2020).

2.3.2 Power Query

O Power Query é um mecanismo de transformação e preparação de dados. O Power Query vem com uma interface gráfica para obter dados de fontes e um editor do Power Query para aplicar transformações. Como o mecanismo está disponível em muitos produtos e serviços,

o destino em que os dados serão armazenados dependerá do local em que o Power Query foi usado. Usando o Power Query, você pode executar o processamento ETL (extrair, transformar e carregar) com os dados (MICROSOFT, 2023a).

Dados importados de bancos de dados como Azure, não necessitam da etapa de transformação de dados (MICROSOFT, c2023d). Para os demais, o Power BI disponibiliza um editor denominado Power Query. Segundo a Microsoft (2023a), o Power Query tem como definição ser um mecanismo para obtenção e transformação de dados. Ele faz parte da etapa de ETL (extração, transformação e carregamento).

A experiência do usuário do Power Query é fornecida por meio da interface do usuário do Editor do Power Query. A meta dessa interface é ajudar você a aplicar as transformações necessárias simplesmente interagindo com um conjunto amigável de faixas de opções, menus, botões e outros componentes interativos (MICROSOFT, 2023h).

O Editor do Power Query é a principal experiência de preparação de dados, na qual se pode conectar a uma ampla variedade de fontes de dados e aplicar centenas de transformações de dados diferentes ao visualizar dados e selecionar transformações na interface do usuário. Essas funcionalidades de transformação de dados são comuns em todas as fontes de dados, independentemente das limitações da fonte de dados subjacente (MICROSOFT, c2023d).

2.3.3 Power Business Intelligence

O Power Business Intelligence (PBI) é uma ferramenta desenvolvida pela Microsoft e pode ser compreendida como um sistema que consta de ferramentas diversas e sistematicamente ordenadas que possibilitam o fornecimento de informações de grande utilidade para um negócio, projeto ou empreendimento, toda vez que estas informações são resultado da integração de várias fontes de dados. Este sistema funciona usando a inteligência artificial no processamento de dados e por isto oferece soluções rápidas, seguras e com alto grau de confiabilidade (GUIMARÃES, 2022).

A primeira versão do Power BI foi lançada pela Microsoft em setembro de 2013 como parte do pacote de aplicativos Office 365, com um serviço “em nuvem” no qual simplifica a implementação e manutenção da ferramenta. Além de fazer parte do Office 365, o Power BI ainda dependia da utilização do Excel para análise de dados. Essa limitação de necessidade de adoção dos componentes mais atualizados do Office 365 propiciou que as empresas fossem limitadas (MICROSOFT, 2023f).

Ainda segundo Microsoft (2023f), o Power BI constitui um conjunto de ferramentas de análise de negócios, capacitando a organização a ganhar insights a partir de uma vasta gama de fontes de dados, ao mesmo tempo em que facilita a preparação das bases de dados. Este conjunto de ferramentas permite a criação de relatórios com designs variados, que podem ser publicados e acessados em toda a empresa através da web ou diversos dispositivos móveis. No Power BI, painéis personalizados podem ser criados para oferecer uma visão singular e abrangente dos negócios, com a possibilidade de ampliar o layout próprio, mantendo a segurança e a governança internas.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os aspectos metodológicos da pesquisa realizada, descrevendo-se os procedimentos necessários e úteis para o desenvolvimento e aplicação de uma ferramenta voltada à análise de dados de geração de resíduos sólidos de um complexo eólico. A fim de atender os objetivos propostos do estudo a metodologia proposta se divide em quatro etapas: contextualização, pesquisa de dados, entrada de dados e desenvolvimento de base unificada, tratamento e análise de dados. O Quadro 1 apresenta um resumo das técnicas metodológicas adotadas.

Quadro 1 – Quadro resumo de técnicas metodológicas

Etapa	Técnica metodológica
Contextualização	Revisão bibliográfica
	Pesquisa de campo
	Mapeamento de processos
Pesquisa de dados	Pesquisa documental interna
Entrada de dados e desenvolvimento de base unificada	Consolidação dos dados obtidos em uma base de dados unificada
	Desenvolvimento de aplicativo mobile para entrada de dados
Tratamento e análise dos dados	Conexão da base dados com software de tratamento e análise de dados
	Desenvolvimento de dashboard interativo

Fonte: elaborado pelo autor.

A pesquisa teve por finalidade realizar um estudo de caso de natureza descritiva e aplicada. Para alcançar os objetivos propostos e melhor apreciação do trabalho, foi utilizada uma abordagem quantitativa.

O estudo de caso foi desenvolvido com base em dados de um Complexo de Geração de Energia Eólica em operação localizado no município de Seabra, na Bahia, mostrado na Figura 4. O mapa de localização do município é apresentado na figura 5. O complexo, que entrou em operação no ano de 2012, tem capacidade instalada de 95,2 MW. O empreendimento totaliza 57 aerogeradores em operação e uma subestação ligada a rede de transmissão de energia nacional.

Figura 4 – Local de estudo



Fonte: Website da empresa operadora (2019).

Figura 5 Mapa de localização de Seabra/BA



Fonte: Prefeitura Municipal de Seabra (2011)

Em um primeiro momento, na etapa de contextualização, conceitos gerais relacionados a energia eólica (os componentes de um aerogerador e os tipos de atividades de manutenção praticadas), resíduos sólidos (conceitos gerais, resíduos industriais e geração em parques eólicos) e digitalização de processos (com foco em Microsoft Platform) foram definidos e contextualizados através de pesquisa bibliográfica, com o objetivo de embasar conceitualmente o leitor.

A fim de entender a dinâmica do local de estudo, utilizou-se a pesquisa de campo. O objetivo foi o de mapear os processos influenciadores na geração de resíduos do local, bem como o de ratificar a confiabilidade do procedimento de pesagem e registro realizado localmente. A pesquisa de campo foi realizada entre os dias 16/01/2023 e 19/01/2023.

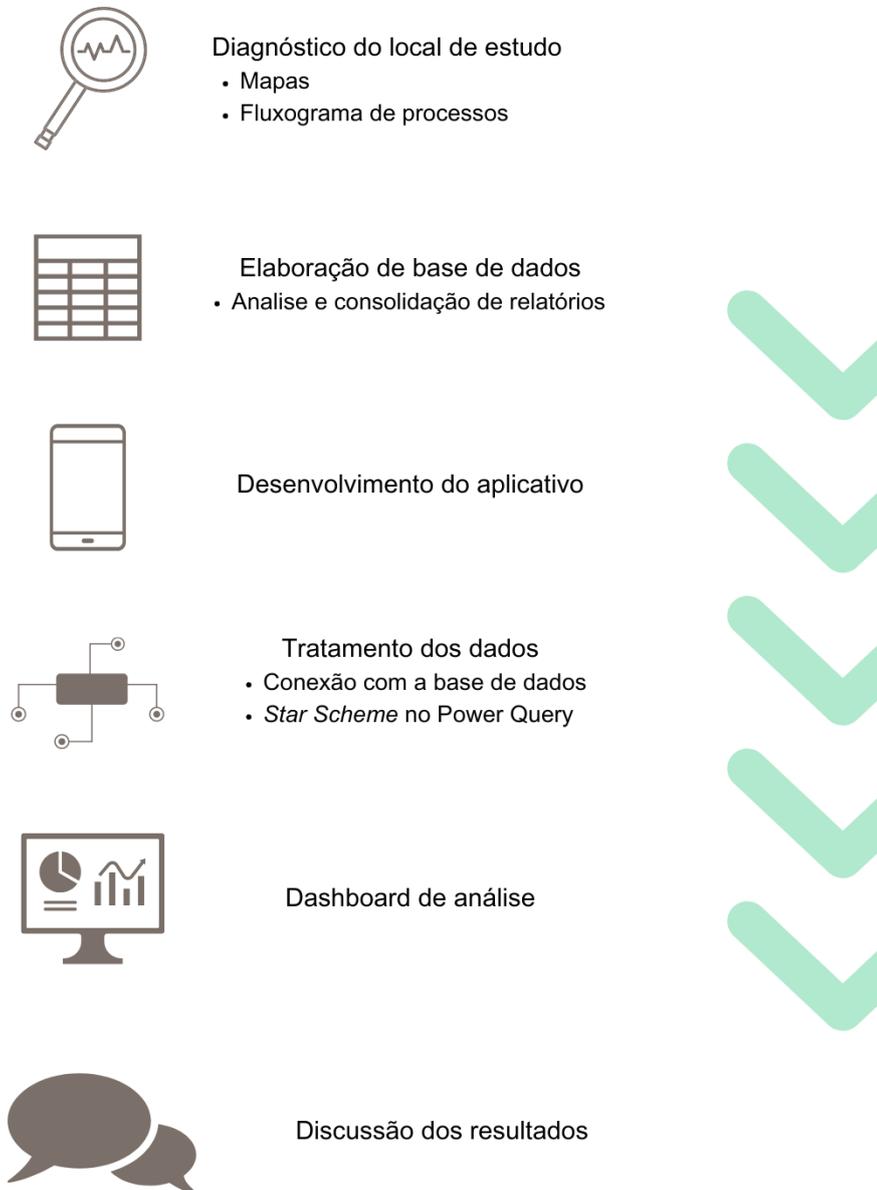
Para o desenvolvimento, como fonte primária de dados foi utilizado o conjunto de relatórios mensais de pesagem de resíduos sólidos fornecidos pela empresa operadora do local. O período de análise adotado foi entre janeiro de 2021 e março de 2023. Esse período foi escolhido devido a confiabilidade dos dados reportados, visto que dados prévios a 2021 se encontravam incompletos e/ou faltantes. Para esta etapa, foi proposta ao longo do estudo uma melhoria relacionada ao registro dos dados de pesagem, com o desenvolvimento de um aplicativo na plataforma Power Apps, esta melhoria foi idealizada na etapa de pesquisa de campo.

A análise dos dados obtidos foi realizada através de duas etapas: construção de base de dados e desenvolvimento de um dashboard para visualização dos dados. A etapa de construção de base de dados foi feita a partir da transcrição dos dados de pesagens de relatórios mensais para uma planilha do Microsoft Excel. Assim, em um único arquivo ficaram centralizados todos os dados quantitativos relevantes à pesquisa. Na segunda etapa, a base de dados criada foi conectada ao Microsoft Power BI. No software, foi feito o tratamento dos dados para o modelo estrela (detalhado nos resultados) através da aplicação Power Query. Com os dados preparados, um dashboard de análise foi proposto a fim de permitir ao usuário visões desde gerais à detalhadas com um total de 21 visuais, divididos em botões, filtros, gráficos do tipo rosca, gráfico de barras com linhas, gráfico de barras, gráfico de funil, cartões e mapa (georreferenciado a geração de resíduos).

Os softwares citados foram escolhidos devido à já existente integração no sistema da empresa operadora do ativo, facilitando a implementação e uso, visto que os colaboradores já conhecem e têm familiaridade com as plataformas.

A figura 6 apresenta um fluxograma que fornece uma visão global do produto da pesquisa, funcionando como um guia para a compreensão do capítulo subsequente.

Figura 6 – Fluxograma de desenvolvimento dos resultados



Fonte: elaborado pelo autor.

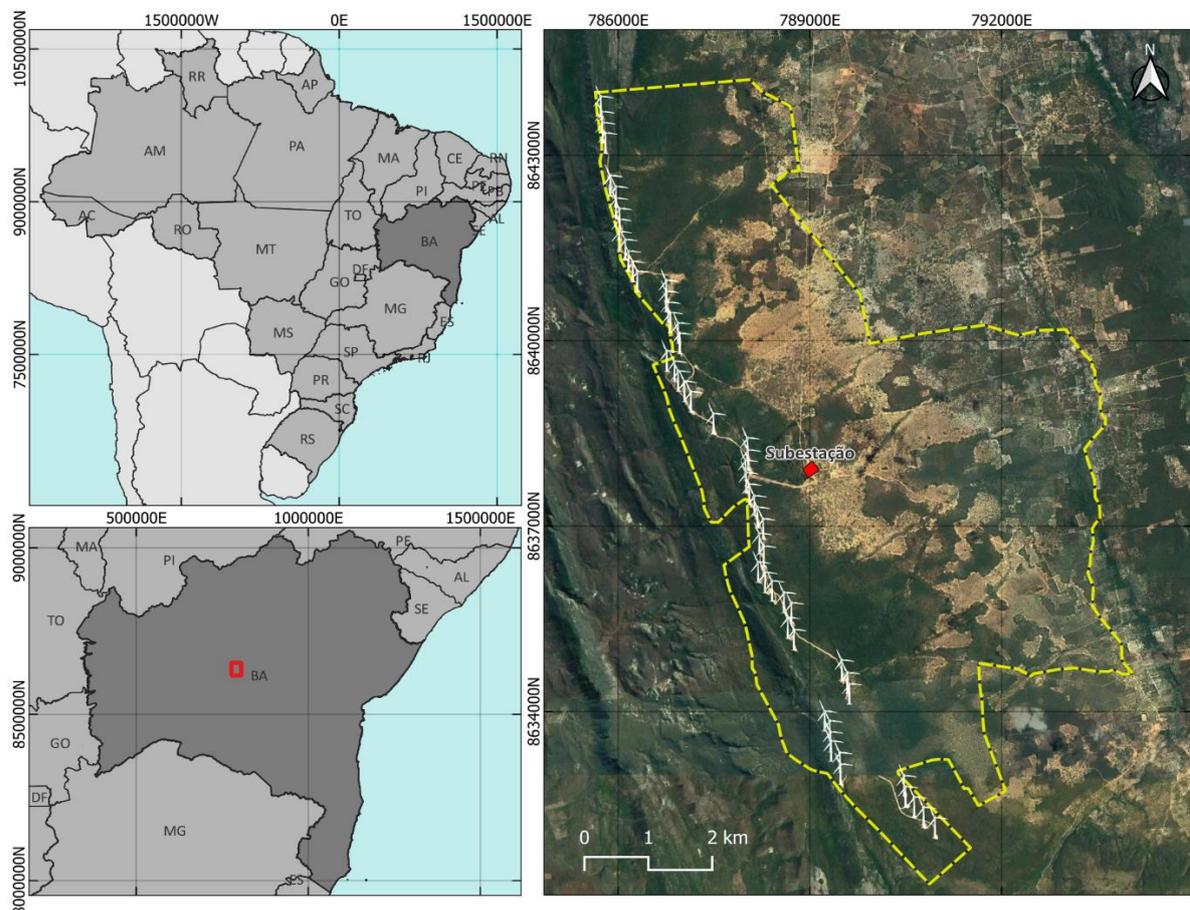
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo, é descrito o desenvolvimento e a implementação da plataforma proposta para análise da geração de resíduos no local de estudo. Reitera-se o propósito desta pesquisa, que visa compreender os processos que impactam na geração de resíduos no local em estudo, realizar uma análise quantitativa, caracterizar tais resíduos e apresentar uma ferramenta para inserção e análise desses dados.

4.1 Diagnóstico do local de estudo

A seguir, na Figura 7, é apresentado o mapa de localização do empreendimento, com destaque para a delimitação da área do complexo, bem como o georreferenciamento das turbinas e subestação. O mapa foi elaborado sob a projeção UTM - Zona 23 e Datum SIRGAS 2000.

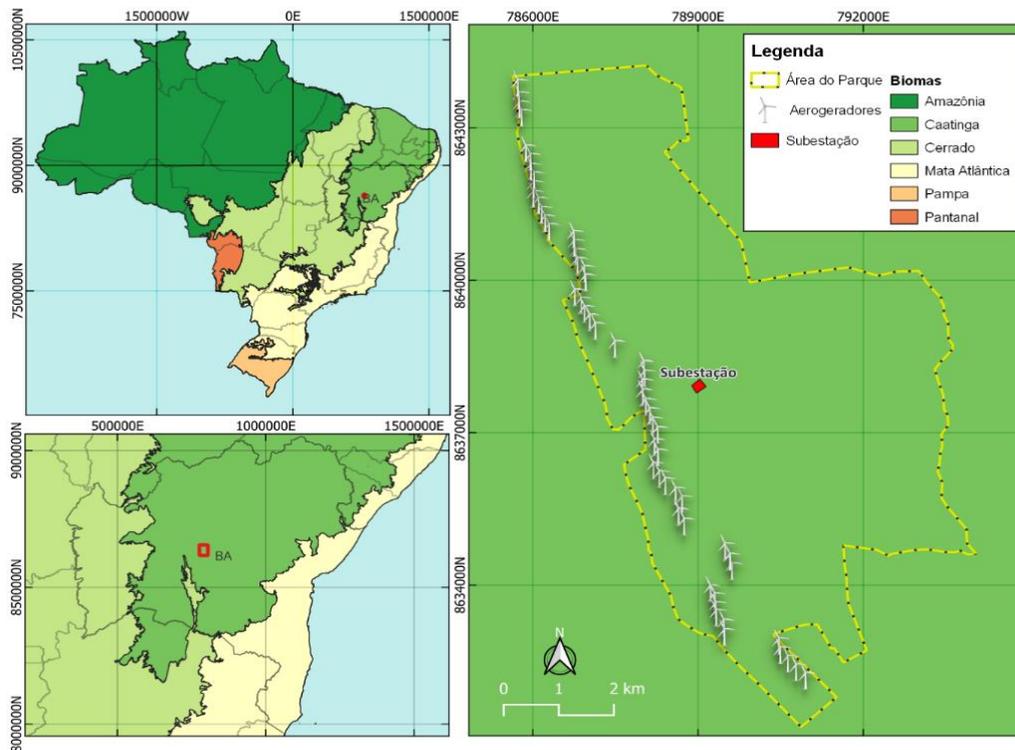
Figura 7 – Mapa de localização do empreendimento



Fonte: elaborado pelo autor.

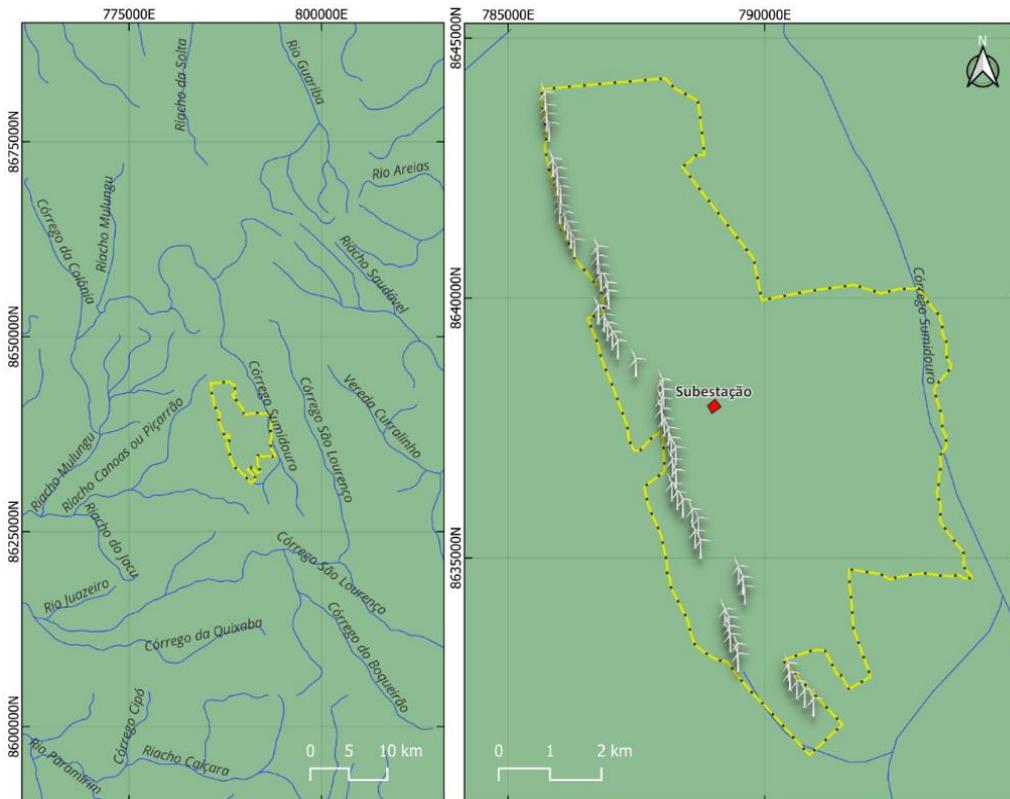
Toda a área do parque está localizada na Caatinga, como pode ser observado na Figura 8. Ao se analisar a hidrografia da região do parque, mostrada na Figura 9, é possível observar que na parte leste há a passagem do Córrego Sumidouro.

Figura 8 – Mapa de biomas



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 – Hidrografia da região

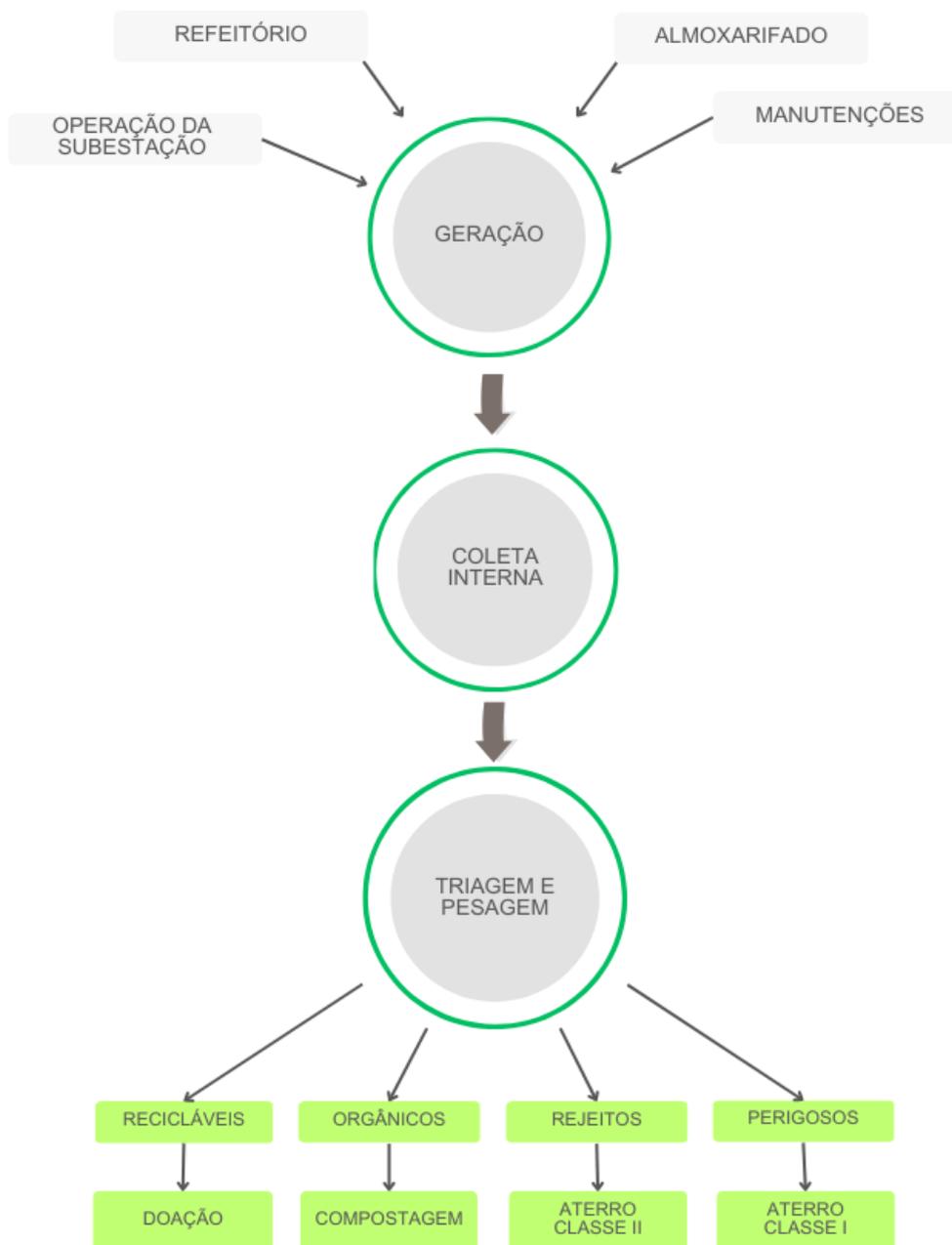


Fonte: elaborado pelo autor.

A fim de compreender os processos que contribuem para a geração de resíduos sólidos no local de estudo, em um primeiro momento optou-se pelo mapeamento de processos em campo. O objetivo do mapeamento foi de se obter uma visão sistêmica das atividades do parque e servir de base para a construção de um fluxograma detalhando todas as etapas desde a geração até a destinação final destes resíduos.

Desta forma, para este processo quatro etapas principais foram definidas: geração, coleta interna, triagem e destinação final. A seguir, na Figura 10 está o fluxograma resultante.

Figura 10 – Fluxograma do gerenciamento de resíduos



Fonte: elaborado pelo autor.

Foram identificados quatro grandes locais/processos que contribuem para a geração de resíduos sólidos no empreendimento: operação da subestação, refeitório, almoxarifado e atividades de manutenção dos aerogeradores.

A operação da subestação compreende as salas de escritório da equipe, sala de comando da usina, banheiros e salas de reunião. Os ambientes possuem contentores adequados para o armazenamento de resíduos recicláveis, orgânicos e não recicláveis. Os banheiros estão

localizados próximos às áreas administrativas e possuem apenas contentores para resíduos não recicláveis.

No almoxarifado há também contentores para os resíduos não perigosos, bem como um específico para armazenamento temporário de pilhas e baterias, um para lâmpadas e um para resíduos perigosos gerados nas atividades de manutenção.

Devido à distância considerável entre a subestação e os aerogeradores, as equipes fazem o deslocamento para a execução das manutenções de carro. Os resíduos gerados nestas atividades são armazenados em sacolas e/ou pequenos contentores e direcionados para a central de triagem imediatamente após o término da intervenção.

A frequência de coleta interna de resíduos por parte da equipe é de duas vezes por semana. Os materiais são transportados para centrais de triagem - uma exclusiva para resíduos perigosos e outra para não perigosos - onde passam por separação manual também duas vezes por semana. Após a triagem todos os resíduos são pesados, os registros de pesagem são feitos manualmente em folha de papel para posteriormente transcrição em planilha no software Microsoft Excel. A destinação dos resíduos após a triagem é realizada por demanda, com exceção aos resíduos orgânicos, que são destinados a cada dois dias.

4.2 Desenvolvimento de base de dados

Os dados de pesagem são consolidados mensalmente em modelo de relatório padrão utilizado pela empresa que opera o parque eólico. São reportadas duas tabelas, uma para cada classe de resíduos (classe I e classe II), contendo as informações: tipo de resíduo, origem, quantidade (Kg) e observações. Além disso, há uma predefinição de agrupamentos de tipo de resíduo. O Quadro 2 mostra as nomenclaturas adotadas no relatório.

Quadro 2 – Classes de resíduos descritas no relatório de pesagem

Classificação (NBR 10.004)	Tipo de resíduo
Classe I	Equipamentos de proteção individual (EPI) usados
	Panos de limpeza e materiais combustíveis
	Serragem de madeira e areia contaminadas com óleos e graxas
	Embalagens plásticas contaminadas com hidrocarbonetos e defensivos agrícolas
	Relés e lâmpadas
	Sobras de óleos hidráulicos e lubrificantes
	Óleos, graxas e tintas
	Pilhas, baterias de rádio e baterias chumbo-ácido
	Plástico contaminado com óleo e graxa
	Filtro de óleo
	Filtro de umidade
	Papel contaminado com óleo e graxa
	Metal contaminado com óleo e graxa
	Brita contaminada com óleo e graxa
Classe II	Vidro
	Papel/Papelão
	Alumínio, Sucata de ferro, Fios de cobre
	Plástico
	Resíduos gerais
	Orgânicos

Fonte: elaborado pelo autor.

A classificação “resíduos gerais” ou “resíduo comum” é definida no relatório como o agrupamento de diversos resíduos:

Resíduos de varrição, EPI's não-contaminados, feltros, papel toalha, panos sujos somente com álcool, lixas, espumas, filtros de ar sujos com poeira, avental/macacão em Tyvek (não sujos com óleo/graxa), cordas de fibra vegetal, tapetes, fitas adesivas, lápis dermatográfico, barbante, roletes cerâmicos, papel refratário, placas refratárias e isolantes térmicos, pedras de afiação, filtros de ar condicionado, papéis sanitários, restos de alimentos (exceto os dispostos no restaurante), embalagens de alimentos sujas, isopor, madeira, borracha, rebolos, discos de corte gastos e pó de afiação de discos diamantados.

A partir do acesso à base de dados dos relatórios do período entre 01/2022 e 03/2023, foi realizado o agrupamento destes dados em uma base unificada, através do software *Microsoft Excel*. Os critérios adotados para a construção deste banco de dados foram análogos aos

utilizados no reporte já existente na rotina da empresa, portanto, as categorias citadas anteriormente continuam válidas. Adicionalmente, optou-se por adicionar campos para tornar a análise mais rica, são eles:

- a) **CEP**: para análises georreferenciadas;
- b) **NBR 10.004**: para a classificação normativa;
- c) **Classificação**: para a classificação de acordo com as frações (reciclável, orgânico, rejeitos e perigosos);
- d) **Fonte geradora**: para a identificação da fonte geradora (de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 10)

Portanto, as colunas da base de dados foram definidas de acordo com a Figura 11.

Figura 11 – Colunas estipuladas para a base de dados

B	C	D	E	F	G	H
CEP	Data	NBR 10.004	Classificação	Tipo de resíduo	Quantidade (Kg)	Fonte geradora

Fonte: elaborado pelo autor.

Este processo resultou em uma base de dados unificada de 541 linhas, contendo todos os dados de pesagem e atributos de caracterização do período de estudo.

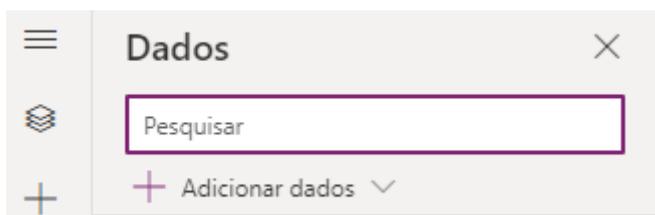
4.3 Desenvolvimento de aplicativo de entrada de dados

Durante a etapa de caracterização do gerenciamento, observou-se que o registro das pesagens realizadas era realizado em folha de papel, criando a demanda da posterior digitalização dos dados para o computador e entrada manual na base de dados. Como oportunidade de melhoria identificada, foi proposto o uso de um aplicativo para a entrada de dados, visando melhorar a confiabilidade e trazer agilidade a este procedimento.

Para a definição da forma de desenvolvimento do aplicativo, antes de buscar empresas e/ou parceiros externos, foram observadas as plataformas digitais já utilizadas na empresa. Nesta fase de diagnóstico, a plataforma Microsoft Power Apps se mostrou a melhor alternativa de uso, principalmente por já ser integrada na rede usada pelos colaboradores e não gerando novos custos.

O desenvolvimento do aplicativo teve como ponto de partida a criação de uma conexão com o banco de dados através da guia “Dados”, como mostrado na Figura 12.

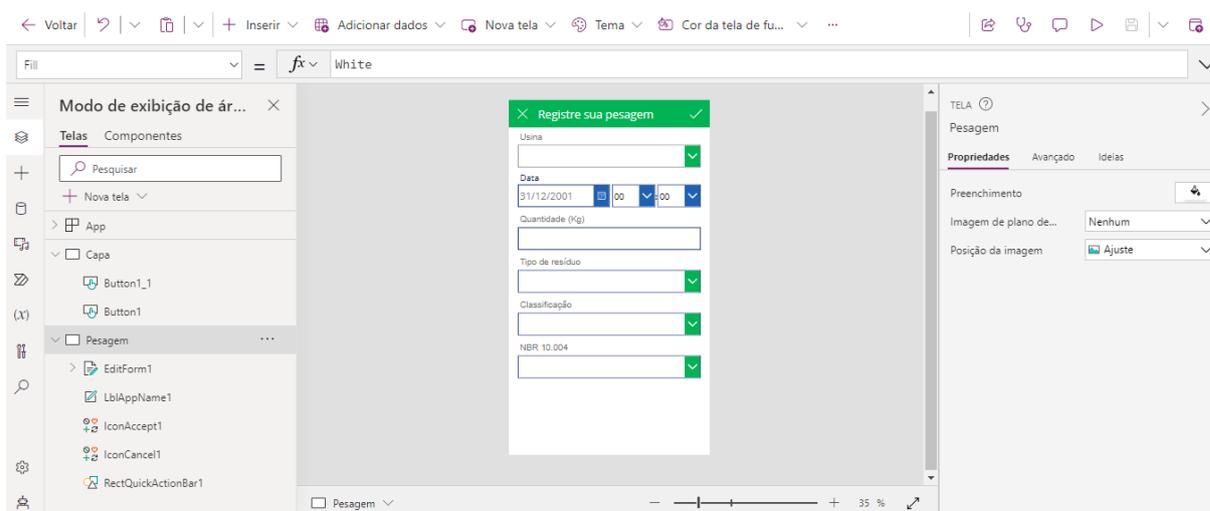
Figura 12 – Conexão do Power Apps com o banco de dados



Fonte: elaborado pelo autor.

Então, a partir de uma tela chamada “Pesagem”, um formulário "Editform 1" recebe campos de entrada de dados análogos aos das colunas da base criada anteriormente. Então, a partir de uma tela chamada “Pesagem”, um formulário "Editform 1" recebe campos de entrada de dados análogos aos das colunas da base criada anteriormente, conforme mostrado na Figura 13.

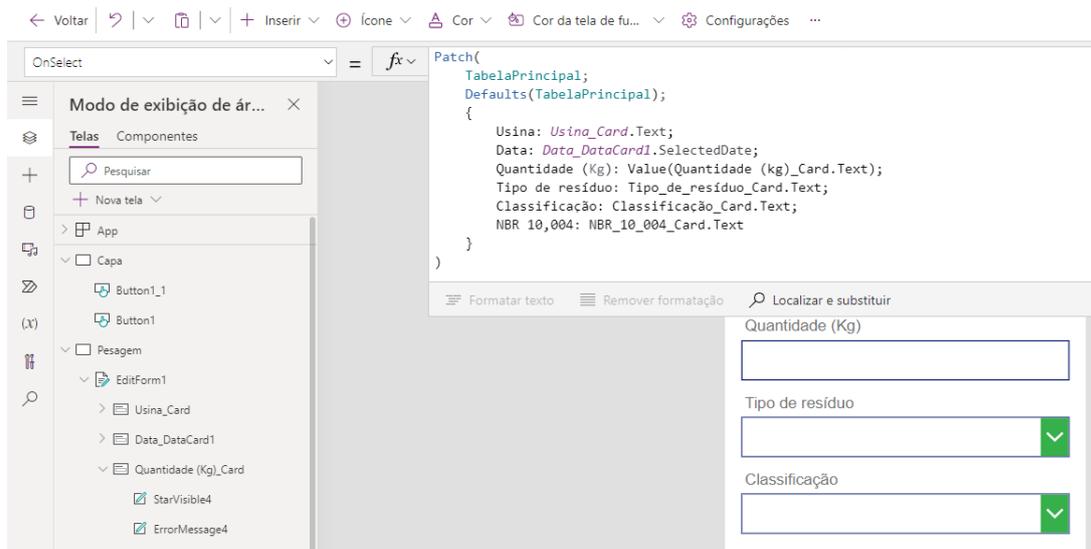
Figura 13 – Criação do formulário de entrada de dados



Fonte: elaborado pelo autor.

Após o preenchimento dos dados é necessário que os valores sejam adicionados na base de dados. Esse processo se dá por meio da função “Patch”, que relaciona cada campo de entrada do aplicativo com uma coluna da base de dados. Quando o usuário pressiona a tecla de envio de pesagem, os dados são adicionados a uma nova linha na base de dados. A figura 14 mostra a aplicação da função.

Figura 14 Aplicação da função *Patch*

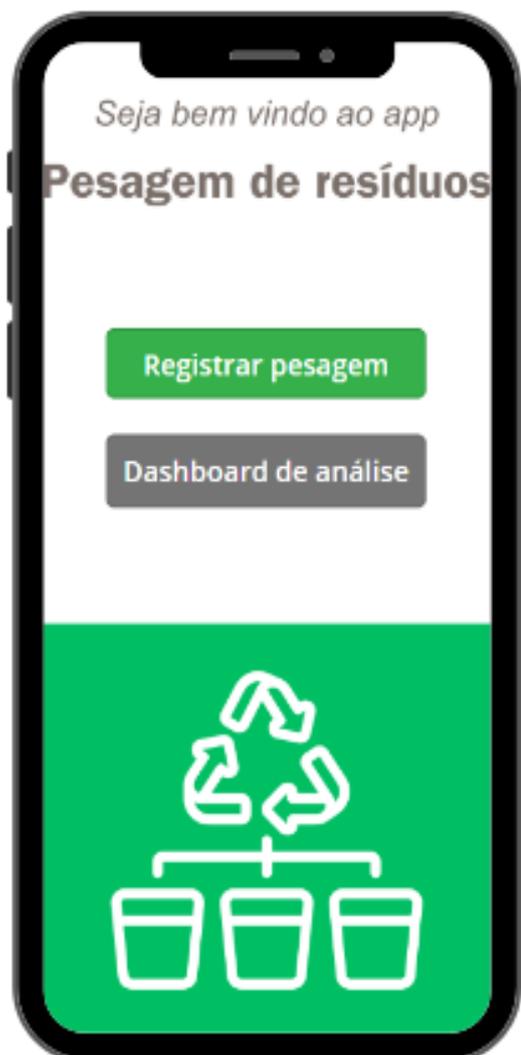


Fonte: elaborado pelo autor

É importante ressaltar que esta melhoria foi desenvolvida durante o desenvolvimento deste trabalho, portanto, os dados analisados não foram inseridos através dele, sendo estes adicionados manualmente. O aplicativo foi desenvolvido pensando no uso em *smartphones*, sejam *iOS* ou *Android*. Essa escolha se deu devido ao fato de no local de pesagem não estarem disponíveis computadores para uso, apenas os celulares individuais de cada colaborador.

Visando uma melhor experiência ao usuário, uma tela inicial com dois botões: “Registrar pesagem” e “Dashboard de análise” foi criada, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Tela inicial do aplicativo

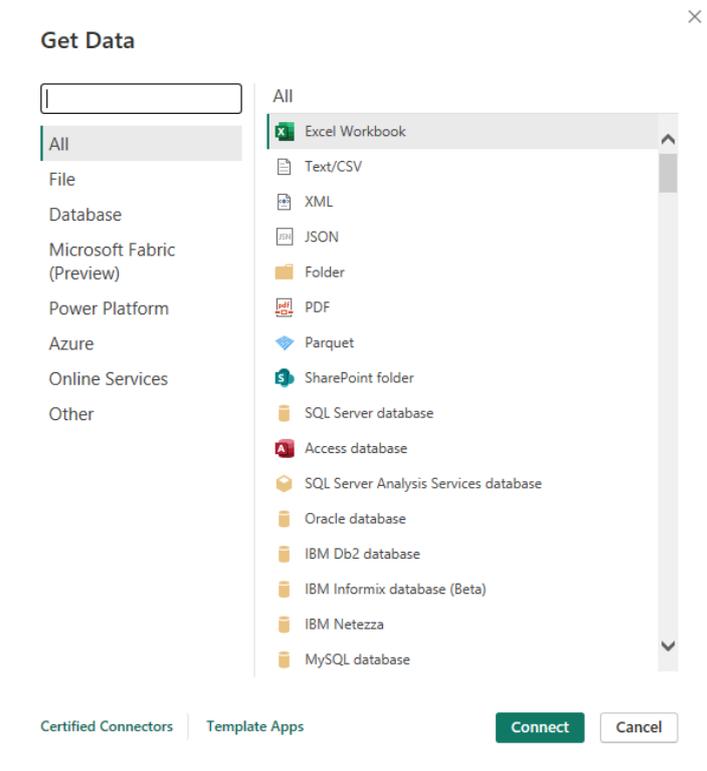


Fonte: elaborado pelo autor.

4.4 Tratamento de dados

Com o mecanismo de entrada de dados desenvolvido e a base preenchida, teve início o processo de desenvolvimento da ferramenta de visualização e análise de dados. O primeiro passo de execução dela é realizar a conexão do banco com o software, através do botão "Get Data". Várias fontes de dados podem ser conectadas, neste caso, a opção "Excel Workbook" foi escolhida, como mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Conexão do PowerBI com o banco de dados



Fonte: elaborado pelo autor.

Neste momento, a base de dados preenchida é chamada de “Tabela Principal”, portanto é a selecionada, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Seleção da tabela para conexão

CEP	Data	NBR 10.004	Classificação	Tipo de residuo	Quantidade (Kg)	Fonte geradora
47560000	01/01/2021	Classe II	Recicláveis	Vidro	0	Operação da subestação
47560000	01/01/2021	Classe II	Recicláveis	Papel/Papelão	25	Almoxarifado
47560000	01/01/2021	Classe II	Recicláveis	Alumínio/Sucata/Fios de Cobre	2,3	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe II	Recicláveis	Plástico	23,65	Operação da subestação
47560000	01/01/2021	Classe II	Rejeitos	Resíduos Gerais	7,9	Operação da subestação
47560000	01/01/2021	Classe II	Orgânicos	Orgânicos	41,45	Cozinha/ Refeitório
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	EPI's	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Panos e materiais combustíveis	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Serragem e areia contaminada	0	Operação da subestação
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Embalagem plástica contaminada	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Lâmpadas e relés	0	Operação da subestação
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Sobras de óleos e lubrificantes	4,8	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Óleos Graxas e Tintas (Vencidos)	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Pilhas e Baterias	1,25	Operação da subestação
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Plástico contaminado com óleo e graxa	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Filtro de óleo	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Filtro de umidade	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Papel contaminado com óleo e graxa	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Metal contaminado com óleo e graxa	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/01/2021	Classe I	Perigosos	Brita contaminada com óleo	0	Manutenção dos aerogeradores
47560000	01/02/2021	Classe II	Recicláveis	Vidro	2,033333333	Operação da subestação
47560000	01/02/2021	Classe II	Recicláveis	Papel/Papelão	175,6666667	Almoxarifado
47560000	01/02/2021	Classe II	Recicláveis	Alumínio/Sucata/Fios de Cobre	29,73333333	Manutenção dos aerogeradores

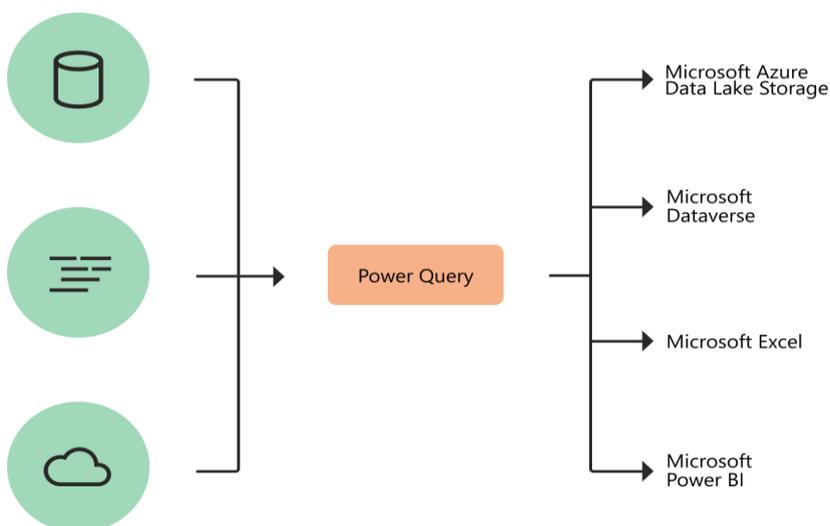
Fonte: elaborado pelo autor.

Após a conexão dos dados com o Power BI, antes de criar visuais é necessário tratar os dados para que as relações entre as colunas possam ser realizadas com sucesso. O botão “Transform Data” direciona para o ambiente do Power Query. Segundo a Microsoft:

O Power Query é um mecanismo de transformação e preparação de dados. O Power Query vem com uma interface gráfica para obter dados de fontes e um Editor do Power Query para aplicar transformações. Como o mecanismo está disponível em muitos produtos e serviços, o destino em que os dados serão armazenados dependerá do local em que o Power Query foi usado. Usando o Power Query, você pode executar o processamento ETL (extrair, transformar e carregar) com os dados. (MICROSOFT, 2023a).

O fluxo de uso do Power Query é mostrado na Figura 18.

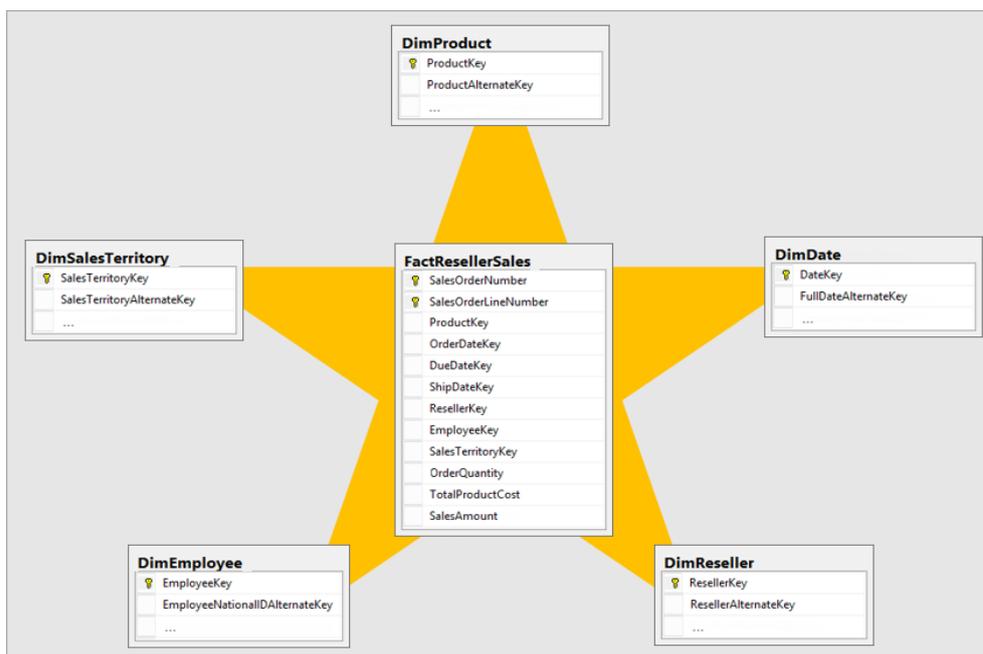
Figura 18 – Fluxo de uso do Power Query



Fonte: Microsoft (2023a).

O tratamento de dados proposto para base de dados seguirá o esquema em estrela (Star Scheme). O modelo divide as diferentes colunas da base de dados em dois grupos: dimensão (DIM) e fato (FACT), como mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Exemplo de modelo estrela



Fonte: Microsoft (2023b).

As tabelas dimensão (DIM) descrevem entidades de negócios relevantes, como produtos, pessoas, locais e conceitos, incluindo o tempo. Essas tabelas são constituídas por uma ou mais colunas chave (contendo um código identificador único) e por colunas descritivas sobre a entidade. Essa abordagem permite relacionamento com outras tabelas do esquema e é amplamente utilizada para organizar e analisar dados em diversos contextos empresariais (MICROSOFT, 2023b).

Um exemplo de tabela de dimensão utilizada no tratamento dos dados é a tabela “Classificação”, onde a coluna “Classificação KEY” é a coluna chave e a coluna “Classificação” descreve se o resíduo é reciclável, rejeito, orgânico ou perigoso, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Tabela dimensão classificação

1 ² 3	Classificação KEY	A ^B C	Classificação
1		1	Recicláveis
2		2	Rejeitos
3		3	Orgânicos
4		4	Perigosos

Fonte: elaborado pelo autor.

Já as tabelas fato (FACT) armazenam observações ou eventos e podem ser ordens de vendas, temperaturas ou, neste caso, valores de pesagem de resíduos. Estas tabelas são compostas por colunas chave, provenientes das tabelas dimensão e por colunas numéricas, dessa forma cada valor numérico se relaciona com uma chave que a conecta à dimensão correspondente. Essa relação proporciona a caracterização do valor numérico. A Figura 21 mostra a tabela fato gerada, onde cada valor de pesagem na coluna “Quantidade (Kg)” recebe o valor de uma chave que caracteriza aquele valor a cada uma das dimensões propostas.

Figura 21 – Tabela fato

	1.2 Quantidade (Kg)	1 ² CEP KEY	1 ² Data KEY	1 ² NBR KEY	1 ² Classificação KEY	1 ² Tipo de resíduo KEY	1 ² Fonte geradora KEY
1	0	1	1	1	1	1	1
2	2,033333333	1	1	2	1	1	1
3	23,65	1	1	1	1	4	1
4	7,9	1	1	1	1	2	1
5	25	1	1	1	1	1	2
6	2,3	1	1	1	1	3	3
7	41,45	1	1	1	1	3	6
8	0	1	1	1	2	4	7
9	0	1	1	1	3	4	8
10	0	1	1	1	3	4	9

Fonte: elaborado pelo autor.

Durante o tratamento e execução do modelo de estrela, foram criadas seis tabelas dimensão e uma tabela fato, através do comando “Mesclar consultas”. O Quadro 3 mostra as tabelas criadas e seus tipos.

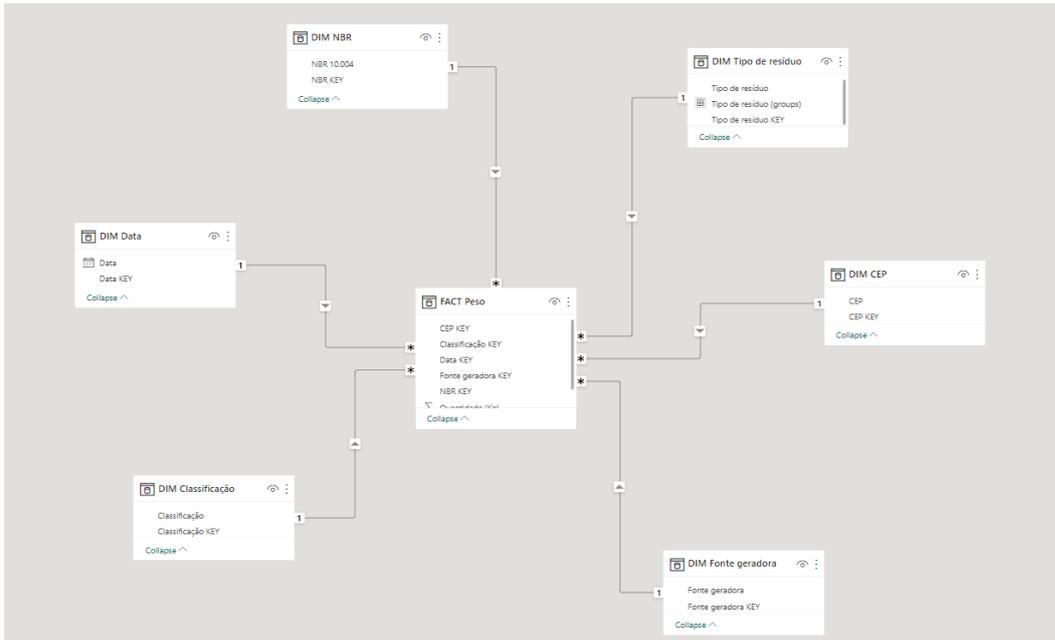
Quadro 3 – Resumo das tabelas do modelo estrela

Tipo de tabela	Nome
Fato	Quantidade (Kg)
Dimensão	Data
	NBR
	Classificação
	Tipo de resíduo
	CEP
	Fonte Geradora

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao fim do tratamento, por meio da visualização “Model View” (mostrado na Figura 22), é possível ratificar que o modelo estrela foi aplicado com sucesso, garantindo que a próxima etapa, a de desenvolvimento do dashboard, seja realizada com confiabilidade e garantia da correta relação entre as dimensões e fato.

Figura 22 – Modelo estrela finalizado



Fonte: elaborado pelo autor.

4.5 Desenvolvimento do Dashboard

Uma vez que os dados foram tratados no Power Query, o desenvolvimento das visualizações foi feito no ambiente do PowerBI. Esta seção do trabalho detalha os modelos de visual adotados, bem como as análises realizadas. Posteriormente, os resultados quantitativos do período de análise serão discutidos. O dashboard foi desenvolvido de acordo com o fluxograma da Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma de navegação do Dashboard



Fonte: elaborado pelo autor.

Na tela inicial, o usuário pode escolher entre as opções: registrar nova pesagem no aplicativo, acessar o dashboard ou acessar a base de dados, como mostrado na Figura 24. As opções de navegação foram criadas a partir de botões de navegação de página interna (para o dashboard) e externa (para o PowerApps e Excel).

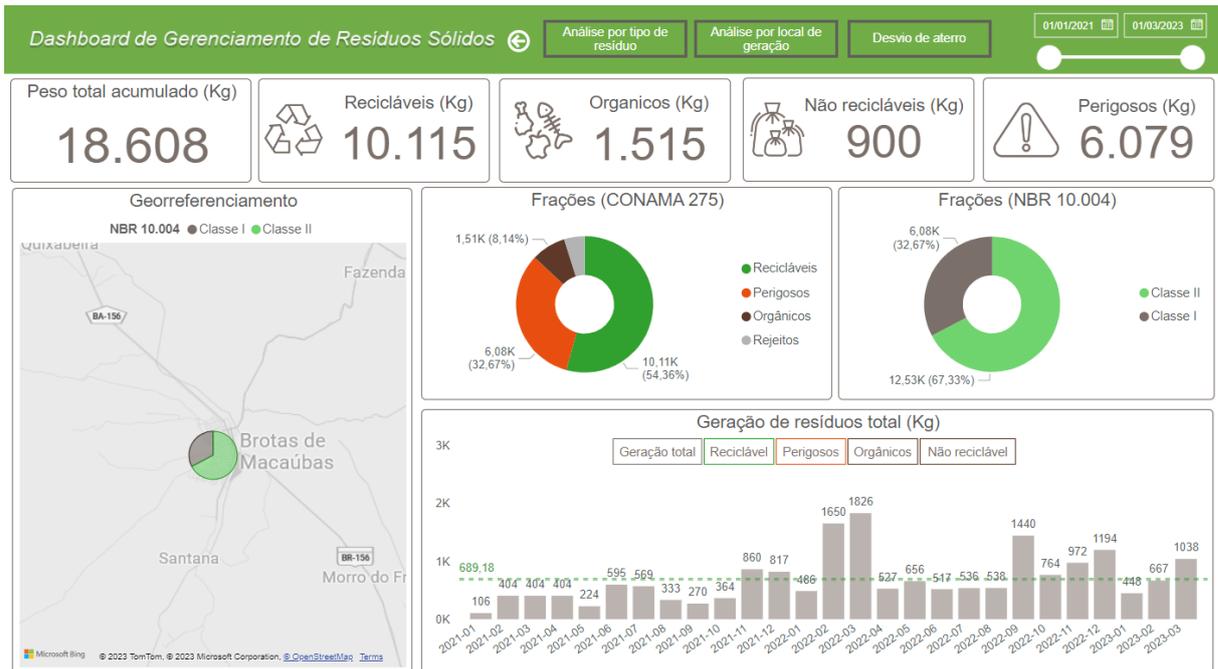
Figura 24 – Tela inicial



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao acessar o dashboard, o usuário é direcionado para a tela geral, ilustrada na Figura 25. O objetivo desta tela é trazer uma visão macro da geração de resíduos do local, para que possa ter embasamento ao adentrar nos níveis de análise mais detalhados. Na parte superior da visualização é possível navegar através dos botões de página para as demais seções de análise, bem como um filtro do tipo “slicer” que permite ao usuário escolher o período temporal que deseja analisar, de acordo com o intervalo disponível (janeiro de 2021 a março de 2023), como mostrado na Figura 26. A escolha da data pelo usuário sempre atualiza automaticamente todos os visuais do painel.

Figura 25 – Página geral



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 26 – Filtro do tipo Slicer



Fonte: elaborado pelo autor.

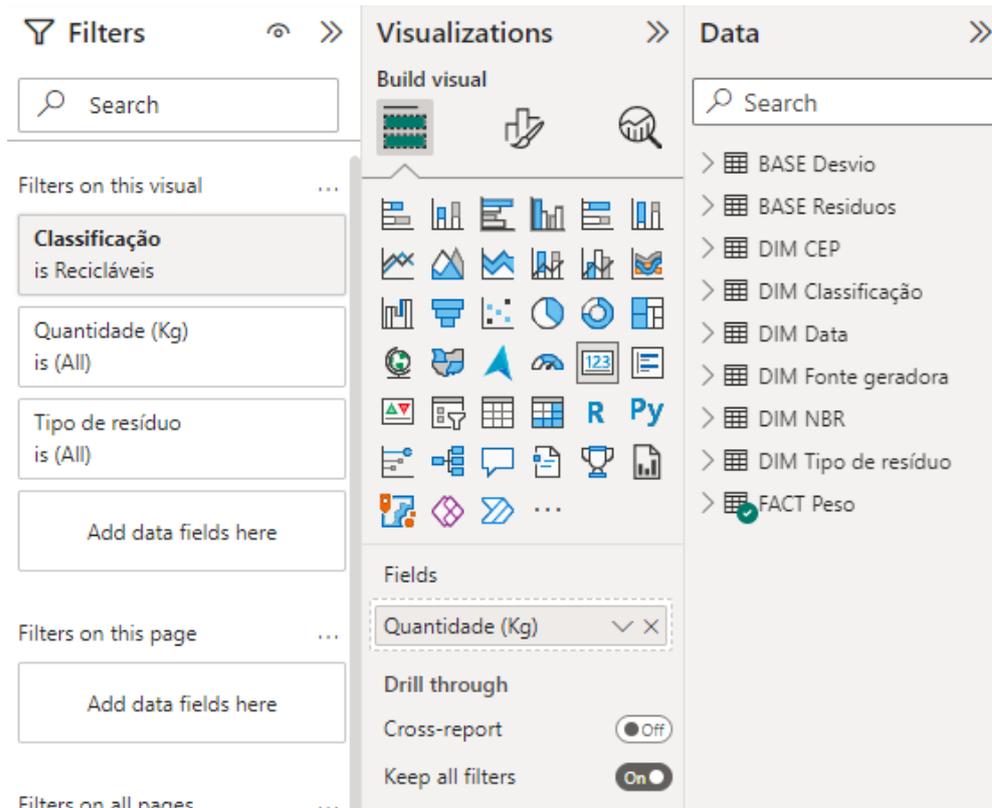
Cinco visualizações do tipo “Card” mostram a totalização em quilogramas de pesagem para recicláveis, orgânicos, não recicláveis e perigosos, além do valor total acumulado, como mostrado na Figura 27. Os valores são somados através da função *Sum*. A construção dos cartões é mostrada na Figura 28.

Figura 27 – Cartões de totalização



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 28 – Construção do cartão de recicláveis



Fonte: elaborado pelo autor.

Para a visualização do percentual das frações de acordo com a CONAMA 275 e NBR 10.004, dois visuais do tipo *donut chart* foram adotados, mostrados na Figura 29. Os gráficos de rosca são uma boa alternativa quando se propõe a analisar proporções de diferentes fatias de um domínio definido, destacando o percentual e valor bruto por meio de rótulos (MICROSOFT, c2023c).

Figura 29 – Gráficos de rosca

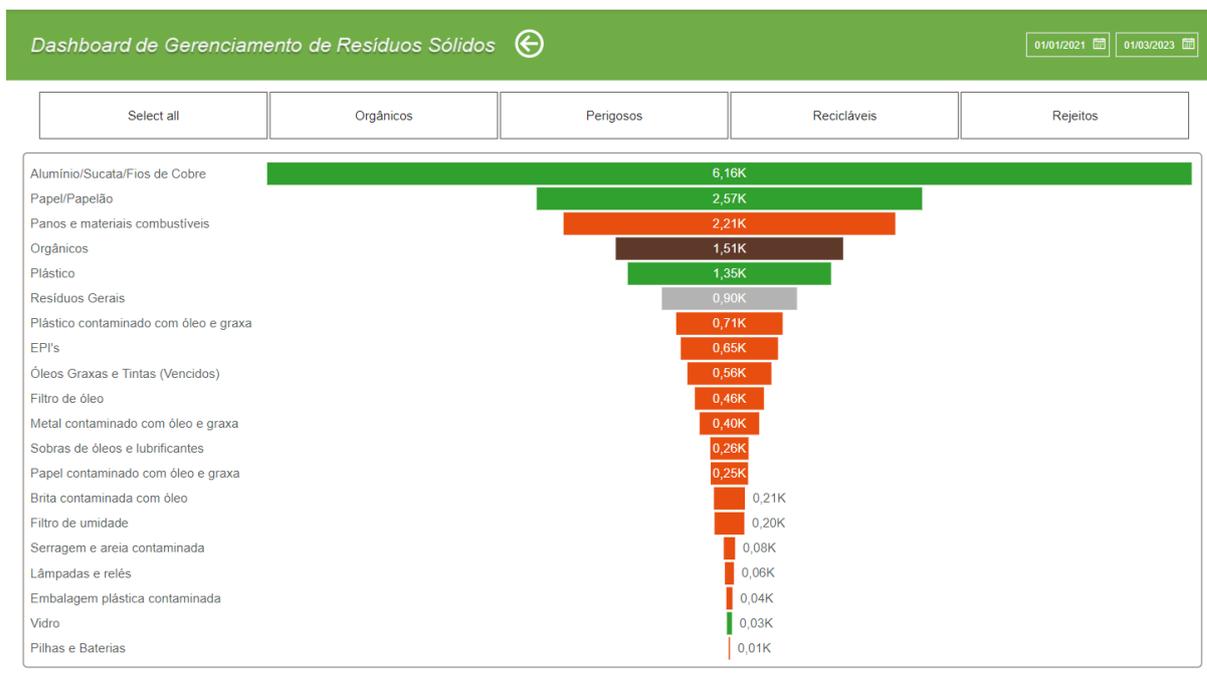


Fonte: elaborado pelo autor.

Na parte inferior, um gráfico de barras com uma linha de média permite a análise de total geração mensal do parque eólico. Pensando na importância de se analisar o comportamento de geração por mês de acordo com o tipo de resíduo, dentro deste gráfico de barras foram definidos botões que atualizam o visual de acordo com a análise desejada. Por fim, um gráfico do tipo “Map” mostra o local da geração e a divisão das frações de acordo com a NBR. 10.004. Este visual foi adotado pensando na expansão do uso da plataforma para outras unidades de geração de energia, nestes casos, o tamanho do círculo refletirá o local com maior ou menor geração, resultando em um efeito comparativo visual

Navegando através do botão “Análise por tipo de resíduo”, o usuário é direcionado para a página de detalhamento, mostrada na Figura 30. De forma análoga à tela geral, foi criado um filtro de data no canto superior direito. O objetivo desta página é fornecer uma visão geral da geração de acordo com as divisões propostas na pesagem adotada pela equipe local, de acordo com a classificação dos resíduos. Por tanto, caso seja de interesse realizar uma análise focada nos resíduos recicláveis, é possível enxergar apenas estes, quais os tipos e seus respectivos pesos. De forma análoga para perigosos, não recicláveis e orgânicos.

Figura 30 – Painel de análise de geração tipo de resíduo

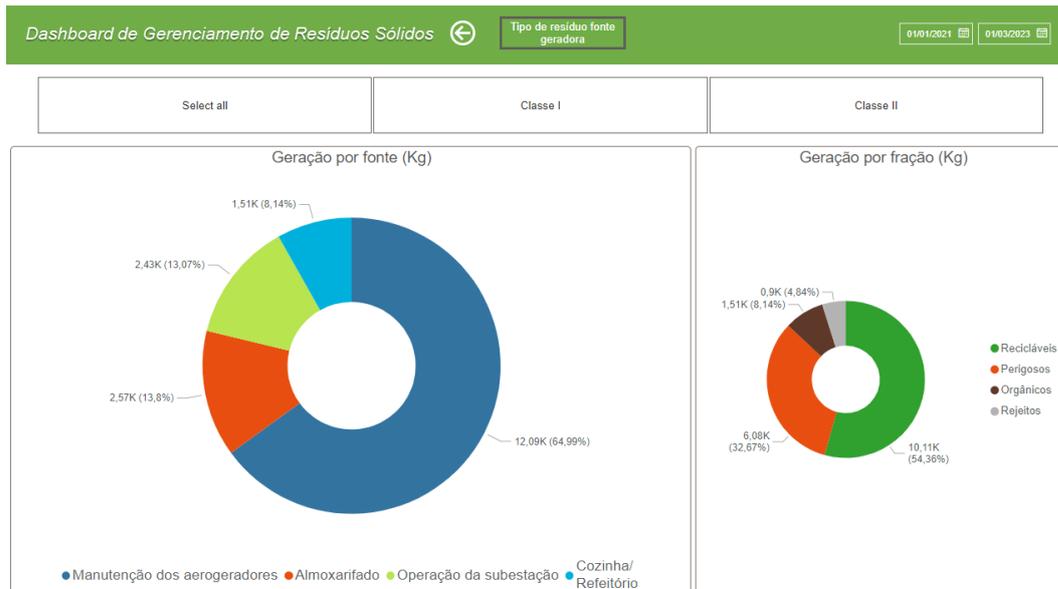


Fonte: elaborado pelo autor.

Com o botão “Análise por local de geração”, o usuário tem acesso a um painel em que o propósito é estratificar e fornecer uma visão sistêmica sobre a contribuição de cada área do

parque para a geração, mostrado na Figura 31. Essa análise é importante pois poderá servir de embasamento para ações de educação ambiental e/ou melhoria de processos, visando a redução de geração de resíduos. Os botões da seção superior permitem que sejam filtrados somente resíduos classe I ou classe II.

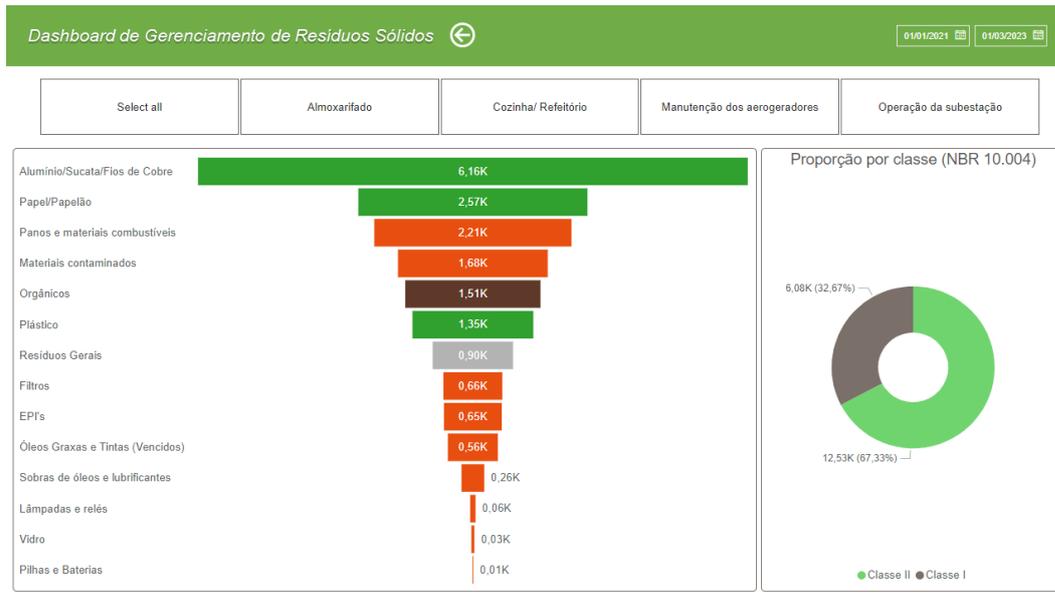
Figura 31 – Painel de análise geração por processo



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao clicar no botão “Tipo de resíduo por fonte geradora”, o usuário navega para uma página que detalha os tipos de resíduos gerados por a fonte desejada de análise, mostrada na Figura 32. É possível também combinar diferentes fontes, selecionando mais de um dos botões de filtro na parte superior o painel. O gráfico “Proporção por classe (NBR 10.004) foi incluído com o propósito de fornecer ao usuário um detalhamento maior do perfil de geração daquele processo.

Figura 32 – Painel de detalhamento da análise geração por processo



Fonte: elaborado pelo autor.

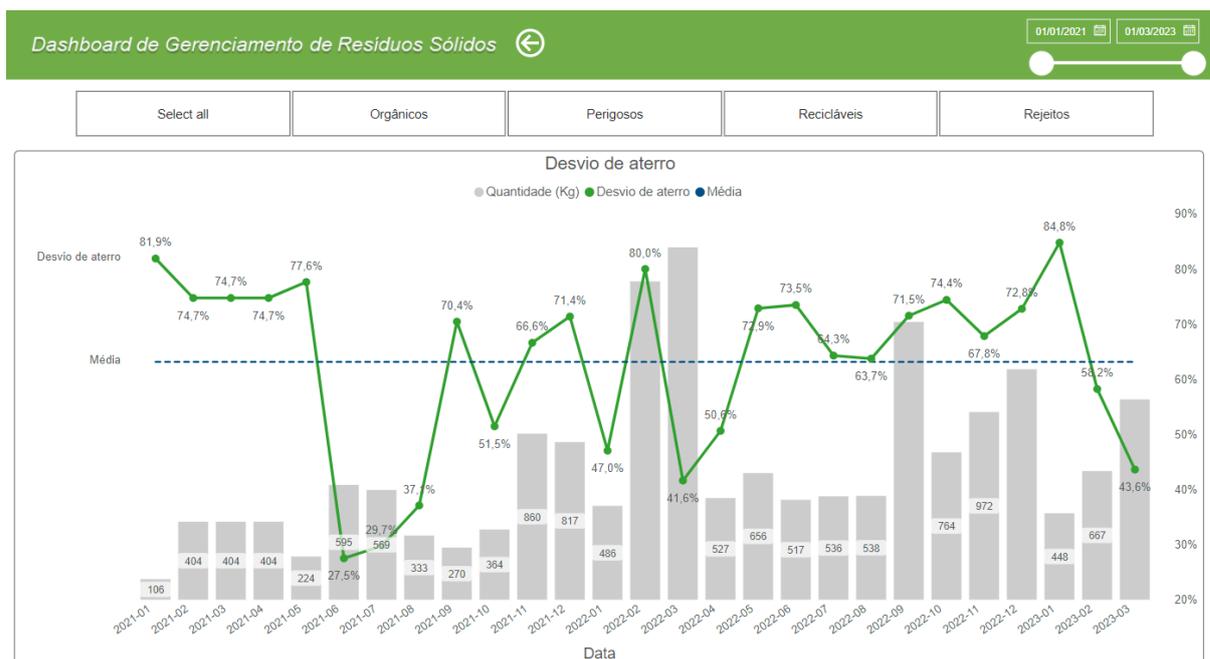
Por fim, em “Desvio de Aterro” é mostrada a evolução deste indicador, como mostrado na Figura 33. Segundo Zaman & Lehmann (2013), o desvio de aterro pode ser definido como a percentagem de resíduos total que é desviada do destino (aterro ou incineração) e é, alternativamente, encaminhada para instalações e programas de redução, reutilização, reciclagem e compostagem. A Equação (1) objetifica o cálculo.

$$Desvio\ de\ aterro = \frac{\sum Resíduos\ não\ enviados\ a\ aterro}{\sum Resíduos\ gerados} \quad (1)$$

No estudo de caso em questão, conforme diagnosticado na etapa de mapeamento de processos, os resíduos recicláveis e orgânicos são triados e desviados do aterro sanitário, sendo doados e enviados a compostagem, respectivamente. Portanto, o cálculo foi realizado de acordo com a Equação (2).

$$Desvio\ de\ aterro = \frac{\sum Recicáveis\ e\ orgânicos}{\sum Resíduos\ gerados} \quad (2)$$

Figura 33 – Painel de análise do desvio de aterro



Fonte: elaborado pelo autor.

Os filtros por tipo de resíduo na parte superior foram inseridos com o propósito de fornecer uma análise focada na influência de cada fração neste indicador.

4.6 Análise dos dados quantitativos

Nesta seção de discussão, o será dado o enfoque na análise dos resultados sintetizados a partir do mapeamento de processos e do aplicativo e dashboard desenvolvidos. Será investigada a influência de cada processo identificado na etapa de mapeamento de fontes geradoras na geração total de resíduos do parque. Adicionalmente, será analisada a geração acumulada de resíduos no período (janeiro de 2021 a março de 2023), categorizada por tipo de resíduo, para identificar quais destes apresentam maior relevância na geração total. Serão também abordados os resíduos perigosos e recicláveis, investigando quais contribuem de forma mais na geração total. Adicionalmente, será proposto um indicador comparativo que visa criar um parâmetro para discussão entre estudos semelhantes. Por fim, será feita a análise do histórico de desvio de aterro, bem como a relação de cada tipo de resíduo com este indicador, com o propósito de entender de maneira mais aprofundada os padrões de geração e gestão de resíduos na instalação em estudo.

Entendendo a importância da etapa de registro das pesagens e o impacto desta fonte de dados em um sistema de análise de geração de resíduos, o desenvolvimento e implementação do aplicativo de registro foi um pilar fundamental para o total funcionamento do sistema desenvolvido. Através dele, toda e qualquer pesagem registrada automaticamente é adicionada a base de dados, passa através do tratamento desenvolvido e é exibida no dashboard de análise.

Antes de adentrar em detalhes dos valores quantitativos, é essencial apresentar ao leitor uma síntese dos dados gerais referentes à geração de resíduos provenientes do local de estudo. O intervalo temporal para análise compreendeu o período de janeiro de 2021 a março de 2023. No decorrer deste período, os dados coletados demonstraram um acúmulo total de 18.608kg de resíduos. Desse total, observou-se que a massa de resíduos recicláveis somou 10.115kg. Os resíduos orgânicos totalizaram 1.515kg, enquanto os não recicláveis correspondiam a 900kg. Os resíduos classificados como perigosos, por sua vez, pesavam 6.079kg, os resultados são sintetizados na Tabela 2. Tendo em vista a classificação da NBR 10004, 67,33% dos resíduos gerados foram categorizados como não perigosos e 32,67% como perigosos. Este perfil de geração de resíduos oferece um panorama relevante para a compreensão das características predominantes dos resíduos produzidos no local de estudo, proporcionando assim a base para as análises subsequentes. É importante ressaltar que as análises feitas nesta seção, conforme citado anteriormente, levam em consideração a janela temporal total do estudo, entretanto, o sistema foi desenvolvido com a premissa de que o usuário pode definir o período desejado e realizar todas as interações com os painéis da mesma forma.

Tabela 2 Pesos totais

Classificação do resíduo	Peso (Kg)
Recicláveis	10.115
Orgânicos	1.515
Não recicláveis	900
Perigosos	6.079
TOTAL	18.608

Fonte: elaborado pelo autor

Uma questão crucial a ser elucidada durante o diagnóstico do local de pesquisa envolvia a identificação de atividades que exercem a maior influência na geração de resíduos do parque eólico. Através da análise do gráfico "Geração por Fonte", foi constatado que as atividades de manutenção dos aerogeradores representavam 64,99% da geração total de

resíduos. Em seguida, vem a geração do almoxarifado com 13,80%, a operação da subestação com 13,07% e a cozinha/refeitório com 8,14%. O fato de que mais da metade da geração de resíduos se originou das atividades de manutenção reforça a relevância do conceito de manutenção preventiva na diminuição da frequência de manutenções e por consequência a diminuição do total gerado. Conforme Cabral (2006), a manutenção preventiva pode resultar em uma diminuição significativa do número de avarias e falhas, mitigando assim a necessidade de intervenções corretivas e emergenciais.

Adentrando na estratificação do tipo de resíduo gerado nas atividades de manutenção, a geração proporcional de acordo com a classe do resíduo é quase igualitária, sendo que a classe I (perigosos) representa 49,07% com 5,93 toneladas e a classe II (não perigosos) representa (50,93%) com 6,16 toneladas. Os resíduos perigosos que mais contribuem são: panos e materiais combustíveis (2,21 toneladas), materiais contaminados (1,60 toneladas), filtros (0,66 tonelada) e EPI's (0,65 tonelada). Já os não perigosos se resumem a categoria “alumínio/sucata/fios de cobre”, totalizando o peso referido.

Ao realizar a análise dos resíduos gerados no processo de operação da subestação, contata-se que grande maioria (94,06%) da contribuição em massa provém de resíduos classe II, especificamente plásticos e resíduos gerais. Almoxarifado e refeitórios apresentaram 100% da geração de papel/papelão e orgânicos, respectivamente.

Um número importante que reitera a relevância das atividades de manutenção no parque é que 97,62% da geração de resíduos perigosos é proveniente delas. De acordo com conversas com os responsáveis pela operação, levando em consideração as formas de destinação adotadas no local o encaminhamento para aterro classe I é o mais oneroso, portanto é adicionado um fator financeiro importante neste processo.

Na análise da geração de resíduos por mês, observa-se que a média mensal no período de estudo foi de 689,18kg. Os meses que se destacaram com a maior geração de resíduos foram março de 2022 (1.826kg), fevereiro de 2022 (1.650kg) e setembro de 2022 (1.440kg).

Em março de 2022, notou-se uma expressiva geração de resíduos perigosos, os quais representaram 57,76% do total gerado no mês. Ao examinar o painel "Tipo de Resíduo por Fonte Geradora", verificou-se que um fator determinante para esse incremento na geração de resíduos foi o vencimento e destinação de 380kg de óleos, graxas e tintas, fenômeno que não se repetiu em outros meses.

Por outro lado, fevereiro de 2022 se sobressaiu pela elevada geração de resíduos recicláveis, especificamente fios de cobre e alumínio, provenientes de atividades de manutenção. Este mês marcou a maior geração de resíduos recicláveis do período, com a

produção de 1.222,7kg. Seguindo o mesmo padrão, setembro do mesmo ano registrou uma alta geração de resíduos recicláveis, totalizando 989,05kg, sendo o segundo maior gerador deste tipo de resíduo no intervalo de tempo analisado.

Compreendida a relevância da geração de resíduos perigosos para o local de estudo, o próximo passo é detalhar quais são os tipos desses resíduos que são mais frequentemente gerados. Conforme mencionado anteriormente, as atividades de manutenção são praticamente as únicas responsáveis pela geração de resíduos perigosos no local em estudo. Sendo assim, a análise subsequente sintetiza os principais resíduos perigosos produzidos durante a manutenção dos aerogeradores.

A categoria "Panos e Materiais Combustíveis" se destaca com uma contribuição de 2,21 toneladas para a geração de resíduos. Seguem-se os "Materiais Contaminados" (como metal, plástico, brita e serragem), que somam 1,60 toneladas. Filtros, incluindo os de óleo e de umidade, contabilizam 0,66 tonelada, enquanto Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) correspondem a 0,56 tonelada. Cada uma dessas categorias compõe um aspecto significativo da geração de resíduos perigosos nas atividades de manutenção, os valores são sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3 Resíduos perigosos de maior geração

Tipo de resíduo	Peso (Kg)
Panos e materiais combustíveis	10.115
Materiais contaminados	1.515
Filtros	900
Equipamentos de proteção individual	6.079

Fonte: elaborado pelo autor

Ao avaliar o relatório anual de sustentabilidade de 2022 da EDP Brasil (2023), uma operadora brasileira no campo de geração e distribuição de energia, observa-se uma similaridade no tipo de resíduos perigosos produzidos. O referido relatório aponta que os principais resíduos gerados incluem óleo, materiais contaminados por óleo e outros produtos químicos, lâmpadas (fluorescentes e a vapor de sódio), sucata metálica e madeira.

Prosseguindo de forma análoga, será realizada uma análise dos resíduos recicláveis que apresentam maior contribuição. A categoria "Alumínio/Sucata/Fios de Cobre" é a mais expressiva, contabilizando 6,16 toneladas. Cabe ressaltar que 100% dessa massa é proveniente das atividades de manutenção dos aerogeradores. Em seguida, "Papel/Papelão" representa 2,57

toneladas no período analisado, sendo quase integralmente originado do almoxarifado, onde se acumulam as embalagens de peças e produtos. Por fim, a categoria "Plástico", com 1,35 toneladas, e "Vidro", com 0,03 tonelada, representam a geração de resíduos provenientes da operação da subestação, retratando o cotidiano de trabalho das equipes nesse local. Esses dados, dispostos na Tabela 4, trazem à luz a importância dos resíduos recicláveis na composição total de resíduos do parque eólico.

Tabela 4 Total de geração de recicláveis

Tipo de resíduo	Peso (Kg)
Alumínio/Sucata/Fios de Cobre	10.115
Papel/Papelão	1.515
Plástico	900
Vidro	6.079

Fonte: elaborado pelo autor

A despeito da ausência de estudos de caso na literatura que analisem a geração de resíduos sólidos em parques eólicos, o estudo evidenciou a necessidade de criação de um indicador comparativo, seja em relação a estudos análogos futuros ou a outros ativos da mesma empresa operadora. Diante desta oportunidade identificada, propõe-se o indicador de geração de resíduos por aerogerador. Este indicador é estabelecido dividindo-se a massa total de resíduos gerada na manutenção dos aerogeradores pelo número total destas máquinas. Durante o período analisado, 12.093,67 quilogramas foram gerados através de atividades de manutenção, levando em consideração os 57 aerogeradores operando no parque eólico, resulta em 7,85 quilogramas por unidade por mês. Seguindo a proporção descrita para a geração desta fonte (49,07% de resíduos classe I e 50,93% de resíduos classe II) cada gerador eólico do estudo contribuiu com a geração de 3,85 quilogramas de resíduos perigosos e 3,99 quilogramas de resíduos recicláveis, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 Resíduo gerado por aerogerador

Classificação NBR 10.004	Peso (Kg)
Classe I	3,85
Classe II	3,99

Fonte: elaborado pelo autor

O painel de desvio de aterro permite o monitoramento desse indicador ao longo do período de análise. Conforme a formulação deste indicador, é esperado que haja uma variação correlacionada à geração proporcional de cada tipo de resíduo e à sua respectiva destinação final. O percentual de desvio de aterro oscilou entre um valor mínimo de 27,5% em junho de 2021 e um valor máximo de 84,8% em janeiro de 2023. A média para o período total foi de 63,13%. Como esperado, a proporção de resíduos perigosos no mês de menor desvio de aterro foi a mais elevada do período, alcançando 69,67%. Por outro lado, em janeiro de 2023, os resíduos recicláveis representaram 67,02% da geração total, mês em que se verificou o maior percentual de desvio de aterro. Esses dados ressaltam a relação intrínseca entre a composição dos resíduos gerados e o índice de desvio de aterro.

O indicador desvio de aterro é diretamente relacionado com o conceito de operação lixo zero. O conceito de lixo zero, conforme expresso pela *Zero Waste International Alliance* (ZWIA), é baseado na ideia de que todos os materiais descartados são recursos que não devem ser queimados ou enterrados. O objetivo é atingir zero emissões no ar, água e terra, desviando 90% ou mais de todos os materiais descartados dos aterros sanitários e incineradores. Além disso, exige um compromisso com a melhoria contínua para reduzir o resíduo restante que vai para aterros sanitários ou incineradores a cada ano e a eliminação completa da queima de resíduos. As empresas e comunidades que aderem a este conceito devem seguir diretrizes específicas para serem reconhecidas como *Zero Waste* (ZWIA, 2014).

No Brasil, a entidade que representa a ZWIA, o Instituto Lixo Zero Brasil (ILZB), atua como órgão certificador lixo zero e classifica as empresas em três classes: compromisso com o lixo zero, selo rumo ao lixo zero e empresa lixo zero. O Compromisso com o Lixo Zero é uma iniciativa anual para empresas ou eventos que estão iniciando a jornada para a sustentabilidade, com o indicador de desvio de aterro de até 49,9%, representando um compromisso público de busca por práticas de Lixo Zero. Já o selo rumo ao lixo zero é uma certificação anual para empresas ou eventos que desviam entre 50 e 89,9% de seus resíduos, indicando que estão no caminho para alcançar a meta de Lixo Zero. A obtenção do selo requer uma auditoria. A certificação lixo zero é concedida apenas a empresas ou eventos que encaminham corretamente 90% ou mais de seus resíduos, validando sua condição lixo zero. Esta certificação anual também requer uma auditoria para sua obtenção (ILZB, c2023).

Com base nos parâmetros acerca da certificação lixo zero, é possível enquadrar o parque eólico de estudo dentre as três classificações propostas pelo Instituto Lixo Zero Brasil. Durante os 27 meses de análise, o desvio médio obtido foi de 63,13%, portanto, o ativo é enquadrado como “rumo ao lixo zero”. Indústrias de diversos setores iniciaram um movimento

de monitorar este indicador em busca de evidenciar boas práticas no gerenciamento dos resíduos sólidos, como a *Campari Group*, do setor de bebidas. De acordo com a base de dados do instituto lixo zero, o grupo obteve o certificado lixo zero em maio de 2022, comprovando o desvio de 98,1% dos resíduos gerados do aterro sanitário. Já a MWN Tupy (metalúrgica), assinou o compromisso com lixo zero, por obter um indicador menor que 50%. Estes casos demonstram a importância deste indicador em mercados que buscam companhias engajadas com a sustentabilidade.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista a crescente participação da energia eólica na matriz energética brasileira, o desenvolvimento deste estudo de caso proporcionou uma compreensão inicial da relação entre o tema e o aspecto ambiental da geração de resíduos sólidos na operação destes complexos. Entretanto, é importante ressaltar que esta não é a única fase do ciclo de vida que gera os resíduos, sendo importante também um olhar para o fim do ciclo de vida dos parques, onde grandes componentes terão de ser destinados da maneira correta.

Os objetivos estabelecidos para o estudo foram alcançados, visto que a pesquisa forneceu subsídios para a identificação dos principais processos que influenciam a geração de resíduos no parque eólico de estudo, a caracterização e quantificação dos resíduos gerados e o desenvolvimento de um sistema integrado (entrada, tratamento e visualização de dados) para a análise da geração no local. A partir da análise e discussão do produto do projeto, foi possível constatar que a ferramenta tem potencial para fornecer aos gestores deste setor um diagnóstico e uma gama de análises a respeito do gerenciamento, capaz de nortear tanto a gestão quanto a tomada de decisão operacional, conforme depoimento de um colaborador da empresa operadora presente no Apêndice A.

A construção do projeto teve início com a fase de contextualização do tema, apoiada por pesquisa bibliográfica combinada com pesquisa de campo no local de estudo. Esta etapa foi de fundamental importância, pois permitiu um maior entendimento de conceitos ligados ao gerenciamento de resíduos sólidos bem como o diagnóstico do local e mapeamento de processos, que embasariam as próximas etapas.

Após a definição de conceitos e processos, os dados de pesagem dos resíduos gerados entre janeiro de 2021 e março de 2023 foram consolidados por meio de pesquisa documental para formar uma base de dados unificada. Nesta etapa, houve a caracterização dos resíduos de acordo com a NBR 10.004, fração e fonte geradora. Como oportunidade de melhoria de processo observada nesta etapa, um aplicativo *mobile* de entrada de dados foi desenvolvido através do software Microsoft Power Apps, com o objetivo de maior agilidade e confiabilidade no registro das pesagens.

A etapa subsequente envolveu o tratamento dos dados por meio do Power Query, garantindo a correta relação entre os dados através do *Star Scheme*, com a criação de tabelas dimensão e fato. Ao todo, foram geradas 6 tabelas dimensão e uma tabela fato.

Por fim, com os dados preparados, foi desenvolvido o dashboard de análise dos dados. Esta etapa teve como premissa a criação de painéis interativos que permitissem ao usuário

análises variando a classificação do resíduo e o local de geração, sempre com a liberdade de arbitrar o intervalo de data desejado. Além disso, um painel detalhando a evolução do indicador desvio de aterro no período permite ao usuário um olhar crítico a respeito das formas de destinação adotadas no empreendimento.

Ao analisar os dados por meio da plataforma desenvolvida, destacou-se a significativa representatividade das atividades de manutenção na geração de resíduos do parque, tanto para resíduos perigosos quanto para não perigosos. Este fato reitera a importância dos conceitos de manutenção preventiva e corretiva, abordados no tópico de referencial teórico. Ademais, constatou-se que os resíduos perigosos gerados na unidade provem majoritariamente deste tipo de atividade, fato que evidencia o fator econômico das atividades de manutenção diante o gerenciamento dos resíduos do parque, dado que o custo de destinação deste tipo de material é o mais oneroso para a empresa operadora. Ao adentrar em análises segmentadas pelo tipo de resíduo gerado, foi possível compreender quais os resíduos perigosos são gerados em maior quantidade bem como para as demais frações. A análise de desvio de aterro permitiu classificar o empreendimento de acordo com as classificações do Instituto Lixo Zero Brasil (ILZB) como “rumo ao lixo zero”, com um desvio de aterro médio de 63,13%.

Diante da oportunidade identificada de criar um indicador comparável com outros estudos ou usinas da mesma empresa, sugeriu-se a implementação do indicador de geração de resíduos por aerogerador, que distribui igualmente a geração proveniente das atividades de manutenção dos geradores eólicos pelo número total de aerogeradores, 57 no caso do estudo.

Como limitações deste estudo, destacam-se duas. A primeira foi a dificuldade de encontrar estudos de caso semelhantes, focados na análise da geração de resíduos em usinas de geração eólica, o que limitou a capacidade de discussão comparativa com outros ativos. O segundo foi a limitação da análise dos resíduos classificados como não recicláveis, uma vez que os relatórios utilizados como fonte primária de dados sintetizaram estes em uma única categoria, “resíduos gerais”, que contemplava diversos tipos de resíduos.

Considerando que a pesquisa desenvolvida é um passo inicial acerca do conhecimento e do estudo dos resíduos gerados em complexos eólicos, recomenda-se em estudos futuros a estruturação de um modelo de coleta e de base de dados capaz de segmentar os resíduos gerados por tipo de manutenção (preventiva ou corretiva), identificando de qual aerogerador a geração se origina. Além disso, sugere-se a análise da influência da sazonalidade dos ventos na geração de resíduos, bem como uma análise econômica relacionando o potencial de receita por meio da comercialização de resíduos recicláveis e a diminuição dos custos de destinação de resíduos perigosos com a adoção de logística reversa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. “Relatório competitividade do setor de bens e serviços ambientais”. Relatório de Acompanhamento Setorial. 220 p., 2012.

ABEEólica dialoga para avaliar impactos da Covid -19. 2020. **Website Canal Energia**. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53133107/abeeolica-dialoga-para-avaliar-impactos-da-covid-19>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ABEEÓLICA. Números Abeeólica – fevereiro de 2019. 2019. **Website ABEEólica**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wcontent/uploads/2019/02/N%C3%BAmeros-ABEE%C3%B3lica-02.2019.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2022. **Website Abrelpe**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 12 ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2010.

ARRIBAS, L. **Energia Mini-Eólica**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12235: **Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**, Rio de Janeiro, 1992.

AZEVEDO, J. P. M; NASCIMENTO, R. S; SCHRAM, I. B. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XX., 2016, São José dos Campos. **ENERGIA EÓLICA E IMPACTOS AMBIENTAIS: UM ESTUDO DE REVISÃO [...]**. São José dos Campos: UNIVAP, 2016. p. 1-6. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1161_01.pdf. Acesso em: 23 jun. 2023.

BEKAERT, Belgo. Como são construídas as torres de energia eólica. 2020. **Website GEOTECH**. Disponível em: <https://blog.belgobekaert.com/geotech/energia-eolica/#:~:text=Hoje%2C%20elas%20t%C3%AAm%20uma%20m%C3%A9dia,metros%20em%20um%20futuro%20pr%C3%B3ximo>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BEZERRA, Francisco Diniz. Energia Eólica no Nordeste. **Banco do Nordeste, Caderno Setorial ETENE**, [s. l.], ano 6, n. 200, p. 13, dez. 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1045/1/2021_CDS_200.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Oportunidades para o Nordeste em Energia Eólica**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.177, jul. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 out. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, seção 1, n. 147, 3 ago. 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais**. Brasília: [s. n.], 2012.

BRESSANELLI, G., ADRODEGARI, F., PERONA, M., SACCANI, N. Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. **Sustainability**, Switzerland, v. 10, n. 3, 2018.

CABRAL, J. P. **Organização e Gestão da Manutenção - dos conceitos à prática**. Lisboa: Lidel, 2006.

CARLETO, Nivaldo. **Subestações elétricas**. 1 ed. Brasília: NT Editora, 2017. Disponível em: <https://avant.grupont.com.br/dirVirtualLMS/arquivos/arquivosPorRange/0000000573/texto/2d3dc838e5147a37783f0bba1d51605b.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CARLOS, S.; SÁNCHEZ, A.; MARTORELL, S.; MARTON, I. Onshore wind farms maintenance optimization using a stochastic model. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 57, n. 7, p. 1884-1890, abr. 2013.

CGT ELETROSUL. Subestação Areia chega aos 44 anos de operação. 2020. **Website da CGT Eletrosul**. Disponível em: <https://www.cgteletrosul.com.br/sala-de-imprensa/noticias/subestacao-areia-chega-aos-44-anos-de-operacao>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CHERRINGTON, Ruth *et al.* Producer responsibility: Defining the incentive for recycling composite wind turbine blades in Europe. **Energy Policy**, [s.l.], v. 47, p.13-21, ago. 2012.

COIMBRA, Diana Sofia Coelho. **A importância da manutenção preventiva e corretiva na gestão de energia em grandes edifícios de serviços (Campus do LNEG Alfragide)**. 2016. 224f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1998.

DE ANDRADE, Rafael Medeiros; FERREIRA, João Alberto. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 6, n. 1, mar. 2011.

EDP BRASIL. **Relatório Anual 2022 – Caderno ESG**. São Paulo: EDP Brasil, 2023. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/fdc31e8d-cd08-47c5-8b5c-3f120d561d2b/115f88b5-7bc7-9452-d0fb-31240d2a6357?origin=1>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ENEL. Nossos negócios. c2023. **Website da ENEL**. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/quemsomos/a201611-nossos-negocios.html>. Acesso em: 18 jun. 2023.

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia eólica**. 1 ed. [S. l.] : Manoele Ltda., 2011.

FAGUNDES, Alexandre Borges; SILVA, Maclovia Corrêa da; MELLO, Renato de. A gestão dos resíduos industriais em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos: Uma contribuição para as Micro e Pequenas Empresas. *Espacios*, v. 36, n. 1, p. 6, 2015. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a15v36n01/15360106.html>. Acesso em: 18 jun. 2023.

FERREIRA, J. A. Resíduos Sólidos: perspectivas atuais. In: SISINNO, C. L. S. **Resíduos Sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000, p. 19-40

FERREIRA, L. A. **Uma introdução à Manutenção**. Porto: Publindústria, 1998.

FRÉSCA, Fábio Rogério Carvalho. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Saneamento rural. 2012. **Website da FUNASA**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/#prettyPhoto>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GARRÉ, Saulo de Oliveira. **Avaliação experimental do desempenho aerodinâmico de pequenas turbinas eólicas confeccionadas em prototipagem 3D**. 2015. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

GEIGER, R.; HANNAN, Y.; TRAVIA, W.; NABONI, R.; SCHLETTE, C. Composite wind turbine blade recycling: Value creation through Industry 4.0 to enable circularity in repurposing of composites. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 942, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1088/1757-899X/942/1/012016>

GOMES, Rodrigo dos Santos. Ambiente de desenvolvimento low-code: estudo de caso da utilização da ferramenta Microsoft Power Apps na empresa Ferrovia Tereza Cristina para o desenvolvimento de soluções. 2021. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências da Computação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021

GUIMARÃES, Leandro. Quais as vantagens do Power BI? Saiba como implementar! 2022. **Website Know Solutions**. Disponível em: <https://www.knowsolution.com.br/vantagens-power-bi-implementar/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management**. Washington: World Bank, 2012.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

ILZB. Certificação Lixo Zero. c2023. **Website Certificação Lixo Zero do Instituto Lixo Zero Brasil (ILZB)**. Disponível em: <https://certificacaolixozero.com.br/certificacao-lixo-zero/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais**. Brasília: Ipea, 2012

JENSEN, J. P.; REMMEN, A. Enabling Circular Economy Through Product Stewardship. **Procedia Manufacturing**, vol. 8, p. 377-384, 2017.

KHORRAM, Faezeh; MOTTU, Jean-Marie; SUNYÉ, Gerson. (2020). Challenges & opportunities in low-code testing. In: 23rd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS '20 Companion), 23., out. 2020, Virtual, Canada. **Proceedings [...]**. [S. l.] : HAL Open Science, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347478419_Challenges_opportunities_in_low-code_testing. Acesso em: 23 jun. 2023.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Printice Hall, 2003.

LETCHER, T. M. **Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines**. [S. l.] : Joe Hayton, 2017.

LIU, P.; BARLOW, C. Y. Wind turbine blade waste in 2050. **Waste Management**, v. 62, p. 229-240, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.007>.

LOPES, Gerson Vargas; KEMERICK, Pedro Daniel da Cunha. Resíduos de oficina mecânica: proposta de gerenciamento. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 8, n. 1, p. 81-94. 2007.

LORA, E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. Brasília: ANEEL, 2000. 503p.

MACHUCA, Mônica Nassar. Análise ambiental, técnica e econômica da pós-operação de parques eólicos. 2015. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina; Centro Tecnológico, Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2015.

MAGERA, M. C. **Os empresários do lixo: análise interdisciplinar das Cooperativas de reciclagem de lixo**. 2 ed. Campinas, SP: Átomo, 2005.

MANWELL, J.F.; MCGOWAN, J.G.; ROGERS, A.L. **Wind Energy Explained: Theory, Design and Application**. Chichester, New York: Wiley, 2002.

MARIGA, J. T. Resíduos Sólidos e Meio Ambiente Urbano. **Revista Varia Scientica**, v. 5, n. 10, p. 177-187, 2006. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientia/article/viewfile/255/184>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MARINI, Matheus. **Avaliação da vida útil de transformadores da subestação de uma usina eólica**: um estudo de caso no nordeste brasileiro. 2022. 75 f. Monografia (Bacharelado) – Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

MAVROPOULOS, A. Megacities Sustainable Development and Waste Management in the 21st Century. 2010. **Website ISWA**. Disponível em: http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/Mavropoulos.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. Apresentar os dados em um gráfico de rosca. c2023c. **Website Suporte da Microsoft**. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/apresentar-os-dados-em-um-gr%C3%A1fico-de-rosca-0ac0efde-34e2-4dc6-9b7f-ac93d1783353>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. Conceito. c2023d. **Website Power BI da Microsoft**. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/pt-br/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. Documentação do Power Apps. 2023g. **Website Learn da Microsoft**. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/powerapps/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. Entenda o esquema em estrela e a importância para o Power BI. 2023b. **Website Learn da Microsoft**. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/guidance/star-schema>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. Introdução ao Power BI. 2023e. **Website Learn da Microsoft**. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-bi/guided-learning/gettingstarted?tutorial-step=1>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. O que é o Power Query?. 2023a. **Website Learn da Microsoft**. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-query/power-query-what-is-power-query>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. O que é Power BI. 2023f. **Website Learn da Microsoft**. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-pt/power-bi/power-bi-overview>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MICROSOFT. O que é Power Query. 2023h. **Website Learn da Microsoft**. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-query/power-query-what-is-power-query>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MIGUEL, Â. M. M. F. **Operação e manutenção de um parque eólico**: análise de riscos. 2014. 65 f. Trabalho final de curso em contexto real (Pós-graduação em Segurança e Higiene do Trabalho) – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Escola de Ciências Económicas e das Organizações, Lisboa, 2014. Disponível em:

PT)/Publicacoes/ProjetosApoiados/2012/Documents/%C3%82ngela%20Miguel.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

MINSKI, Guilherme. **Aplicação do prazo agregado na gestão da construção de complexos eólicos**. 2018. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe; MIRANDA, Jullia Mercedes. Arranjo de subestação: um estudo de revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, 2021.

MORAIS, George Lopes. **Projeto aerodinâmico de pás de uma turbina eólica**. 2018. 45 f. Monografia (graduação) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Mecânica, Caraúbas, 2018.

MOURA, Erick Alves de. O que é o Microsoft Power Apps e para que serve?. jun. 2020. **Website Trinapse**. Disponível em: <https://www.trinapse.com.br/blog/o-que-e-o-microsoft-power-apps/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PAIVA, Zaira Pereira de. **Segurança na movimentação de cargas pesadas em parques de energia eólica**: uma revisão da literatura. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-árido, 2022.

PENELUC, Magno da Conceição; SILVA, Sueli Almuíña Holmer. Educação ambiental aplicada à gestão de resíduos sólidos: análise física e das representações sociais. **Periódico FAGED**, n. 14, p. 135-165, jul./dez. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/1427>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PEREIRA, Enio B. Segurança energética: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais. In: Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas. São Paulo, 28 a 30 de setembro de 2016. [**Apresentação**]

PINTO, Milton. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.

PODCAMENI, Maria Gabriela. Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial. **Econômica**, v. 16, n. 2, 2014.

PORTILHO, F. **Sustentabilidade Ambiental, Consumo e Cidadania**. São Paulo: Cortez, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SEABRA: **Mapa de localização**. Seabra, 2011. Disponível em: <https://www.seabra.ba.gov.br/pagina/mapa>. Acesso em: 23 jun. 2023.

RAMOS JÚNIOR, Mário Joel; ALMEIDA, Edna dos Santos. Destinação de pás de turbinas eólicas instaladas no Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 979-992, 2021.

RAMOS, Mariana Rocha. **Power Business Intelligence como ferramenta na gestão de processos**: um estudo de caso na Empresa Alfa. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

RATNER, S.; GOMONOV, K.; REVINOVA, S.; LAZANYUK, I. Eco-design of energy production systems: The problem of renewable energy capacity recycling. **Applied Sciences**, v. 10, n. 12, p. 4339, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10124339>.

RAUT, R. D.; JAIN, S. K.; SHARMA, P. Data Analytics as a Tool for Promoting Circular Economy: Opportunities in Waste Management. **Journal of Sustainable Production and Consumption**, v. 23, p. 47-59, 2021.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS, Carlos Mello. A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 13, n. 3, p. 5-13, 2008.

ROVERSI, Clério André. **Destinação dos resíduos sólidos no meio rural I**. 2013. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

SAMPAIO, Keila Regina Alves; BATISTA, Valmir. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e57710112107-e57710112107, 2021.

SANTOS, Simone Machado. **Gerenciamento do Destino Final dos Resíduos Sólidos Municipais na Região Metropolitana do Recife**: histórico e proposições. 2007. 192 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5321/1/arquivo6257_1.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

SARDINHA, Rita Duarte. **Seleção de Estratégia de Sourcing em Atividades de Manutenção num Parque Eólico**: Uma Análise Multicritério. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017.

SARTORI, Hiram J. F. **Discussão sobre a caracterização física de resíduos sólidos domiciliares**. 1995. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.

SEPPE, Fabrício Ribeiro et al. The Power Business Intelligence (PBI) tool in research and development project management: A ferramenta Power BI no gerenciamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento. **Concilium**, v. 23, n. 6, p. 199-211, 2023.

SILVA, A. B.; COSTA, F. P.; SANTOS, V. L. A Importância dos Sistemas de Informação no Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Uma Abordagem do Impacto na Eficiência e Redução de Custos. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, p. 345-360, 2018.

SILVA, Anna Kelly Moreira da. **Resíduos sólidos industriais da cidade de Teresina**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, 2008.

SOUSA, Mikaelle Azevedo de; COSTA, Patrícia Lacerda de Oliveira; SUGAHARA, Juliana Wayss. DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. In: *Conexão UNIFAMATRO 2020 - VIII Encontro de Monitoria e Iniciação Científica*, 8., 2020. **Anais...** [S. l.] : UNIFAMETRO, 2020. Disponível em: <https://doity.com.br/media/doity/submissoes/5f9c3110-3704-4c03-ba2f-71140a883292-resumo-com-ressalva-revisadpdf.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SOUZA, Flávio Roberto de. **Análise comparativa de arranjos de subestações por estudos de confiabilidade**. 2003. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

STEVENSON, W. D. **Elementos de análise de sistemas de potência**. [S.l.]: McGraw-Hill do Brasil, 1974.

SULTAN, A. A. M.; MATIVENGA, P. T.; LOU, E. Managing supply chain complexity: Foresight for wind turbine composite waste. **Procedia CIRP**, v. 69, p. 938-943, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.027>

TEREZA, Jaymara Chagas. **Levantamento de opinião sobre o descomissionamento de parques eólicos no Brasil**. 2019. 44 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

UNFPA – United Nations Population Fund. **State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth**. New York: UNFPA; 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Decision-Makers' Guide to Solid Waste Management**, Volume II. 2 ed. Washington, D.C.: EPA, 1995.

WASZKOWSKI, Robert. Low-code platform for automating business processes in manufacturing. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 10, p. 376-381, 2019. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405896319309152?token=E1DABADCD6CF985047F5D24AEB5B4C4705C50AFA1B41C964C4B216A86C381A0062C86F5AA20726799BB0B373794D27B9&originRegion=us-east-1&originCreation=20210617202655>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ZAMAN, Atiq Uz; LEHMANN, Steffen. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 50, p. 123-132, jul. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261200635X>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ZWIA. What Does Zero Waste Mean? Zero is Zero. 2014. **Website Zero Waste International Alliance**. Disponível em: <https://zwia.org/policies/#zeroiszero>. Acesso em: 18 jun. 2023.

APÊNDICE A – DEPOIMENTO DE UM USUÁRIO DA PLATAFORMA

“A digitalização de procedimentos e controles traz inúmeros benefícios para as empresas, dentre eles a facilidade em encontrar e compartilhar informações, a consolidação e tratamento de dados de acordo com a necessidade da ocasião e o cruzamento de elementos para elaboração de análises cada vez mais complexas e assertivas. A apresentação de dados em forma de dashboard, além de ser uma ótima ferramenta para aprimoramento dos processos de tomada de decisão de forma estratégica pela gestão, também se mostra inclusiva para os mais diversos públicos, uma vez que possibilita, ao mesmo tempo, a leitura objetiva e clara dos dados mensurados pelos leitores com menor conhecimento técnico e a realização de análises especializadas sobre o tema com a base de dados fornecida. O dashboard de Gerenciamento de Resíduos Sólidos se apresentou como uma solução eficiente para aprimoramento e aumento de agilidade nas rotinas e demandas aplicáveis a ela, sendo rapidamente absorvida pelos colaboradores e pelos procedimentos vigentes” **F.W.** (Colaborador da empresa operadora do parque eólico de estudo)