



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e
Aplicadas Colegiado do curso de
Engenharia de Produção



USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PROCESSOS CONTÍNUOS: UM ESTUDO EM UMA GRANDE CORPORAÇÃO DO BRASIL

JOÃO VITOR PROCÓPIO ANDRADE ROCHA

João Monlevade, MG
2024

João Vitor Procópio Andrade Rocha

**USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PROCESSOS
CONTÍNUOS: UM ESTUDO EM UMA GRANDE
CORPORAÇÃO DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Evangelista Silva

João Monlevade, MG

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R672u Rocha, João Vitor Procópio Andrade.

Uso de energias renováveis em processos contínuos [manuscrito]: um estudo em uma grande corporação do Brasil. / João Vitor Procópio Andrade Rocha. - 2024.

64 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Evangelista Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Energia - Indústria. 3. Energia elétrica - Produção. 4. Indústria mineral - Consumo de energia. 5. Recursos energéticos. 6. Sustentabilidade. I. Silva, Sergio Evangelista. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.31:502

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



FOLHA DE APROVAÇÃO

João Vitor Procópio Andrade Rocha

Uso de Energias Renováveis em Processos Contínuos: Um Estudo em uma Grande Corporação do Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharelem Engenharia de Produção

Aprovado em 06 de Fevereiro de 2024

Membros da banca

Prof. Dr. Sérgio Evangelista Silva - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Prof. Dr. Rafael Lucas Machado Pinto - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Sávio Figueira Corrêa - Universidade Federal de Ouro Preto

Sérgio Evangelista Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Sérgio Evangelista Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2024, às 10:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0667919** e o código CRC **A103C6F1**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.001637/2024-96

SEI nº 0667919

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: (31)3808-0817 - www.ufop.br

Dedico este trabalho a todos que, de uma forma ou de outra, tornaram esta jornada possível e significativa. À minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou ao longo dessa trajetória, dedico com todo o meu amor e gratidão. Cada conquista é também de vocês. À

Universidade Federal de Ouro Preto, por oferecer uma educação de qualidade e oportunidades de crescimento, minha dedicação. Esta instituição desempenhou um papel fundamental na minha formação. Ao meu orientador e Mestre, Sergio Evangelista Silva, cuja orientação, apoio e conhecimento moldaram este trabalho, dedico com profundo respeito e admiração. A todos os professores do DEENP que compartilharam seu conhecimento e experiência, e a todos os profissionais da área de Engenharia de Produção que inspiraram minha escolha, minha dedicação a vocês.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que desempenham um papel fundamental na minha vida. Sem o apoio e contribuição de cada um, chegar neste momento não teria sido possível.

Primeiramente, desejo agradecer à Deus pelo dom da sabedoria a mim concedido e a dadiva da vida. À minha mãe, que sempre me apoiou em todas as etapas da minha jornada acadêmica, muito obrigado por sua compreensão, incentivo e amor incondicional.

Ao meu orientador e Mestre, Sergio Evangelista Silva, pelo seu incansável apoio, orientação e dedicação ao longo deste processo. Suas valiosas sugestões e insights foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. À Universidade Federal de Ouro Preto, por proporcionar um ambiente propício para a pesquisa e aprendizado, minha gratidão.

RESUMO

Este trabalho aborda a interdependência crucial entre a indústria de mineração e a geração de energia no Brasil, enfatizando a necessidade de um desenvolvimento sustentável. A mineração, vital para a economia brasileira, é responsável por uma contribuição significativa ao PIB e às exportações do país, enquanto consome uma parcela substancial da eletricidade gerada. Minas Gerais, um estado central neste cenário, possui uma história rica em geração de energia e mineração. Este estudo explora a sustentabilidade, um conceito crucial no atual cenário global, abrangendo dimensões ambientais, econômicas e sociais. A pesquisa investiga como esses setores influenciam a economia nacional e aponta para a necessidade de equilibrar o desenvolvimento industrial com os recursos energéticos disponíveis, promovendo uma gestão consciente e planejada. A lacuna teórica identificada reside na compreensão das inter-relações entre mineração, geração de energia e sustentabilidade no contexto específico do Brasil. O trabalho justifica-se pela importância de integrar práticas sustentáveis na indústria de mineração e geração de energia, áreas vitais para o desenvolvimento econômico nacional. O objetivo do estudo é investigar a utilização de energias renováveis e não renováveis em processos contínuos na mineração, focando na empresa Vale, e compreender os benefícios, desafios técnicos e operacionais dessa transição. O método utilizado é uma análise qualitativa e quantitativa, baseada na coleta e interpretação de dados públicos e corporativos, enfocando na empresa Vale. Os principais resultados indicam que a transição para energias renováveis é viável e benéfica, mas enfrenta desafios técnicos e operacionais. O estudo contribui para a literatura ao oferecer uma visão abrangente das interconexões entre mineração, geração de energia e sustentabilidade, delineando caminhos para um desenvolvimento industrial mais sustentável no Brasil.

Palavras-chave: Mineração. Sustentabilidade. Geração de Energia. Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

This work addresses the crucial interdependence between the mining industry and energy generation in Brazil, emphasizing the need for sustainable development. Mining, vital to the Brazilian economy, is responsible for a significant contribution to the country's GDP and exports, while consuming a substantial portion of the electricity generated. Minas Gerais, a central state in this scenario, has a rich history in energy generation and mining. This study explores sustainability, a crucial concept in the current global scenario, covering environmental, economic and social dimensions. The research investigates how these sectors influence the national economy and points to the need to balance industrial development with available energy resources, promoting conscious and planned management. The theoretical gap identified lies in understanding the interrelationships between mining, energy generation and sustainability in the specific context of Brazil. The work is justified by the importance of integrating sustainable practices in the mining and energy generation industry, areas vital for national economic development. The objective of the study is to investigate the use of renewable and non-renewable energy in continuous mining processes, focusing on the company Vale, and understand the benefits, technical and operational challenges of this transition. The method used is a qualitative and quantitative analysis, based on the collection and interpretation of public and corporate data, focusing on the company Vale. The main results indicate that the transition to renewable energy is viable and beneficial, but faces technical and operational challenges. The study contributes to the literature by offering a comprehensive view of the interconnections between mining, energy generation and sustainability, outlining paths for more sustainable industrial development in Brazil.

Keywords: Mining. Sustainability. Power generation. Sustainable Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	– Matriz energética do Brasil em 2022	7
Figura 02	– Matriz elétrica do Brasil em 2021 e 2022	8
Figura 03	– Comparação da utilização de fontes renováveis e não renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo em 2021	8
Figura 04	– Participação no consumo de energia primária proveniente do vento, 2022	12
Figura 05	– Exemplo do funcionamento de uma usina hidrelétrica.....	15
Figura 06	– Exemplo do circuito de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil	16
Figura 07	– Localização de jazidas minerais no estado de Minas Gerais.	17
Figura 08	– Fluxo de produção mineral baseado nas operações de Itabira - MG.....	30
Figura 09	– Matriz de consumo de energia por fonte na Vale em 2021	32
Figura 10	– Matriz de consumo de energia por fonte na Vale em 2022	33
Figura 11	– Participação de fontes renováveis na cadeia produtiva global da Vale (em mil TJ).....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	21
Tabela 2	– Fontes documentais de dados utilizados na análise da pesquisa	25
Tabela 3	– Objetivos e status de atingimento da Vale associados a agenda 2030.....	27
Tabela 4	– Intensidade de energia consumida por produto na Vale.....	31
Tabela 5	– Análise comparativa da matriz energética da Vale (2021 vs. 2022)	33
Tabela 6	– Vantagens e desvantagens associadas às fontes de energia não renováveis	35
Tabela 7	– Vantagens e desvantagens associadas às fontes de energia renováveis.....	36
Tabela 8	– Ativos de autogeração de energia elétrica da Vale	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ANM Agência Nacional de Mineração

BEN Balanço Energético Nacional

COP Conferência do Clima de Paris

EBC Empresa Brasil de Comunicação

EPE Empresa de Pesquisa Energética

ESG Ambiental, Social e Governança

GEE Gases de Efeito-Estufa

GISTM Padrão Global da Indústria para Gestão de Rejeitos

GOV Governo

ICMM Conselho Internacional de Mineração e Metais

IPCC Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MG Minas Gerais

MME Ministério de Minas e Energia

OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU Organização das Nações Unidas

PCH Pequena Central Hidroelétrica

PIB Produto Interno Bruto

REN21 *Renewable Energy Network for 21st Century*

UHE Usina Hidroelétrica

WECD Comissão Mundial em Ambiente e Desenvolvimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo geral	3
1.1.1	Objetivos específicos	4
1.2	Contribuições	4
1.3	Organização do trabalho	5
2	REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1	Matriz elétrica e energética brasileira	6
2.2	Combustíveis fósseis	9
2.3	Energias renováveis	9
2.3.1	Energia da biomassa	10
2.3.2	Energia eólica	11
2.3.3	Energia fotovoltaica	12
2.3.4	Energia hidráulica	14
2.4	Geração e transmissão de energia	16
2.5	Mineração e energia	16
2.6	A mineradora Vale	19
2.7	Sustentabilidade	19
2.8	Agenda ambiental	21
3	METODOLOGIA	24
3.1	Classificação metodológica	24
3.2	Procedimentos para desenvolvimento da pesquisa	25
3.3	Coleta de dados	25
3.4	Análise dos dados	26
4	RESULTADOS	27
4.1	Avaliação do alinhamento da Vale com os ODS	27
4.2	Processos produtivos da extração mineral	28
4.3	Consumo de energia e fontes utilizáveis pela empresa nos processos produtivos	29
4.3.1	Análise comparativa das fontes de energia utilizadas pela empresa.....	35
4.4	Autoprodução de energia elétrica	37
5	ANÁLISES	40
5.1	Estratégia de matriz energética	40
5.2	Autoprodução e autossuficiência	41

5.3	Impactos ambientais e sustentabilidade	42
5.4	Desafios e limitações	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS.....	47
	APÊNDICE – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS	52

1 INTRODUÇÃO

Até o Século XX, por conta da Revolução Industrial, o homem vivera em torno do ideário de crescimento econômico a todo custo, não existindo até então uma preocupação bem definida acerca da natureza e dos recursos naturais, elementos utilizados unicamente sob a ótica da produção industrial. Deste modo, a humanidade não considerava que o teor das mudanças empreendidas por suas ações ameaçaria silenciosamente o equilíbrio natural, e conseqüentemente, a si própria. Entretanto, a partir da segunda metade do Século XX as sociedades finalmente despertaram para a devida preocupação com o meio ambiente. Infelizmente, a percepção da importância da questão ambiental só emergiu por conta das conseqüências negativas do crescimento econômico irresponsável (ANDREÃO *et al.*, 2017).

Nesse contexto, vários desastres naturais, como a intensificação de furacões, derretimento das geleiras polares e as constantes migrações humanas começam a ser conseqüências diretas das mudanças climáticas, um claro sinal de que a situação alcançou níveis alarmantes. Sendo as atividades antrópicas os maiores causadores da mudança do clima e pelo rumo da degradação ambiental, o uso de fontes energéticas que colaboram com os gases do efeito estufa (GEE) e, por conseguinte, do efeito estufa, fazem com que as mudanças climáticas desse século influenciem os rumos da humanidade (FERREIRA, 2017).

O aumento da temperatura média do planeta acarreta mudanças na intensidade e frequência de chuvas, na evaporação das águas, na temperatura dos oceanos, dentre outros fenômenos, que são alterações no sistema climático geradas pelo aquecimento global, que por sua vez é provocado pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) pelas atividades de responsabilidade antrópica (MARTINS, 2015).

A questão ambiental, tanto global quanto local, e os recentes avanços tecnológicos transformaram as energias renováveis na escolha prioritária para a expansão de capacidade de geração elétrica. Energias renováveis são aquelas provenientes de fontes naturais que se regeneram constantemente, como a solar, eólica, hidráulica, geotérmica e biomassa. Essas fontes são consideradas inesgotáveis em escala humana e possuem baixo impacto ambiental em comparação às fontes não renováveis (REN21, 2019). Por outro lado, energias não renováveis são aquelas derivadas de fontes que se esgotam com o tempo e não podem ser regeneradas em uma escala de tempo humana, como petróleo, carvão mineral e gás natural, sendo associadas a maiores emissões de gases de efeito estufa (*International Energy Agency*, 2019)

A evolução da capacidade instalada de energias renováveis no mundo tem demonstrado um crescimento significativo, especialmente impulsionado pelos avanços em tecnologias solares fotovoltaicas e eólicas. Em 2023, o setor de energias renováveis experimentou um aumento quase 50% maior na adição anual de capacidade renovável, chegando a quase 510 gigawatts (GW), marcando a taxa de crescimento mais rápida nas últimas duas décadas. Este crescimento reforça o papel das energias renováveis como um componente essencial na transição energética global, com a energia solar fotovoltaica representando três quartos das adições globais, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA). A IEA destaca a necessidade de triplicar a capacidade de energia renovável no setor de energia até 2030 para atingir mais de 11.000 GW, conforme o cenário de Emissões Zero Líquidas, alinhado com os objetivos estabelecidos na conferência de mudanças climáticas COP28.

As energias renováveis no Brasil mantêm-se como um exemplo de sucesso, com uma participação significativa na matriz energética do país. Em 2022, a fonte hídrica, incluindo quase a totalidade das importações da usina de Itaipu, representou 64% da oferta interna de energia elétrica, enquanto as fontes renováveis, de forma agregada, contribuíram com 88% da oferta interna de eletricidade. Essa predominância reforça o papel do Brasil como líder em sustentabilidade energética. Contudo, o país enfrenta o desafio de diversificar sua matriz energética, expandindo o uso de fontes renováveis não hídricas, como eólica e solar, que estão crescendo, mas ainda representam uma fração menor. Essa transição é essencial para manter a matriz energética brasileira limpa e sustentável, diante dos limites e impactos ambientais associados à expansão hidrelétrica e à necessidade de responder às mudanças climáticas e às demandas por energia de forma responsável (EPE, 2023).

A Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 2021 (COP26), realizada em Glasgow, estabeleceu compromissos fundamentais para acelerar a ação climática global com o intuito de manter o objetivo de limitar o aumento da temperatura média global a 1,5°C. Entre as principais realizações, destacam-se a adoção do Pacto Climático de Glasgow, que reiterou a urgência de intensificar os esforços globais para enfrentar as mudanças climáticas, a finalização do "livro de regras" do Acordo de Paris, que incluem diretrizes sobre mercados de carbono e relatórios de transparência, e o compromisso de duplicar o financiamento para adaptação ao clima até 2025. Além disso, foi marcante o estabelecimento da primeira Parceria de Transição Energética Justa (JETP) com a África do Sul, enfatizando a colaboração internacional e o apoio às comunidades mais afetadas pelas mudanças climáticas (GOV.UK, 2021; UNFCCC, 2021).

A transição energética mundial para uma economia com baixa emissão de carbono dependerá, significativamente, da redução da utilização de combustíveis fósseis na geração de eletricidade, que responde, atualmente, por um terço das emissões globais. Além disso, o caminho para a redução das emissões de outros segmentos de consumo, como transporte e aquecimento, deve envolver maior utilização de eletricidade com carros e sistemas de aquecimento de ambiente, por exemplo, indicando que uma matriz elétrica limpa, com elevada participação de fontes renováveis, será essencial para permitir que a eletrificação do futuro reduza os níveis atuais de emissão (LOSEKAN, 2013).

A indústria desempenha um papel crucial no consumo de energia, representando uma parcela significativa do uso global. Especificamente, o setor de mineração é um dos maiores consumidores de energia, devido à natureza intensiva de suas operações e processos. Historicamente, esse setor tem se apoiado predominantemente em fontes de energia não renováveis, como combustíveis fósseis, devido à sua disponibilidade e custo relativamente baixo. No entanto, essa dependência traz consigo impactos ambientais significativos, incluindo a emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes (*International Energy Agency*, 2019).

A mudança da matriz energética no setor de mineração para fontes renováveis é, portanto, de suma importância. A transição para energias renováveis, como solar, eólica e biomassa, apresenta uma oportunidade para o setor de mineração reduzir sua pegada de carbono e contribuir para a luta global contra as mudanças climáticas. Além disso, a adoção de tecnologias de energia renovável pode oferecer vantagens econômicas a longo prazo, como maior segurança energética e potencial para redução de custos operacionais (*Renewable Energy in Mining Industry Market*, 2020).

Essa transição é alinhada aos objetivos globais de desenvolvimento sustentável e às metas estabelecidas em acordos internacionais, como o Acordo de Paris. O setor de mineração, portanto, não apenas enfrenta a pressão para se adaptar a um ambiente regulatório em constante evolução, mas também possui uma oportunidade única de liderar pelo exemplo, demonstrando compromisso com práticas sustentáveis e inovadoras (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, 2015).

1.1 Objetivo geral

O estudo tem como objetivo investigar como uma grande empresa do setor de mineração atuante no Brasil efetivamente adota energias renováveis e não renováveis em seus

processos contínuos, buscando reduzir sua dependência de fontes tradicionais não renováveis e diminuir sua pegada de carbono. Pretende-se também, compreender os benefícios potenciais, desafios técnicos e operacionais dessa transição.

1.1.1 Objetivos específicos

- Descrever a utilização de energias em processos contínuos;
- Apresentar uma comparação das vantagens e desvantagens na utilização de fontes de energia renováveis e não renováveis utilizadas pela empresa;
- Autogeração de energia elétrica;
- Realizar uma análise temporal da utilização de energias renováveis e não renováveis nos processos contínuos da empresa.

1.2 Contribuições

A contribuição deste estudo está em explorar as complexas interações entre a indústria de mineração, geração de energia e os princípios fundamentais da sustentabilidade no contexto brasileiro. Este estudo se propõe a destacar a importância desses setores para a economia nacional e demonstrar as interdependências que existem entre eles.

Ao focar a atividade de mineração, reconhecida como vital para o Produto Interno Bruto (PIB) e as exportações do Brasil, este trabalho destaca a necessidade premente de examinar criticamente seu consumo considerável de eletricidade. A mineração, por um lado, impulsiona o crescimento econômico, mas, por outro, apresenta desafios significativos em termos de demanda energética, delineando uma tensão crucial entre desenvolvimento industrial e disponibilidade de recursos energéticos.

A sustentabilidade, permeando cada faceta deste estudo, é apresentada não apenas como um conceito abstrato, mas como um imperativo prático. As três dimensões inter-relacionadas ambiental, econômica e social, são expostas para oferecer uma compreensão abrangente da importância de um desenvolvimento responsável.

Esta pesquisa oferece, assim, uma visão abrangente das interconexões entre mineração, geração de energia e sustentabilidade no contexto brasileiro, trazendo à tona a importância da gestão consciente e planejada desses setores para garantir um futuro viável e responsável para as gerações presentes e futuras. Ao fazer isso, este trabalho se posiciona como uma valiosa contribuição para a literatura, delineando caminhos para um

desenvolvimento industrial mais sustentável no Brasil.

1.3 Organização do Trabalho

Além deste Capítulo 1, introdutório que apresenta os aspectos fundamentais deste estudo, esta monografia está organizada em mais cinco Capítulos.

O Capítulo 2 aborda a revisão de literatura trazendo assuntos pertinentes ao entendimento do trabalho, delimitando de forma clara os escopos que serão abordados além de contextualizar os principais temas abordados. É feito o agrupamento de dados e estudos de forma que o leitor tenha fácil compreensão do que será abordado de forma cronológica.

O Capítulo 3 aborda a metodologia utilizada durante a pesquisa e a composição do trabalho, sendo ela descritiva e analítica, baseada na coleta e análise de dados públicos, assegurando a confiabilidade dos resultados.

O Capítulo 4 aborda os resultados obtidos através de informações conceituais e analíticas sobre a empresa estudada, sua agenda ambiental traçando metas e demonstrando suas evoluções que se entrelaçam com os objetivos de Desenvolvimento Sustentável. É possível identificar as respostas dos objetivos propostos no início do trabalho além de diversos outros dados que compõem o portfólio da agenda de autogeração de energia e sistemas sustentáveis.

O Capítulo 5 é dedicado a análises qualitativa das informações coletadas ao longo desta pesquisa, proporcionando uma compreensão mais profunda das complexas dinâmicas envolvidas na estratégia energética pesquisada. Aqui será explorado as nuances e detalhes intrínsecos aos dados apresentados, buscando extrair insights valiosos e proporcionar uma visão crítica sobre as práticas da empresa.

O Capítulo 6 traz as considerações finais do autor destacando a complexidade ambiental na produção de energia, especialmente no setor mineral. O alto consumo de energia pela Vale, empresa analisada, evidenciando a necessidade de decisões assertivas no uso de fontes limpas e renováveis. A estratégia de autoprodução de energia é vista como evolução necessária, alinhada à responsabilidade corporativa. A integração de fontes renováveis na matriz elétrica reflete uma visão de futuro, requerendo aplicação diligente da engenharia de produção para uma transição suave e sustentável.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Matriz elétrica e energética brasileira

Conforme destacado por autores contemporâneos, como Silva *et al.* (2020), a energia é uma grandeza fundamental nas Ciências Naturais, englobando disciplinas como Física, Química e Biologia, e está intrinsecamente ligada aos processos de transformação. Esta definição abrangente reflete a compreensão atual da energia como uma entidade que permeia diversos aspectos do universo, desde fenômenos físicos até processos bioquímicos. Nesse sentido, a energia não é apenas a capacidade de realizar trabalho, mas também está associada a mudanças em sistemas e à capacidade de provocar transformações em diversas escalas, desde o nível subatômico até o nível macroscópico.

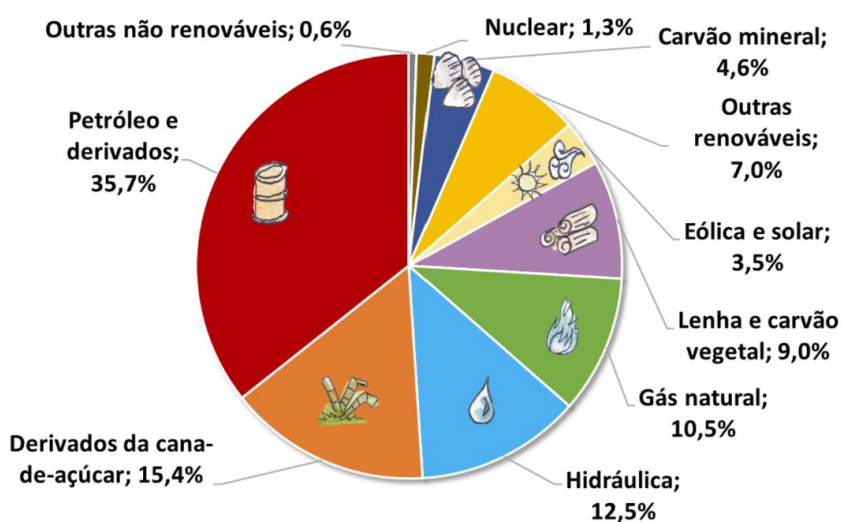
A energia elétrica, em particular, destaca-se por sua versatilidade e eficiência. Resulta do movimento de elétrons em um condutor, um fenômeno que pode ser explicado pelos princípios do eletromagnetismo. Devido à sua capacidade de ser facilmente convertida em outras formas de energia e de ser transmitida a longas distâncias com relativamente poucas perdas, a energia elétrica é fundamental para a moderna sociedade industrial. Ela alimenta residências, indústrias, e é crucial para o funcionamento de uma ampla gama de dispositivos e sistemas (TIPLER; MOSCA, 2010)

É comum que as pessoas confundam a matriz energética com a matriz elétrica, mas elas têm distinções. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes utilizadas para mover veículos, cozinhar alimentos em fogões e gerar eletricidade, a matriz elétrica compreende apenas o conjunto de fontes usadas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, é conveniente dizer que a matriz elétrica faz parte da matriz energética (EPE, 2021).

A matriz energética do Brasil é considerada a mais renováveis dentre todas as economias do planeta. Segundo dados publicados no Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN, 2022), a matriz energética brasileira é composta pelas fontes renováveis: derivados de cana-de-açúcar (15,4%), hidráulica (12,5%), lenha e carvão vegetal (9,0%), eólica e solar (3,5%), e outras renováveis (7,0%). Isso demonstra que o Brasil possuiu uma grande diversificação em fontes de energias renováveis, representando 47,4% de fontes renováveis. Por outro lado, a composição da matriz energética é composta pelas fontes não renováveis: petróleo e derivados (35,7), gás natural (10,5%), carvão mineral (4,6%), nuclear (1,3%) e outras não renováveis (0,6), totalizando uma representatividade de 52,6% de fontes

não renováveis. A **Figura 1**, caracteriza a matriz energética do Brasil elucidando os dados posteriormente mencionados além de abordar o percentual de fontes de energia não renováveis que também compõe a matriz.

Figura 1: Matriz energética do Brasil em 2022

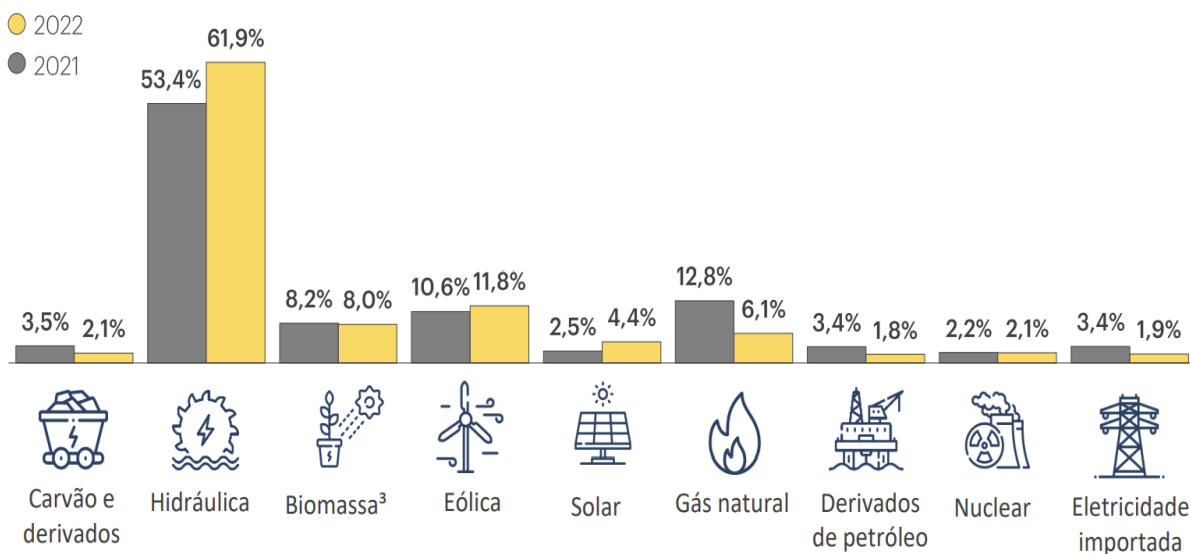


Fonte: EPE (2023)

A matriz elétrica brasileira em 2022 foi considerada a mais limpas atingindo, 86,1% de geração através de energias renováveis enquanto a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) em 2019, apenas 27% da geração de energia elétrica era considerada renovável e em visão global, 23% em 2018 (EPE, 2023). Essa disparidade tem como base a grande disponibilidade de recursos hídricos no Brasil, porém, o aumento de fontes renováveis como a biomassa, eólica e solar vem crescendo de forma exponencial, fazendo com que haja redução do uso de fontes fósseis para geração térmica, quando elas precisam ser acionadas (EPE, 2021). A **Figura 2** caracteriza a evolução da matriz elétrica brasileira entre o ano de 2021 e 2022, é importante pontuar que essa matriz é ainda mais renovável que a energética, devido à alta presença de geração por fonte hidráulica como pontuado anteriormente.

O cenário brasileiro relacionado a geração de energia renovável, vem crescendo ao passar dos anos. Baseado nos dados divulgados no Balanço Energético Nacional (2023) ainda existe a possibilidade de expansão relevante com o crescimento de diversas fontes de energia como a solar que ainda representa apenas 4,4% da matriz elétrica, biomassa 8,0% e a eólica 11,8%, que cresceu 11,32% entre os anos de 2021 e 2022.

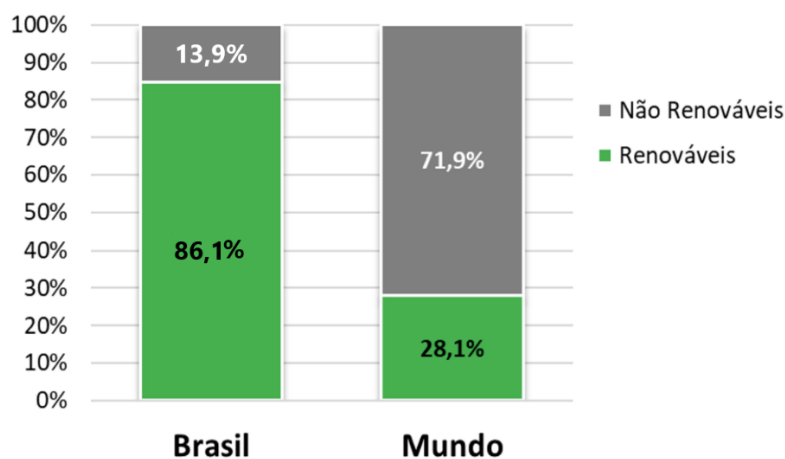
Figura 2: Matriz elétrica do Brasil em 2021 e 2022



Fonte: EPE (2023)

A **Figura 3** demonstra que a matriz elétrica do Brasil é predominantemente composta por fontes renováveis de energia, o que diferencia a matriz elétrica mundial. Essa característica é uma vantagem significativa para o país, pois além de apresentar custos operacionais reduzidos, tende-se a emitir menos gases de efeito estufa.

Figura 3: Comparação da utilização de fontes renováveis e não renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo em 2021



Fonte: EPE (2023)

O Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário energético internacional, resultado de decisões tomadas no passado que priorizaram o aproveitamento do potencial hidrelétrico e a produção de biocombustíveis a partir da cana-de-açúcar. Esse prestígio é justificado pelos dados de 2023 divulgados no Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional, onde

aproximadamente 86,1% da energia elétrica do país é proveniente de fontes renováveis. Além disso, o Brasil apresenta uma solução altamente eficiente e amplamente aceita para a produção de energia a partir da biomassa, com uma combinação de etanol e cogeração de eletricidade, responsáveis por 16,4% da oferta interna total de energia (BEN, 2023).

2.2 Combustíveis fósseis

O termo "fóssil" tem sua definição no Dicionário Online de Português como "aquilo que é extraído ou retirado do cerne, do interior da terra; o que está enterrado". Quando se trata da origem dos combustíveis fósseis, pode-se afirmar que eles surgem a partir da decomposição de vegetais e seres vivos que foram enterrados por um longo período. Durante esse processo, o oxigênio é conservado devido à atuação de diversas bactérias, além da presença de pressão e calor no interior da terra (SHRIVASTAVA, 2017).

De acordo com Muradov e Veriroglu (2016), combustíveis fósseis são materiais ricos em carbono e desempenham um papel significativo no orçamento de carbono da Terra, exercendo um impacto relevante no ciclo global do carbono. A queima desses combustíveis resulta na geração de energia em diversos setores econômicos na maioria dos países, porém, esse processo tem um impacto negativo no meio ambiente devido à produção excessiva de carbono e à baixa absorção realizada pela atmosfera. Essa questão ambiental é um ponto crucial a ser considerado no contexto da utilização de combustíveis fósseis na geração de energia.

Conforme a literatura, os combustíveis fósseis podem ser classificados em três grandes tipos: petróleo, carvão e gás natural (CALHAU *et al.*, 2011; SUZUKI; REZENDE, 2013; FIGUEIRAL, 2011). É sabido que esses combustíveis têm origem a partir de matéria orgânica, no entanto, há particularidades relacionadas ao material que formou o composto orgânica de cada tipo.

2.3 Energias renováveis

A energia renovável abrange uma categoria que deriva de processos naturais que são constantemente reabastecidos ou têm a capacidade de serem reabastecidos ao longo do tempo. Essas fontes de energia incluem a solar, eólica, biomassa, geotérmica, hidrelétrica, maremotriz e biocombustíveis (SCHOLTEN; BOSMAN, 2013; IEA, 2004). No contexto acadêmico, a energia renovável é definida como aquela gerada por recursos naturais em níveis

sustentáveis, podendo ser proveniente de fontes não-fósseis (BJORK *et al.*, 2011). Essas fontes são reabastecidas por processos naturais em uma taxa igual ou superior à sua utilização (GREENPEACE, 2013).

A energia renovável é a que mantém um ciclo equilibrado de produção e consumo, pois é utilizada em quantidades e velocidades que a natureza pode reabastecer. Esse conceito está intrinsecamente relacionado ao desenvolvimento sustentável, levando em consideração fatores ambientais, porém, não implica necessariamente em energia limpa. (DUNLAP, 2015).

2.3.1 Energia da biomassa

A biomassa, do ponto de vista energético, é descrita por Souza (2015) como qualquer matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada na geração de energia. Essa energia gerada a partir da biomassa representa uma forma indireta da energia solar, assim como a energia hidráulica. No caso específico da biomassa, por meio do processo de fotossíntese, a energia solar é convertida em energia química, que pode ser posteriormente transformada em energia elétrica, entre outras formas de aproveitamento (SOUZA, 2015).

Conforme mencionado por Martins (2014), a biomassa pode ser classificada em três tipos: sólida, biocombustíveis gasosos e biocombustíveis líquidos. A biomassa sólida é obtida a partir de produtos e resíduos agrícolas, florestais, bem como das indústrias, além da fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Os biocombustíveis gasosos são derivados principalmente da biomassa através de processos de gaseificação e pirólise. Isso envolve a conversão térmica da biomassa em gases combustíveis, como hidrogênio, metano e monóxido de carbono, que podem ser utilizados para gerar energia térmica, elétrica ou como combustível para veículos (MARTINS, 2014).

Já os biocombustíveis líquidos incluem principalmente o biodiesel e o etanol. O biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, enquanto o etanol é obtido principalmente da fermentação de matérias-primas ricas em açúcares, como a cana-de-açúcar, milho ou beterraba. Ambos os biocombustíveis líquidos são amplamente utilizados como substitutos dos combustíveis fósseis em motores de veículos ou em sistemas de aquecimento (MARTINS, 2014).

A biomassa é uma importante fonte de energia renovável na matriz energética, com abordagens modernas e tradicionais. As modernas englobam biocombustíveis como etanol e biodiesel, enquanto as tradicionais são utilizadas de forma mais rudimentar, suprimindo necessidades residenciais em comunidades isoladas, através de resíduos florestais, madeira e

dejetos de animais (VICHI; MANSOR, 2013).

Em 2018, a biomassa foi responsável pela geração de pouco mais de 14 MW de energia no Brasil, ultrapassando a produção da Usina de Itaipu e correspondendo a aproximadamente 9% do parque elétrico do país (ANEEL, 2019). Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME), a biomassa ocupa a terceira posição como fonte de geração de energia no Brasil, ficando atrás apenas da hidráulica e da queima de gás natural na matriz elétrica.

2.3.2 Energia eólica

De acordo com Alden (2019), a energia eólica tem sido historicamente aproveitada pelo ser humano por milênios, com registros de sua utilização para impulsionar veleiros datando de antes de 3000 a.C. Essa prática antiga demonstra a longa história do aproveitamento do vento como uma fonte de energia confiável e renovável. Essa compreensão histórica é essencial para contextualizar a importância contemporânea da energia eólica como uma fonte de energia renovável, destacando sua relevância ao longo do tempo.

Ao longo da história, o vento também foi aplicado em diversas atividades mecânicas, como moagem de grãos, bombeamento de água e movimentação de máquinas industriais. Inicialmente, o vento era direcionado por dispositivos de eixo vertical, evoluindo posteriormente para turbinas de eixo horizontal (IPCC, 2012). Essa longa trajetória de utilização destaca a relevância histórica da energia eólica e o contínuo desenvolvimento de tecnologias para aproveitar essa fonte de energia renovável.

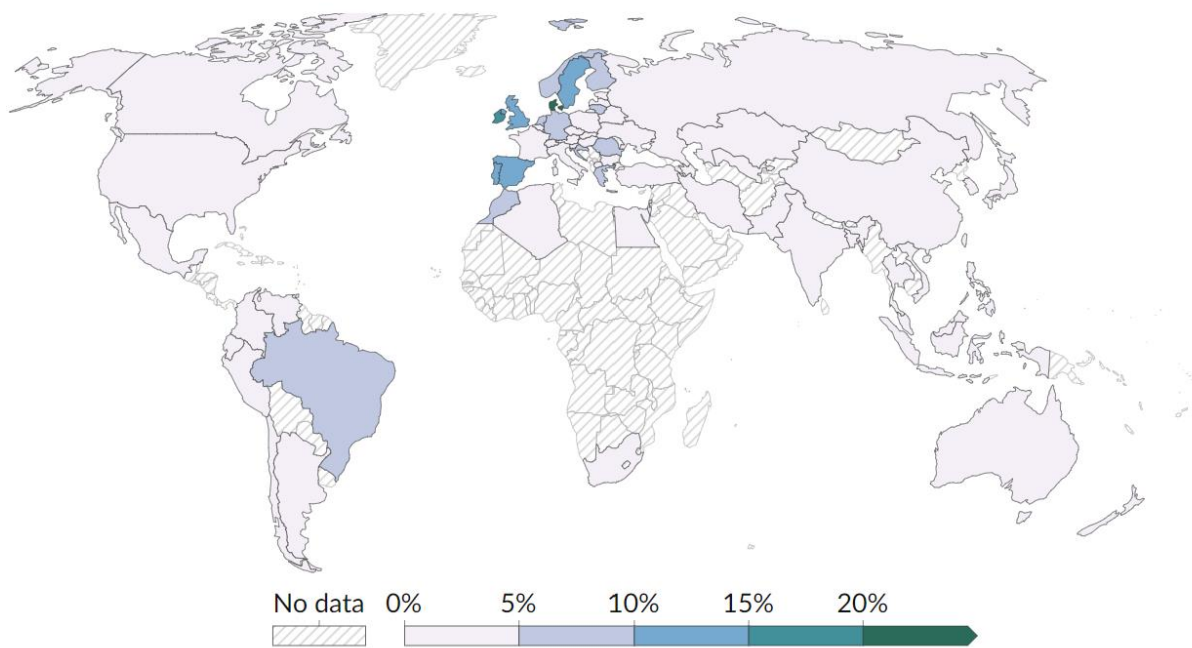
A energia eólica é gerada pela energia cinética contida nas massas de ar da atmosfera também conhecida como a movimentação dos ventos. Estima-se que aproximadamente 2% da energia solar absorvida pela Terra seja convertida em energia cinética dos ventos, o que representa uma quantidade significativa de energia disponível. Essa porcentagem aparentemente pequena é, na verdade, centenas de vezes maiores do que a potência anuais instalada nas centrais elétricas ao redor do mundo (CRESESB, 2014). A abundância dessa fonte de energia renovável torna a energia eólica uma opção atraente e promissora para a geração de eletricidade de forma limpa e sustentável.

Conforme mencionado por Dunlap (2015), são raros os países que realmente investiram de forma significativa no aproveitamento de seu potencial eólico, com destaque para a Alemanha e a Espanha como exemplos notáveis nesse contexto. O Brasil, conforme relatórios da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em setembro de 2003, contava

com apenas 06 centrais eólicas em funcionamento, totalizando uma capacidade instalada de 22.075 kW. Conforme a Empresa Brasil de Comunicação (EBC, 2023), em 2023, o Brasil já conta com 890 parques eólicos instalados em 12 estados somando 25,04 GW de capacidade instalada em operação um aumento de 108,79%.

A disponibilidade do recurso "vento" não é uniforme em todo o planeta, conforme observado na **Figura 4**. Além disso, uma série de fatores regionais pode limitar o crescimento da utilização da energia eólica, mesmo antes de atingir os limites absolutos globais de recursos técnicos (IPCC, 2012). Como resultado, a contribuição da energia eólica na matriz energética de cada país não será uniforme em termos percentuais.

Figura 4: Participação no consumo de energia primária proveniente do vento, 2022



Fonte: Instituto de Energia (2023)

2.3.3 Energia fotovoltaica

As primeiras menções sobre energia solar fotovoltaica datam de 1939, quando Edmond Becquerel observou a ocorrência de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor ao ser exposta à luz (CRESESB, 2006).

A energia solar é uma tecnologia que utiliza a radiação solar para produzir energia elétrica, sendo dividida principalmente em dois sistemas: energia fotovoltaica e energia solar concentrada. A energia fotovoltaica converte a luz solar diretamente em eletricidade por meio de células fotovoltaicas (MARTINS *et al.*, 2020), enquanto a energia solar concentrada utiliza

espelhos ou lentes para concentrar a radiação solar em um ponto, gerando calor para produzir eletricidade ou calor diretamente (ZHANG *et al.*, 2021).

A energia solar é a fonte mais abundantes e acessível de energia disponíveis em nosso planeta, sendo considerada inesgotável devido à sua natureza renovável e ao constante fornecimento de radiação solar (MENDES *et al.*, 2020). Essa forma de energia é derivada diretamente da luz solar, capturada e convertida em energia utilizável por meio de tecnologias como os painéis fotovoltaicos (SILVA *et al.*, 2018).

Embora o cenário para a energia solar seja promissor, enfrenta desafios que exigem superação para sua consolidação na matriz elétrica nacional. Até o período recente, observou-se um histórico de investimentos insuficientes para impulsionar a adoção da energia fotovoltaica no Brasil, refletindo em lacunas no desenvolvimento de indústrias voltadas para sistemas de baixa tensão e outros segmentos relacionados (IPEA, 2021). Essa conjuntura evidencia a importância de políticas e medidas que incentivem e estimulem o crescimento do setor solar no país, visando sua plena integração à matriz energética nacional.

Embora inicialmente o investimento em sistemas de energia solar fotovoltaica possa implicar em custos mais elevados, é crucial considerar o conceito de *payback*, que se refere ao tempo necessário para recuperar o investimento inicial por meio das economias resultantes na conta de energia. Estudos indicam que, embora o custo inicial de instalação de sistemas fotovoltaicos possa ser considerável, o *payback* médio para tais investimentos tem diminuído significativamente nos últimos anos (LOPEZ *et al.*, 2020). Isso se deve principalmente à redução nos custos dos equipamentos fotovoltaicos e à maior eficiência dos sistemas, o que contribui para um retorno financeiro mais rápido para os investidores.

Além disso, é importante ressaltar que, apesar do custo inicial aparentemente mais alto da eletricidade gerada por sistemas fotovoltaicos em comparação com fontes tradicionais, como a hidrelétrica, essa disparidade está diminuindo ao longo do tempo. De fato, estudos indicam que o custo da energia solar fotovoltaica tem diminuído consistentemente nas últimas décadas, tornando-se cada vez mais competitivo em relação às fontes convencionais de energia elétrica (IEA, 2021). Essa tendência sugere que, embora o custo inicial possa ser um obstáculo, a energia solar fotovoltaica está se tornando uma opção cada vez mais viável economicamente, especialmente considerando o aumento dos custos da energia elétrica convencional ao longo do tempo.

É importante reconhecer também o impacto dos aumentos nos custos da energia elétrica convencional na atratividade dos investimentos em energia solar fotovoltaica. Estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) revelam que, em

determinados períodos, os consumidores brasileiros enfrentaram significativos aumentos nos custos da energia elétrica. Essas flutuações nos preços incentivaram um renovado interesse na energia solar fotovoltaica como uma alternativa mais estável e previsível em termos de custos a longo prazo (SOUZA *et al.*, 2022).

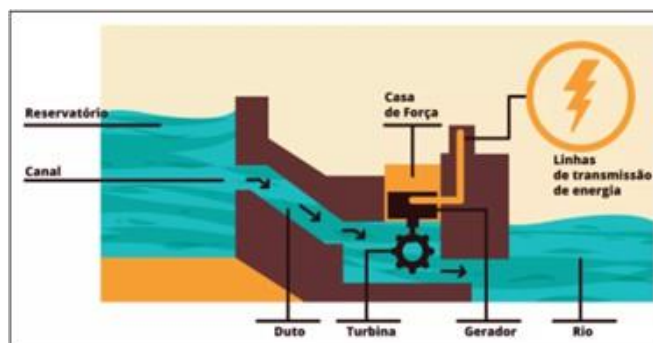
2.3.4 Energia hidráulica

A adoção da energia hidráulica representou uma das primeiras transições do trabalho manual para o mecanizado, especialmente para atividades como bombeamento de água e moagem de grãos. Entre os atributos energéticos expressivos, podem ser enfatizados os seguintes: abundância de recursos, viabilidade de exploração e, sobretudo, sua natureza renovável (ANEEL, 2019).

A hidroeletricidade é um exemplo notável de conversão de energia, baseado em propriedades físicas fundamentais da água e dos princípios de eletromagnetismo. Inicialmente, a energia potencial contida na água, seja armazenada em reservatórios ou proveniente de correntes naturais, é convertida em energia cinética à medida que a água é direcionada para turbinas em usinas hidrelétricas. Essa energia cinética é então transformada em energia mecânica à medida que as turbinas são acionadas, seguindo o princípio de conservação da energia (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2017).

Conforme descrito por Halliday, Resnick & Walker (2017), a energia mecânica resultante do movimento das turbinas é então convertida em energia elétrica por meio de geradores. Esse processo envolve a indução eletromagnética, onde a rotação das turbinas gera um campo magnético variável, induzindo uma corrente elétrica nos condutores dos geradores. Essa corrente elétrica é, então, transmitida e distribuída para alimentar redes elétricas e atender à demanda por eletricidade.

Essa descrição detalhada ilustra a aplicação prática dos princípios físicos na geração de energia a partir de fontes renováveis, destacando a importância da hidroeletricidade como uma fonte confiável e sustentável de eletricidade em todo o mundo. A **Figura 5** demonstra como ocorre o processo de geração de energia elétrica através de uma hidroelétrica.

Figura 5: Exemplo do funcionamento de uma usina hidrelétrica

Fonte: Nova Escola (2018)

A operação integrada de uma usina hidrelétrica é composta por diversas partes interdependentes, incluindo o sistema de captação e condução de água, a barragem e a instalação de geração e vertedouro. A principal função da barragem é interromper o fluxo natural da água, originando um reservatório onde o recurso hídrico é armazenado. Para além do armazenamento, essa reserva possibilita a vazão regular dos rios, adaptando-se tanto a períodos de maior pluviosidade quanto a épocas de escassez. Isso permite uma captação adequada das precipitações, ao mesmo tempo que estabelece uma variação de essencial para viabilizar a produção de energia hidrelétrica (ANEEL, 2019).

A energia hidrelétrica frequentemente enfrenta desafios regulatórios com agências de proteção ambiental, pois a construção de usinas hidrelétricas pode resultar no alagamento de áreas produtivas e ecologicamente importantes, e até mesmo na inundação de comunidades habitadas. Isso muitas vezes exige o deslocamento da população local. Assim, o desafio predominante é encontrar um equilíbrio entre os benefícios proporcionados pelas hidrelétricas e os impactos ambientais associados (UCZAI, 2012). No entanto, é importante notar que, após a construção, as usinas hidrelétricas têm uma vida útil significativa e podem gerar suprimentos substanciais de eletricidade a um baixo custo de produção (UCZAI, 2012).

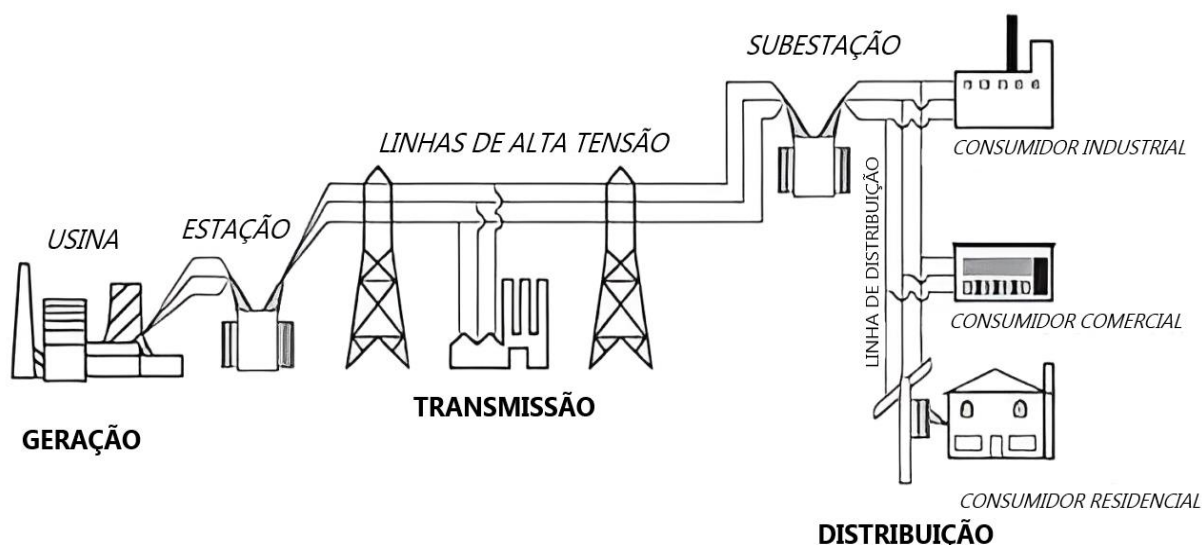
Apesar dos impactos ambientais causados pelas usinas hidrelétricas, esses se tornam relativamente pequenos quando considerados a proteção global da energia hidráulica na matriz energética mundial. Portanto, a maior parte dessas questões é de natureza local, o que possibilita a implementação de medidas mitigadoras para reduzir esses impactos.

A energia hidráulica continua a ser uma fonte de energia renovável, uma vez que não altera as propriedades físico-químicas das águas e permite o retorno gradual da água ao curso original do rio alguns quilômetros abaixo da barragem e essa energia representa 56,8% da matriz elétrica brasileira (BEN, 2022).

2.4 Geração e transmissão de energia

O sistema de fornecimento de eletricidade no Brasil é constituído por três componentes fundamentais: geração de energia elétrica, originada a partir de uma variedade de fontes; a transmissão dessa energia desde a geração às subestações e distribuição de energia elétrica pelas linhas de baixa, média e alta tensão, responsável por entregar o produto aos consumidores. A **Figura 6**, demonstra uma visão macro de um sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil (BLUME, 2007).

Figura 6 - Exemplo do circuito de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil



Fonte: Blume (2007)

A maneira mais convencional de gerar eletricidade no Brasil envolve o aproveitamento da energia da água para movimentar turbinas em usinas hidrelétricas. Essa água, após ser represa e direcionada para as turbinas, é transformada em energia e distribuída para o consumo (MAUAD, 2017; VILLALVA, 2015). As empresas distribuidoras de energia são encarregadas de realizar a conexão entre o fornecimento e a entrega efetiva dessa energia aos consumidores. De acordo com informações da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE, 2021), a distribuição pode ser realizada de forma aérea, utilizando postes como suporte, ou de forma subterrânea, com cabos elétricos.

2.5 Mineração e energia

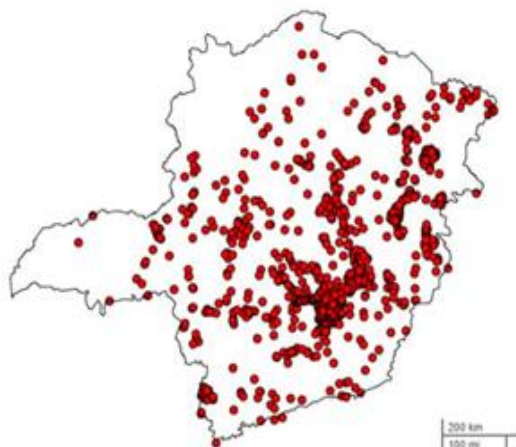
O Brasil destaca-se como um dos principais produtores globais de minério de ferro, ocupando a segunda posição no ranking mundial com uma produção anual significativa. Em

2022, o país produziu aproximadamente 410 milhões de toneladas de minério de ferro, reafirmando sua posição crucial no mercado global de minérios (STATISTA, 2022). Dentre os recursos minerais explorados, destacam-se o ferro, o nióbio, a bauxita e o manganês. Em 2022, a atividade extrativa mineral contribuiu com 4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (SENADO, 2023), enquanto a exportação de produtos minerais totalizou 22,76% do total de exportações brasileiras no mesmo período, de acordo com dados do Governo brasileiro (GOV, 2023). A balança comercial do setor registrou um faturamento de R\$ 250 bilhões, evidenciando um impacto positivo significativo na economia nacional (GOV, 2023).

Para manter operante esse amplo complexo industrial ao longo de toda a extensão de sua cadeia produtiva, o setor de mineração e siderurgia consome aproximadamente 11% da eletricidade gerada no Brasil, conforme dados do Balanço Energético Nacional (2021). O consumo final associado aos segmentos de ferro-gusa e aço, ferro ligas, mineração, pelotização e outros setores metalúrgicos totalizou cerca de 61 mil gigawatts-hora. Essa cifra representa aproximadamente 11% do suprimento elétrico total de 540 mil gigawatts-hora no país, um percentual que se mantém relativamente constante ao longo dos anos recentes (BEN, 2021).

Minas Gerais desempenha um papel de destaque tanto na indústria de mineração quanto na produção de energia elétrica. A exploração de minerais no estado remonta ao período colonial, sendo notável o Ciclo Econômico do Ouro no século XVII. Apesar de ter enfrentado períodos de estagnação, essa atividade registra um crescimento notável, especialmente nas últimas duas décadas (REZENDE, 2016). No cenário atual, Minas Gerais lidera o número de minas em operação no Brasil, totalizando 3.399 (IBRAM, 2020). A **Figura 7** ilustra os pontos geográficos das jazidas minerais do estado de MG.

Figura 7: Localização de jazidas minerais no estado de Minas Gerais.



Fonte: RMMG (2021)

A exploração no setor elétrico em Minas Gerais, embora mais recente, possui igualmente relevância para a história do país. A primeira usina de pequeno porte do Brasil, inaugurada em 1883, foi construída na cidade mineira de Diamantina. Seis anos depois, em 1889, entrou em operação a primeira hidrelétrica de grande porte na América do Sul, localizada em Juiz de Fora, também em Minas Gerais. Nesse contexto, o estado estava envolvido em uma intensa exploração de metais preciosos e necessitava de energia para sustentar as atividades de mineração (CARNEIRO; COLI; DIAS, 2017; OLIVEIRA, 2018).

Em junho de 2021, o estado de Minas Gerais formalizou sua participação no *Race to Zero*, uma iniciativa global que reúne líderes com o objetivo de alcançar a neutralização líquida das emissões de gases de efeito estufa até 2050. A adesão de Minas Gerais a esse compromisso é notável, tornando-o o primeiro estado da América Latina e do Caribe a se unir a essa causa. Por meio desse acordo, o estado assume o compromisso de atrair empreendimento e promover a criação de projetos voltados para a sustentabilidade ambiental. Durante a cerimônia de assinatura do acordo, o governador destacou que Minas Gerais já é líder na geração de energia solar e que pretende ampliar ainda mais essa posição com os novos investimentos que estão sendo realizados no estado (MINAS GERAIS, 2021).

Minas Gerais se posiciona como o estado líder em capacidade instalada de geração centralizada de energia solar no Brasil, alcançando 1.648,5 MW. Este valor é projetado para expandir significativamente, atingindo 30.999,2 MW nos próximos anos, evidenciando o compromisso do estado com a sustentabilidade e a geração de energia limpa. Outros estados, como Bahia, Piauí, Rio Grande do Norte, Ceará e Pernambuco, também demonstram capacidades significativas, porém Minas Gerais destaca-se claramente na liderança (CZAPP, 2022).

Fica evidente a interdependência entre o setor de mineração e a geração de energia no Brasil, especialmente em Minas Gerais. Enquanto a atividade extrativa mineral desempenha um papel significativo na economia nacional, a produção de insumos consome uma parcela considerável da eletricidade gerada no país. Essa relação demonstra a necessidade de um equilíbrio cuidadoso entre o desenvolvimento industrial e a disponibilidade de recursos energéticos, destacando a importância de estratégias planejadas para garantir a continuidade desses setores ocorridos para o crescimento econômico e o bem-estar da população.

2.6 A mineradora Vale

Fundada em 1942, durante a Segunda Guerra Mundial, a Vale S.A. emergiu com a missão de explorar o potencial mineral do Brasil, focando inicialmente na extração de minério de ferro na cidade de Itabira, Minas Gerais. A corporação evoluiu para se tornar um dos principais exportadores globais de minério de ferro, contribuindo significativamente para o desenvolvimento do setor minerador brasileiro (VALE, 2021)

Ao longo das décadas, a Vale expandiu suas atividades para abranger uma variedade de minerais e metais. Além do minério de ferro, a empresa tornou-se relevante na produção de níquel, cobre, carvão e fertilizantes. Essa diversificação visava não apenas ampliar os horizontes de atuação, mas também reduzir a dependência econômica de um único segmento (VALE, 2021).

A expansão global da empresa incluiu investimentos em diversos países, consolidando-a como uma gigante do setor mineral. Contudo, essa expansão também trouxe consigo desafios consideráveis. Em 2015, o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, resultou em um dos maiores desastres ambientais do Brasil, com impactos significativos no meio ambiente e na comunidade local. Em 2019, um incidente semelhante ocorreu em Brumadinho, levando a empresa a enfrentar críticas intensas, ações legais e uma revisão de suas práticas operacionais (VALE, 2022).

A Vale, além de ser a maior mineradora do Brasil e top 5 global, destaca-se por seu consumo energético, segundo o Observatório da Mineração (2022), a empresa consome cerca de 2% de toda a energia elétrica produzida no Brasil, uma demanda comparável à do estado do Espírito Santo. Esse consumo reflete a importância do setor minero-siderúrgico, que é responsável por 11% do consumo elétrico nacional (BEN, 2021). Esse elevado consumo está alinhado com a sua posição de liderança na produção de minério de ferro, contribuindo diretamente e indiretamente para o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa.

2.7 Sustentabilidade

A concepção mais amplamente disseminada de sustentabilidade é aquela proposta pela Comissão Brundtland (WCED, 1987), a qual argumenta que o desenvolvimento sustentável deve atender às necessidades da geração atual sem modificar as necessidades das gerações futuras. Esse conceito destaca um dos princípios fundamentais da sustentabilidade, que é uma perspectiva de longo prazo, pois os interesses das gerações vindouras devem ser considerados.

Ao analisar a definição do desenvolvimento sustentável, percebe-se que ela não oferece uma solução através de uma "fórmula mágica" para preservar o meio ambiente da degradação e redução, mas sim propõe uma mudança no comportamento da humanidade. Além disto, esse conceito não indica apenas salvar o meio ambiente ou alguma espécie em particular, mas a sobrevivência humana (BARTER; RUSSELL, 2012). Ele também aponta para uma clara afirmação de que o sistema ambiental humano compõe um único sistema indissociável, pois, ao mencionar as "gerações", refere-se às gerações passadas, presentes e futuras relacionadas ao ambiental humano, uma vez que são indissociáveis.

De acordo com a maioria das pesquisas, a sustentabilidade é considerada por três dimensões inter-relacionadas: ambiental, econômica e social. Essas dimensões são comumente referidas como "*triple bottom line*". A dimensão econômica engloba não apenas a economia formal, mas também atividades informais que fornecem serviços para indivíduos e grupos, iniciada em aumento da terapia e do padrão de vida desses indivíduos (ALMEIDA, 2002).

A dimensão ambiental ou ecológica incentiva as empresas a avaliarem o impacto de suas atividades no meio ambiente, incluindo o uso de recursos naturais, e favorecem a incorporação da gestão ambiental em suas práticas (ALMEIDA, 2002). A dimensão social abrange o aspecto relacionado às qualidades dos seres humanos, como suas habilidades, dedicação e experiências, englobando tanto o ambiente interno quanto o externo da empresa (ALMEIDA, 2002).

A sustentabilidade é caracterizada pela capacidade de assegurar o equilíbrio sistêmico e contínuo que possibilita a manutenção da vida no planeta. Esse conceito abrange de forma integrada e inseparável os aspectos sociais, econômicos e ambientais. As práticas de sustentabilidade, tanto ambiental quanto organizacional, envolvem elementos-chave como a gestão de riscos, práticas operacionais justas, aspectos econômicos, direitos humanos, sociedade, meio ambiente, questões trabalhistas, relacionamento com partes interessadas e governança corporativa (HUSGAFVEL *et al.*, 2015; RANANGEN; LINDMAN, 2017; DIALGA, 2018). Essa abordagem integral da sustentabilidade é essencial para a promoção de um desenvolvimento responsável e consciente, visando garantir um futuro viável para as gerações presentes e futuras.

Apesar do desenvolvimento do conceito de sustentabilidade, sua essência permaneceu a mesma; trata-se ainda de uma questão de equilibrar necessidades com limitações. À medida que surgem conceitos como a "espaçonave Terra" e a "sociedade sustentável" (SANTOS; FILHO, 2005), os autores apontam o consenso sobre a importância de uma sociedade em

harmonia com seu entorno. Além disso, a sustentabilidade é descrita como uma construção fundamental e complexa que requer o equilíbrio de diversos fatores para garantir a continuidade do planeta (ARAS; CROWTHER, 2009).

2.8 Agenda ambiental

Em 2015, a ONU apresentou aos seus estados-membros uma nova proposta de direcionamento para o desenvolvimento sustentável nos próximos 15 anos, conhecida como Agenda 2030. Essa agenda abrange os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como apresentado na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Objetivo	Meta
	Erradicação da Pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares
	Fome zero e agricultura sustentável. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.
	Saúde e bem-estar. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos em todas as idades.
	Educação de qualidade. Assegurar a educação e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
	Igualdade de gênero. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas
	Água potável e saneamento. Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos
	Energia acessível e limpa. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos
	Trabalho decente e Crescimento econômico. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho decente para todos.
	Indústria inovação e infraestrutura. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

	<p>Redução das desigualdades. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.</p>
	<p>Cidades e comunidades sustentáveis. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.</p>
	<p>Consumo e produção responsáveis. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.</p>
	<p>Ação contra a mudança global do clima. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.</p>
	<p>Vida na água. Conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.</p>
	<p>Vida terrestre. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda.</p>
	<p>Paz, justiça e instituições eficazes. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.</p>
	<p>Parcerias e meio de implementação. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.</p>

Fonte: Adaptado de Pacto Global Rede Brasil (2018)

A iniciativa visa uma colaboração conjunta entre nações, empresas, instituições e sociedade civil. Os ODS têm como objetivo garantir os direitos humanos, erradicar a pobreza, combater a desigualdade e a injustiça, alcançar a igualdade de gênero e promover o empoderamento de mulheres e meninas. Além disso, busca lidar com desafios cruciais como as mudanças climáticas (ONU, 2015). O setor privado desempenha um papel fundamental nesse processo, sendo um importante detentor do poder econômico, um impulsionador de inovações e tecnologias, e um influenciador e engajador de diversos públicos, incluindo governos, fornecedores, colaboradores e consumidores.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) formam um plano global adotado pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2015, sob a Resolução 70/1, conhecida como Agenda 2030. A Agenda 2030 busca a promoção do desenvolvimento sustentável em suas três dimensões: econômica, social e ambiental, de maneira integrada e indissociável,

exigindo esforços conjuntos entre países, setores e sociedades para a implementação efetiva dos ODS até 2030 (ONU, 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação metodológica

A pesquisa adota uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos para analisar o uso de energias renováveis e não renováveis em processos contínuos na empresa Vale. Esta abordagem permite uma exploração aprofundada dos padrões de consumo energético e das estratégias de sustentabilidade implementadas pela corporação.

A pesquisa qualitativa se expressa mais pelo desenvolvimento de conceitos a partir de fatos, ideias ou opiniões, e do entendimento indutivo e interpretativo que se atribui aos dados descobertos, associados ao problema de pesquisa. Tais observações, também estão no entendimento de Pope e Mays (2005), quando os autores, entendem que a pesquisa qualitativa se vincula às vivências e à interpretação compreendida destes fenômenos sociais. Para os autores,

A pesquisa qualitativa (...) está relacionada aos significados que as pessoas atribuem às suas experiências do mundo social e a como as pessoas compreendem esse mundo. Tenta, portanto, interpretar os fenômenos sociais (interações, comportamentos etc.) em termos de sentidos que as pessoas lhes dão; em função disso, é comumente referida como pesquisa interpretativa (POPE; MAYS, 2005, p.13, grifos do autor).

Nesse sentido, confere-se à pesquisa qualitativa, um formato que vai além do que é previsível, mensurável ou informativo. Tal fato possibilita que, em diversas situações, os dados quantitativos sejam analisados e contemplados sob uma ótica qualitativa. Tanto a pesquisa quantitativa quanto a pesquisa qualitativa se erguem sob a abordagem do problema de pesquisa ordenado, visando de forma diferenciada, à verificação das causas que lhe são atribuídas.

A pesquisa quantitativa baseia-se na coleta e análise de dados numéricos para investigar fenômenos e estabelecer padrões. Esta abordagem permite uma compreensão objetiva e mensurável dos dados. A relevância da pesquisa quantitativa é destacada por Creswell (2014, p. 15), que afirma: "A pesquisa quantitativa é utilizada para quantificar o problema através da geração de dados numéricos ou dados que podem ser transformados em estatísticas usáveis". Essa metodologia é essencial para testar hipóteses pré-definidas, avaliando relações entre variáveis de forma sistemática e rigorosa.

3.2 Procedimentos para desenvolvimento da pesquisa

A investigação se fundamenta na coleta de dados primários e secundários. Os dados secundários serão obtidos de fontes públicas e corporativas, incluindo relatórios anuais da Vale, publicações sobre sustentabilidade e documentos oficiais relacionados às práticas energéticas da empresa. Para a análise qualitativa, será empregada a análise de conteúdo desses documentos, visando identificar iniciativas de sustentabilidade e o uso de energias renováveis. Paralelamente, a análise quantitativa se concentrará na avaliação de dados sobre consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa e eficiência energética, utilizando técnicas estatísticas para examinar tendências e correlações.

3.3 Coleta de dados

A coleta de dados será realizada mediante revisão documental dos relatórios e publicações da Vale guiadas por perguntas estratégicas evidenciadas no apêndice deste trabalho. Os dados são acessíveis ao público através do site oficial da empresa e de bases de dados relacionadas à sustentabilidade corporativa. Este procedimento visa garantir a obtenção de informações abrangentes e atualizadas sobre as práticas energéticas da empresa, a **Tabela 2**, traz os endereços específicos das fontes dos dados documentais:

Tabela 2 - Fontes documentais de dados utilizados na análise da pesquisa

Fonte de Dados	Endereço de Acesso
Relato Integrado 2022	https://vale.com/documents/d/guest/vale_relatointegrado2022-br-final
Biblioteca de documentos Vale	https://vale.com/pt/esg/biblioteca-de-documentos
Plano de ação ESG 2030 Vale	https://vale.com/documents/d/guest/esg-gap-action-plan_en_04012023
Canal de Investidores	https://vale.com/pt/investidores
	https://vale.com/pt/w/vale-atinge-capacidade-maxima-no-complexo-de-energia-solar-sol-do-cerrado/-/categories/985618
Vale Imprensa	https://vale.com/pt/w/vale-cria-sistema-de-gestao-de-energia-que-reduz-emissoes-e-custo-de-operacoes
	https://vale.com/pt/w/vale-inicia-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-renov%C3%A1vel-do-sol-do-cerrado
Energia - Vale	https://vale.com/pt/energia
ESG - Vale	https://vale.com/pt/esg/home
Observatório da Mineração	https://observatoriodamineracao.com.br/com-demanda-equivalente-a-de-um-estado-vale-consome-sozinha-2-da-energia-eletrica-brasileira/
UM Global Compact	https://www.pactoglobal.org.br/ods-e-agenda-2030/

Fonte: Autoria própria (2024)

3.4 Análise dos dados

Os dados coletados serão submetidos a uma análise crítica para verificar sua relevância, confiabilidade e representatividade em relação aos objetivos da pesquisa. A análise qualitativa buscará interpretar as iniciativas de sustentabilidade e a integração de energias renováveis nos processos da empresa. Simultaneamente, a análise quantitativa utilizará softwares estatísticos para processar os dados numéricos, visando identificar padrões de consumo de energia e avaliar o impacto das estratégias de sustentabilidade adotadas pela Vale.

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação do alinhamento da Vale com os ODS

Para viabilizar a integração da sustentabilidade à gestão da Vale, a empresa estabeleceu um conjunto de compromissos que influenciam a tomada de decisão e a priorização de investimentos ao decorrer dos anos.

Esses objetivos de curto, médio e longo prazos têm governança, orçamento e gestão estruturados e buscam ir ao encontro dos itens pontuados pela ODS. Através da **Tabela 3**, podemos conferir os objetivos da ODS, associados as metas que a Vale estipulou, relacionadas a energia e meio ambiente.

Tabela 3 – Objetivos e status de atingimento da Vale associados a agenda 2030

ODS	Tema	Meta Vale	Status em 2022
7, 13	Mudanças Climáticas	Reduzir emissões de gases de efeito estufa de escopos em 33% até 2039. Alcançar emissão líquida zero nos escopos 1 e 2 até 2050.	27% de redução
7, 13	Mudanças Climáticas	Reduzir em 15% as emissões líquidas de escopo 3 até 2035.	14% de redução
7	Energia	100% de consumo de energia elétrica renovável até 2035 em todas as unidades Vale global.	86,67% do consumo
7	Energia	100% de consumo de energia elétrica renovável até 2025 no Brasil	99,95% do consumo, sendo 99,8% atestado por declarações renováveis.
7	Energia	Melhorar 5% o indicador de eficiência energética global até 2030.	0,335 GJ/tFeEq (Giga joules por tonelada de minério de ferro equivalente)
15	Florestas	Recuperar e proteger mais 500.000 há de áreas florestais além das fronteiras da empresa.	172.484 hectares.
6, 14	Recursos hídricos e efluentes	Reduzir o uso específico de água doce na produção em 27%, até 2030.	20% de redução em relação a 2017.

12	Evolução das práticas ESG	Eliminar principais lacunas ESG em relação às melhores práticas – 63 lacunas mapeadas.	57 concluídas.
9, 12	Emissões atmosféricas	Reduzir em 16% as emissões de material particulado.	4,2kt (Kilo Toneladas)
9, 12	Emissões atmosféricas	Reduzir em 16% as emissões de Óxidos de Enxofre.	75,7 kt (Kilo Toneladas)
9, 12	Emissões atmosféricas	Reduzir em 10% as emissões de Óxidos de Nitrogênio.	44,7 kt (Kilo toneladas)

Fonte: Adaptado de Vale (2022a)

4.2 Processos produtivos da extração mineral

A atividade de extração mineral abrange diversos procedimentos que se iniciam com a localização da matéria-prima e culminam na introdução do produto no mercado, bem como em sua valorização econômica. O primeiro estágio envolve a prospecção ou pesquisa mineral, iniciando-se quando áreas com indícios de ocorrência mineral são meticulosamente mapeadas, visando identificar a jazida, realizar sua avaliação e determinar a viabilidade econômica de sua exploração (DUTRA, 2017).

A segunda fase, conhecida como lavra das jazidas, refere-se à exploração industrial desses depósitos, visando extrair substâncias minerais essenciais para a etapa subsequente de beneficiamento. Conforme Dutra (2017), esse processo compreende duas etapas distintas: o desenvolvimento e a própria lavra.

“No desenvolvimento das jazidas de médio e grande porte, se faz necessário efetuar sua divisão em módulos de menor porte, compatíveis com a geologia e morfologia do corpo 32 de minério, visando o planejamento racional e sistemático das futuras operações de lavra” (DUTRA, 2017, p. 6).

A etapa seguinte, designada como processamento ou beneficiamento do minério, converte as jazidas descobertas durante a fase de prospecção em matéria-prima, adequando-as às exigências do mercado.

“O desenvolvimento do processo de beneficiamento de um determinado bem mineral demanda inicialmente sua detalhada caracterização tecnológica, seguido da análise dos mecanismos de fratura, processos de separação, além do conhecimento profundo de mecânica dos fluidos e comportamento de superfícies e interfaces” (DUTRA, 2017, p. 13).

No processo de beneficiamento do mineral, são empregados diversos métodos, tais como britagem, moagem, peneiramento e classificação, concentração, sedimentação, flotação, filtragem, centrifugação e secagem, além do manuseio dos materiais e amostragem (ANM, 2021).

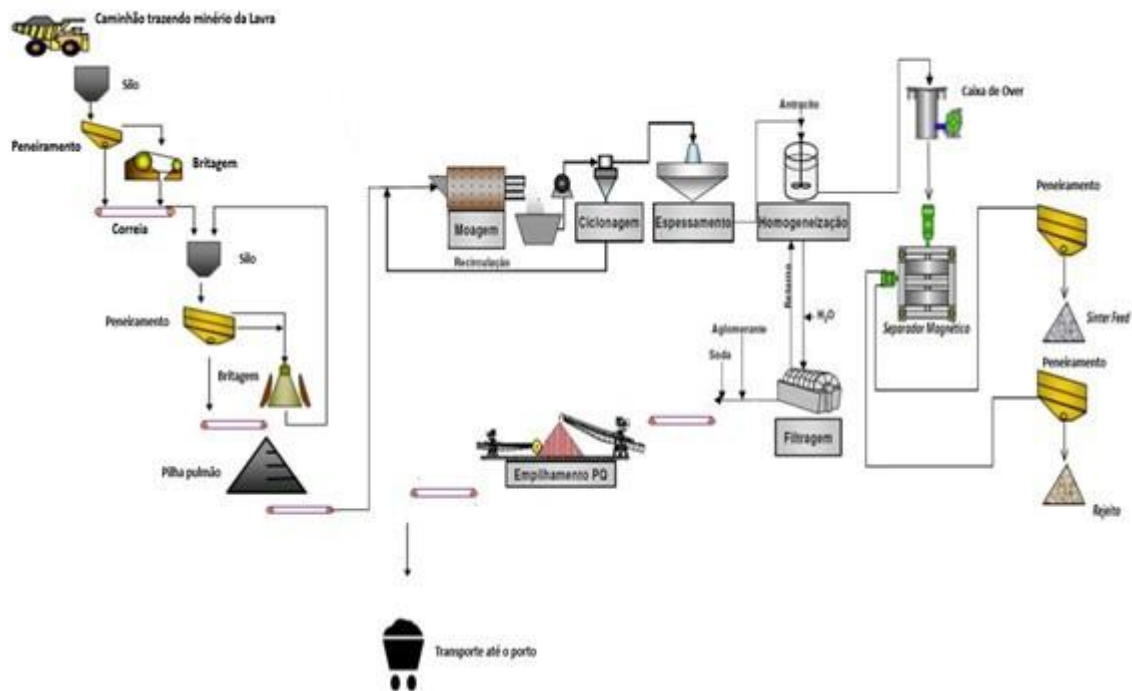
A fase final do processo mineral compreende a restauração ambiental, uma vez que essa atividade acarreta alterações significativas no meio ambiente, demandando a implementação de projetos de recuperação das áreas impactadas. Os objetivos da reabilitação incluem "a preservação da saúde e segurança da comunidade; a minimização ou eliminação do impacto ambiental; e a viabilização, no local, de um uso produtivo semelhante ao original ou de uma alternativa aceitável" (DUTRA, 2017).

4.3 Consumo de energia e fontes utilizáveis pela empresa nos processos produtivos

Como ilustrado na **Figura 8**, a complexa atividade de produção mineral demanda uma quantidade considerável de energia, impulsionada pelas diversas fases inerentes ao processo produtivo. Entre as fontes energéticas preponderantes para fins de produção, destaca-se o consumo de diesel na fase de lavra e transporte do minério de ferro, podendo representar até 30,3% da matriz energética da empresa em estudo (VALE, 2023). Essa cifra, naturalmente, varia em consonância com o ritmo de produção e a natureza específica da mina em operação.

Adicionalmente, o consumo de energia elétrica emerge como um fator significativo, particularmente na etapa de beneficiamento do mineral, podendo atingir até 29,6% do consumo total na matriz energética da empresa (VALE, 2023). Esse dado ressalta a relevância crítica dessa fase específica do processo produtivo, onde a demanda por eletricidade é substancial.

Esses números não apenas evidenciam a expressiva pegada energética associada à produção mineral, mas também destacam a necessidade premente de estratégias direcionadas à eficiência energética em ambas as frentes: uso de diesel na fase inicial e consumo elétrico durante o beneficiamento. À medida que a indústria mineral busca otimizar seus processos, a análise detalhada desses padrões de consumo energético proporciona *insights* valiosos para a implementação de medidas sustentáveis e estratégias de gestão eficazes. Essa abordagem é crucial para uma produção mineral mais eficiente e alinhada aos princípios da sustentabilidade, o que, por sua vez, contribui para a consecução de metas ambientais e econômicas mais amplas.

Figura 8: Fluxo de Produção Mineral Baseado nas Operações de Itabira - MG

Fonte: Adaptado de Vale (2023)

Na execução das atividades de extração mineral e subsequente transformação, emerge uma demanda energética substancial. No contexto brasileiro, a mineradora desponta como responsável por cerca de 2% de todo o consumo de energia elétrica no país, destacando-se como uma figura proeminente nesse cenário. É notável que, mesmo com essa significativa demanda energética, ela ainda se posiciona como a indústria de menor custo de eletricidade global devido à sua localização estratégica em regiões ricas em recursos naturais, permitindo o uso extensivo de energia hidrelétrica, mais acessível (Vale, 2023a).

A magnitude do consumo de eletricidade pela Vale é ainda mais enfatizada pelo fato de que ela figura entre os cinco principais consumidores de eletricidade no Brasil. Nesse contexto, um indicador crucial de desempenho é o custo associado à energia elétrica. Segundo a Vale (2023a) o custo anual de energia elétrica para a empresa de forma global atinge a cifra significativa de US\$ 5 bilhões.

Esse indicador não apenas sublinha a relevância estratégica do setor de energia para as operações da empresa, mas também destaca a necessidade de uma gestão cuidadosa dos custos energéticos. Em um cenário global onde a eficiência e a sustentabilidade se tornam cada vez mais imperativas, a mineradora está diante do desafio de equilibrar sua intensiva

demanda energética com a busca por práticas mais eficientes e sustentáveis. A gestão eficaz desses desafios não apenas impacta diretamente a competitividade da empresa, mas também contribui para a conformidade com metas ambientais e econômicas mais amplas.

Em sequência, temos a **Tabela 4** contendo a divulgação de Intensidade de energia consumida por produto na Vale que é a quantidade de energia necessária para produzir uma tonelada do produto nas atividades das unidades produtivas, não incluindo os volumes de energia consumidos nas operações logísticas. No indicador GJ/tFeEq (Giga joules por tonelada de minério de ferro equivalente), todas as produções dos diferentes produtos da Vale (carvão, níquel, cobre, manganês etc.), são convertidos ao equivalente de minério de ferro, o principal produto da empresa (VALE, 2023a).

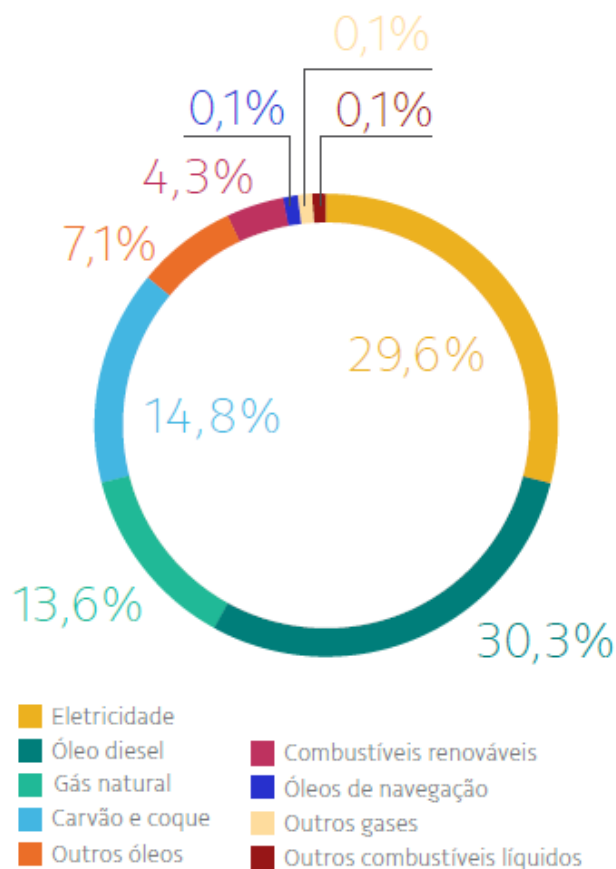
Tabela 4: Intensidade de energia consumida por produto na Vale

Produto	Unidade ⁽³⁾	2022
Minério de Ferro	GJ/tFe Eq	0,087
Pelotas	GJ/tFe Eq	0,633
Minério de Manganês	GJ/tFe Eq	Sem produção
Ferroligas Manganês	GJ/tFe Eq	Sem produção
Carvão (Térmico e Metalúrgico)	GJ/tFe Eq	0,764
Níquel e Cobre ⁽²⁾	GJ/tFe Eq	1,077

Fonte: Adaptado de Vale (2023)

Quando a intensidade de energia é expressa como *GJ/tFeEq*, ela indica a quantidade total de energia (neste caso, em Giga joules) necessária para produzir uma tonelada de um produto (neste caso, minério de ferro ou seu equivalente). Esta medida inclui todas as formas de energia utilizadas no processo produtivo, não se limitando apenas à energia elétrica. No entanto, aproximadamente um terço dessa energia, de fato, é elétrica conforme evidenciado na **Figura 9**.

Para a produção de seu portfólio em 2021, a mineradora teve um consumo total de 146,2 mil TJ (Terajoule unidade de medida de energia no Sistema Internacional de Unidades). O que também representa uma intensidade energética de 0,349 TJ/mil toneladas de minério. Um Terajoule equivale a um trilhão de joules ($1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ joules}$). Esta unidade é frequentemente utilizada para quantificar grandes quantidades de energia, como o consumo energético de grandes indústrias ou o potencial energético de fontes de energia. Observado a **Figura 9**, podemos constatar as principais fontes de energia utilizadas pela empresa e o percentual de seu consumo.

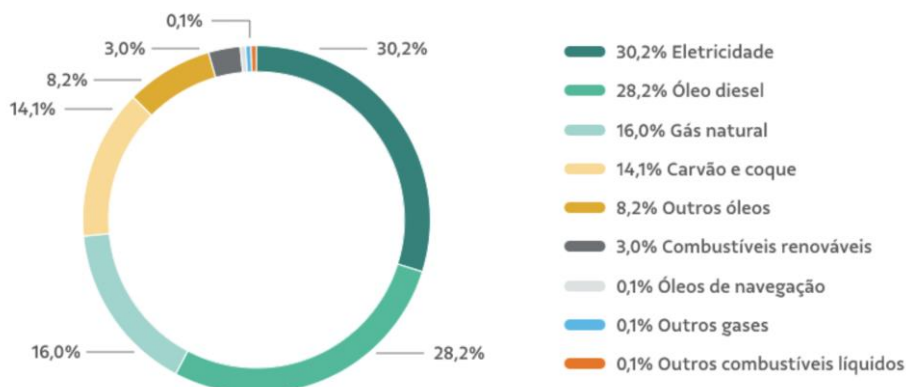
Figura 9: Matriz de consumo de energia por fonte na Vale em 2021

Fonte: Vale (2022b)

A otimização de custos e a redução de emissões de gases de efeito estufa são impulsionadas pela eficiência energética, um fator chave nas operações. A Vale está atualmente em processo de implementação do Sistema de Gestão de Energia conhecido como *SmartEnergy*. Esse sistema proporciona a capacidade de monitorar automaticamente o consumo de energia, simplificando e tornando transparentes as atividades de gestão da matriz energética global da empresa (VALE, 2019).

A mineradora em 2023, divulgou sua nova matriz energética referente ao ano de 2022, conforme demonstrado na **Figura 10**. Através desta matriz, podemos realizar uma análise comparativa e qualitativa entre as matrizes de 2021 representada pela **Figura 9** e 2022, representado pela **Figura 10**.

Figura 10: Matriz de consumo de energia por fonte da empresa em 2022



Fonte: Vale (2023a)

A análise pode revelar nuances importantes nas escolhas e estratégias da empresa em relação ao consumo de energia em suas operações. A seguir, pode-se destacar os principais pontos de comparação e suas implicações através da **Tabela 5**.

Tabela 5 - Análise comparativa da matriz energética da Vale (2021 vs. 2022)

Fonte de Energia	% em 2021	% em 2022	Comentário
Eletricidade	29,6%	30,2%	Leve aumento sugere foco na eficiência e sustentabilidade.
Óleo Diesel	30,3%	28,2%	Redução indica possível otimização e busca por alternativas.
Gás Natural	13,6%	16%	Aumento sugere maior adoção de uma fonte não renovável e levanta dúvidas sobre a efetividade da estratégia sobre a utilização de fontes renováveis.
Carvão e Coque	14,8%	14,1%	Redução reflete possível estratégia de menor intensidade de carbono.
Combustíveis Renováveis	4,3%	3%	Diminuição levanta questões sobre a efetividade da estratégia sobre a utilização de combustíveis renováveis.
Óleo de Navegação e Outros	0,1%	0,1%	Presença constante, indicando sua relativa insignificância.

Fonte: Autoria própria (2023)

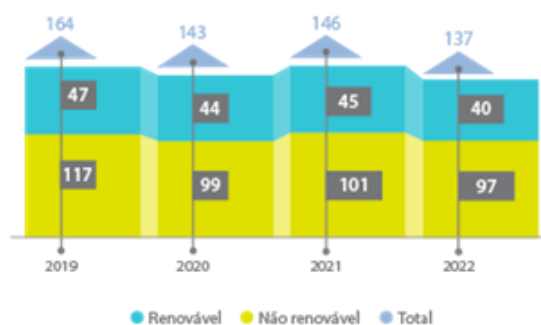
Esta análise, destaca a complexidade das decisões envolvidas na gestão da matriz energética da empresa. A busca por eficiência operacional, redução de custos e

sustentabilidade são desafios intrínsecos que exigem uma abordagem dinâmica e integrada. A redução no uso de óleo diesel e a ênfase em eletricidade e gás natural indicam uma resposta às demandas contemporâneas da produção sustentável. No entanto, a diminuição nos combustíveis renováveis sugere a necessidade de uma revisão crítica das estratégias adotadas, levando em consideração a dinâmica do mercado e os avanços tecnológicos.

Em 2022, a parcela atribuída à eletricidade totalizou 30,2% no consumo energético da mineradora, dos quais notáveis 86,7% derivaram de fontes renováveis. No território brasileiro, esse índice se amplifica consideravelmente: 99,95% da matriz energética provêm de fontes renováveis, abrangendo contratos de concessão para ativos próprios e acordos de aquisição de energia da Vale. A autenticidade dessa energia renovável foi respaldada por certificados ou declarações emitidas pelos geradores, passando por auditoria de terceiros (VALE, 2023b).

A **Figura 11**, ilustra a distribuição das fontes de energia na cadeia produtiva global da Vale entre os anos de 2019 e 2022.

Figura 11: Participação de fontes renováveis na cadeia produtiva global da Vale (em mil TJ)



Fonte: Vale (2023)

Ao analisar a participação de fontes renováveis e não renováveis na cadeia produtiva global da Vale entre 2019 e 2022, observa-se uma tendência na variação da porcentagem de consumo dessas fontes. Em 2019, a participação de fontes renováveis era de aproximadamente 28,66%, diminuindo ligeiramente nos anos subsequentes até alcançar cerca de 29,20% em 2022. Paralelamente, a participação de fontes não renováveis iniciou em 71,34% em 2019, apresentando uma redução proporcional à medida que a participação renovável oscilava.

A variação percentual anual nas fontes renováveis revela um esforço contínuo, ainda que com flutuações, da Vale em aumentar a utilização de energias menos poluentes. Apesar da redução absoluta no consumo de energias renováveis de 47 mil TJ em 2019 para 40 mil TJ em 2022, o contexto global de redução no consumo total de energia, de 164 mil TJ para 137

mil TJ no mesmo período, indica uma estratégia de eficiência energética e potencial realinhamento da matriz energética.

Estes dados quantitativos, embora demonstrando um compromisso progressivo com a sustentabilidade, requerem uma análise mais profunda para avaliar a eficácia das políticas de sustentabilidade da Vale, especialmente no que tange à redução de emissões de gases de efeito estufa e ao impacto ambiental global. A diminuição no consumo total de energia, juntamente com a relativa estabilidade na proporção de fontes renováveis, sugere uma otimização nos processos produtivos, mas também ressalta a necessidade de investimentos contínuos em tecnologias limpas e renováveis para cumprir com os objetivos de sustentabilidade a longo prazo.

Dessa forma, a análise destaca não apenas os esforços da Vale em adotar práticas mais sustentáveis, mas também os desafios inerentes à transição energética em uma das maiores corporações do setor de mineração global. É imprescindível que futuras estratégias da empresa sejam acompanhadas de medidas concretas que alinhem ainda mais suas operações com os objetivos de desenvolvimento sustentável, garantindo transparência e responsabilidade ambiental em suas atividades.

4.3.1 Análise comparativa das fontes de energia utilizadas pela empresa

A **Tabela 6** proporciona uma visão geral das vantagens e desvantagens das fontes de energia não renováveis utilizadas no processo de mineração. É importante ressaltar que o uso dessas fontes não renováveis tem implicações significativas para o meio ambiente, a segurança e a sustentabilidade a longo prazo. Considerar alternativas mais sustentáveis e transitar para fontes de energia renovável pode ser uma abordagem crucial para reduzir impactos ambientais e atender às demandas crescentes por práticas mais ecologicamente corretas na indústria da mineração.

Tabela 6 – Vantagens e desvantagens associadas às fontes de energia não renováveis

Fonte de Energia	Vantagens	Desvantagens
Óleo Diesel	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidade energética; • Fácil armazenamento e transporte; • Amplamente disponível; • Uso versátil em equipamentos móveis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões significativas de poluentes atmosféricos; • Impactos ambientais associados à extração do petróleo; • Dependência de recursos não renováveis; • Preço volátil do petróleo no mercado global.

Gás Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Menor emissão de CO₂ em comparação com outras não renováveis; • Amplamente disponível; • Baixo teor de enxofre, reduzindo emissões de SO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de extração podem causar impactos ambientais; • Vazamentos de metano durante a produção e transporte; • Dependência de infraestrutura de transporte específica; • Preço sujeito a flutuações;
Carvão e Coque	<ul style="list-style-type: none"> • Abundante e amplamente disponível; • Custos geralmente mais baixos em comparação com outras fontes; • Uso diversificado em várias indústrias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior emissão de CO₂ entre os combustíveis fósseis; • Liberação de poluentes atmosféricos durante queima; • Impactos ambientais significativos na extração; • Problemas de armazenamento e manuseio do carvão.
Óleo de Navegação	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidade energética; • Disponibilidade global para transporte marítimo; • Estabilidade em longos períodos de armazenamento; 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões substanciais de CO₂ durante queima; • Potencial para vazamentos e poluição de águas oceânicas; • Impactos ambientais associados à produção e refino; • Vulnerabilidade a derrames e acidentes navais.

Fonte: Autoria própria (2023)

Entre as fontes de energia sustentável e renovável, a energia eólica, a energia solar, a hidroelétrica e a biomassa surgem como opções proeminentes para atender às necessidades energéticas da empresa. A **Tabela 7** expõe as vantagens e desvantagens associadas à adoção dessas fontes de energia na geração de eletricidade para operações mineradoras.

Tabela 7 – Vantagens e desvantagens associadas às fontes de energia renovável

Fonte energética	Vantagem	Desvantagem
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> • Não produz emissões de GEE e poluentes; • Retorno financeiro de curto prazo; • Fonte competitiva e viável no mercado do Brasil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificação topográfica; • Emissão de ruídos e radiação eletromagnética; • Alto custo de implantação; • Interfere na rota migratória de aves.
Biomassa	<ul style="list-style-type: none"> • Fonte de energia pouco poluente; • Recursos são renováveis em curto prazo; • Possui baixo custo; • Baixo risco ambiental; • Alta capacidade de reaproveitamento de resíduos orgânicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do desmatamento para destinação de áreas para agricultura; • Apresenta eficiência reduzida em relação a outras fontes de energia; • Altamente dependente de grandes quantidades de Biomassa que varia com as condições climáticas; • Desvio de fluxo de água e criação de represa, alterando a característica da biodiversidade do local;
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> • Produz mais energia por unidade de área necessária; 	<ul style="list-style-type: none"> • Danos ambientais, impactando a

Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa emissão de gases de efeito estufa; • Viabiliza o uso de outras fontes renováveis, como a eólica e solar; • Baixo custo operacional. <p>Os sistemas solares fotovoltaicos têm baixos custos de manutenção. Geralmente, basta limpar os painéis periodicamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incremento na economia local; • Baixa interferência na fauna e flora; • A energia solar é uma fonte renovável e sustentável de energia. O sol é uma fonte inesgotável de energia que não emite poluentes. • Retorno financeiro a curto prazo; • Fácil instalação; 	<p>biodiversidade;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprometimento da qualidade das águas; • Dependente da sazonalidade anual da precipitação e das condições climáticas; <p>Alto custo de instalação;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Os painéis solares têm uma vida útil finita e podem perder eficiência ao longo do tempo; • A produção de painéis solares pode envolver produtos químicos e emissões de carbono; • Os painéis solares ocupam espaço, o que pode ser uma limitação em propriedades menores. • A geração de energia solar depende da luz solar, o que significa que não está disponível durante a noite ou em dias nublados.
-------	---	--

Fonte: Autoria própria (2023)

4.4 Autoprodução de energia elétrica

A autoprodução de energia elétrica é uma prática em que uma entidade, como uma empresa ou indústria, gera a sua própria eletricidade para atender às suas necessidades energéticas. Essa autonomia é alcançada por meio da implementação de sistemas de geração de energia nas próprias instalações da empresa, possibilitando que ela produza, consuma e, em alguns casos, até armazene a eletricidade gerada. Esta abordagem tem ganhado destaque devido a uma série de vantagens, incluindo a redução de custos operacionais, maior independência em relação à rede elétrica tradicional e a oportunidade de adotar fontes de energia mais sustentáveis, contribuindo assim para metas ambientais e de sustentabilidade (SANTOS, 2019).

Ao optar pela autoprodução, as organizações podem personalizar suas soluções de energia de acordo com suas demandas específicas, integrando tecnologias renováveis, como solar, eólica, ou outras formas de geração distribuída. Além disso, a autoprodução proporciona uma maior segurança energética, reduzindo a dependência de fontes externas e minimizando as vulnerabilidades associadas a interrupções na oferta de eletricidade. Essa prática reflete uma abordagem crucial em um cenário global cada vez mais consciente das questões ambientais e da importância da gestão responsável dos recursos energéticos (SANTOS, 2019).

Atualmente, aproximadamente 60% da energia elétrica consumida pelas operações da

Vale no Brasil provém da autoprodução. Visando fortalecer ainda mais sua posição nesse cenário, a mineradora estabeleceu a meta ambiciosa de atingir a autossuficiência total em energia elétrica no país até o ano de 2025 (VALE, 2023a).

A seguir, temos a demonstração através da **Tabela 8**, das centrais de autogeração de energia elétrica da Vale. A tabela apresenta uma visão abrangente das unidades geradoras de energia da empresa distribuídas em várias localidades do Brasil, destacando diferentes fontes de geração.

Tabela 8 – Ativos de autogeração de energia elétrica da Vale

Unidade Geradora	Localidade	Fonte	Capacidade (MW)	Percentual (%)
Folha Larga	Campo Formoso - BA	Eólica	150 MW podendo chegar a 450 MW	3.23%
Sol do Cerrado	Jaíba - MG	Solar	766 MW	16.50%
PCH Mello	Rio Preto – MG	Hidráulica	9,54 MW	20.55%
PCH Glória	Rio Preto – MG	Hidráulica	11,4 MW	2.46%
PCH N. Maurício	Leopoldina – MG	Hidráulica	29, 2 MW	6.29%
UHE Candonga	Escalvado – MG	Hidráulica	140 MW	3.02%
UHE Estreito	Palmeiras do Tocantins – TO	Hidráulica	1.087 MW	23.41%
UHE Machadinho	Almeida – RS	Hidráulica	1.140 MW	24.55%

Fonte: Adaptado de Vale (2023)

A presença de uma usina eólica através na unidade de Folha Larga, indica o comprometimento com fontes renováveis. A capacidade expansível demonstra a flexibilidade para atender à demanda crescente de energia. A usina do Sol do cerrado, através da energia solar, contribui significativamente para a diversificação da matriz energética, aproveitando a alta irradiação solar na região de Jaíba, segundo dados da Vale (2023b), está unidade gera 16,5% de toda energia consumida pela empresa. As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) demonstram o aproveitamento de recursos hídricos, refletindo uma abordagem sustentável e de baixo impacto ambiental. As Usinas Hidrelétricas (UHEs) representam uma parte significativa da capacidade total da mineradora, indicando a exploração eficiente da energia hídrica em diferentes regiões do Brasil (VALE, 2023b).

A presença de diversas fontes de energia destaca a estratégia de diversificação da matriz energética da empresa, o que pode contribuir para a resiliência em face de variações nas condições climáticas. A expansibilidade de algumas unidades pode indicar a adaptabilidade para enfrentar futuras demandas de energia. Essas análises demonstram uma abordagem equilibrada e diversificada em relação à geração de energia, alinhada às práticas sustentáveis e às demandas crescentes por fontes limpas e renováveis.

Além da autogeração, a mineradora possui uma aliança de geração de energia, uma

parceria estratégica entre a empresa e a Cemig, que se consolidou como uma das principais geradoras privadas de energia no Brasil desde o início de suas operações em 2015. O empreendimento engloba sete usinas hidrelétricas, operando tanto de forma independente como em consórcios (VALE, 2023b).

A diversificação da capacidade instalada através da aliança entre a Cemig e Vale, destaca-se, com 99 MW provenientes de fontes eólicas e 1.257 MW no total, considerando a participação específica das empresas nesses empreendimentos. A estrutura societária reflete a parceria estratégica entre a Vale e a Cemig, com uma participação de 55% e 45%, respectivamente (VALE, 2023b).

Outro braço estratégico da empresa em parceria com a Cemig é a Aliança Norte Energia, detendo 9% da Hidrelétrica de Belo Monte. Localizada no estado do Pará, a usina é uma referência nacional, sendo a maior hidrelétrica totalmente brasileira e a quarta maior do mundo. Os sítios Pimental e Belo Monte contribuem significativamente para a matriz elétrica brasileira (VALE, 2023b). Com 411 MW de garantia física e uma capacidade instalada de 1.011 MW, mais uma vez a parceria estratégica entre a Vale e Cemig, com uma participação de 51% e 49% respectivamente (VALE, 2023b).

Analisando a participação de fontes renováveis e não renováveis na cadeia produtiva global da Vale, observa-se uma tendência de diminuição na utilização de fontes não renováveis de 2019 a 2022, enquanto a porcentagem de fontes renováveis mostra uma ligeira flutuação. Este padrão reflete os esforços da Vale em aderir a práticas mais sustentáveis, embora a variação no uso de fontes renováveis sugira desafios na manutenção e expansão dessa estratégia. A redução no total de energia consumida, de 164 mil TJ em 2019 para 137 mil TJ em 2022, indica uma eficiência energética crescente. Esses dados são cruciais para compreender a transição da Vale para uma produção mais sustentável.

O portfólio da mineradora, dedicado à geração de energia elétrica, destaca-se por sua composição predominantemente renovável, que representa 98,6% do total. Em 2022, a capacidade instalada da empresa atingiu 2,7 GW. Essa capacidade é derivada em grande parte de ativos de geração hidrelétrica e eólica, que estão sob propriedade direta e indireta da Vale, estrategicamente localizados no Brasil, Canadá e Indonésia. Adicionalmente, o projeto solar 'Sol do Cerrado' representa um marco importante nesse portfólio, contribuindo de forma expressiva para o consumo de energia da empresa. Em média, essas plantas renováveis atendem 61% do consumo global de eletricidade da Vale e 72% do consumo no Brasil (VALE, 2023b).

5 ANÁLISES

5.1 Estratégia de matriz energética

A abordagem da Vale em relação à sua matriz energética reflete uma estratégia de diversificação inteligente e deliberada. Ao combinar fontes não renováveis, como óleo diesel, gás natural e carvão, com fontes renováveis, como eólica, solar e hidroelétrica, a empresa busca mitigar riscos associados a flutuações de custos e disponibilidade sazonal.

A diversidade na matriz energética não é apenas uma resposta às preocupações ambientais, mas também uma medida eficiente em termos de custos. Isso sugere uma busca equilibrada para eficiência operacional com considerações ambientais, procurando maximizar a sustentabilidade sem comprometer a competitividade econômica.

A inclusão de fontes diversas não apenas reduz a exposição a flutuações nos preços de combustíveis não renováveis, notadamente voláteis, mas também posiciona a mineradora para se adaptar a mudanças nas condições do mercado de energia. Essa flexibilidade é crucial em um contexto global onde os preços de energia e as demandas do mercado estão em constante evolução.

A escolha específica de fontes renováveis, como eólica e solar, destaca uma compreensão sobre as características únicas dessas fontes. A empresa não apenas adota energias renováveis de maneira genérica, mas integra aquelas que são mais adequadas às suas operações, considerando fatores geográficos e climáticos específicos como o potencial de radiação solar, intensidade e consistência dos ventos e pôr fim a disponibilidade de terras para investimento.

O objetivo de diversificação aparentemente não é apenas reativo; é proativo em relação às crescentes pressões ambientais. Ao incorporar fontes renováveis, a empresa antecipa as demandas futuras e posiciona-se como líder em práticas ambientalmente responsáveis na indústria de mineração além de estabelecer metas internas para atender requisitos de sustentabilidade, ela busca atrelar suas ambições com as Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da agenda de 2030.

A análise da matriz energética da mineradora evidencia um esforço consistente para reduzir as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa). Ao optar por fontes de energia menos intensivas em carbono, a empresa está alinhada com as metas globais de redução de emissões, contribuindo positivamente para a mitigação das mudanças climáticas.

Foi observado que a Vale, se compromete a uma avaliação constante do desempenho de sua matriz energética através da análise temporal de 2021 e 2022, além da demonstração das fontes de energia utilizadas entre 2019 e 2022. Isso sugere uma abordagem dinâmica, onde a empresa está aberta a ajustar sua trajetória com base nas mudanças nas tecnologias de energia e nas dinâmicas do mercado.

A mineradora estabeleceu objetivos ambiciosos que alinham suas operações com as tendências globais de sustentabilidade e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas. Entre esses objetivos, destacam-se a redução das emissões de escopo 1 e 2 em 33% até 2030, a obtenção de 100% de energia renovável no Brasil até 2025 e globalmente até 2030, e a neutralidade de carbono até 2050. Além disso, a empresa visa melhorar seu indicador de eficiência energética global em 5% até 2030 em relação à linha de base de 2017, mostrando um caminho claro para a transição energética e a descarbonização de suas operações.

Em última análise, a estratégia da Vale deve ser vista como um ponto de partida para debates mais amplos sobre como as grandes empresas podem contribuir de maneira mais significativa para o combate às mudanças climáticas. O sucesso desta abordagem não será medido apenas pelos indicadores de sustentabilidade da empresa ou sua matriz energética, mas também pelo impacto que as empresas podem ter na promoção de uma transição global para uma economia de baixo carbono.

5.2 Autogeração e autossuficiência

O processo de autoprodução de energia elétrica da empresa reflete um compromisso significativo com a geração interna de eletricidade, uma estratégia fundamental para suas operações. Essa prática permite um maior domínio sobre a oferta energética, minimizando a dependência de terceiros e aumentando a flexibilidade operacional. Ao diversificar suas fontes energéticas para incluir opções eólicas, solares e hidrelétricas, a empresa reforça seu plano de diversificação energética. Essa estratégia não só diminui a exposição a variações de uma única fonte energética como também promove a adoção de recursos mais sustentáveis.

A autoprodução transcende a questão da autonomia, trazendo vantagens econômicas significativas. Gerar sua própria eletricidade permite cortar custos operacionais, uma vantagem particularmente relevante em setores sujeitos à volatilidade de preços, como o de mineração. Com o objetivo de alcançar total autossuficiência energética até 2025, a empresa busca estabilidade, proteção contra possíveis déficits de fornecimento e uma fundação sólida

para suas operações contínuas.

Essa jornada em direção à autossuficiência não é somente uma estratégia defensiva, mas um pilar central das iniciativas da empresa para cumprir com suas metas de sustentabilidade e contribuir para a Agenda 2030 da ONU. Integrando fontes renováveis, a empresa reduz sua pegada de carbono e alinha-se aos esforços globais para a diminuição das emissões e a responsabilidade ambiental.

Parcerias estratégicas, como a aliança com a Cemig e a participação na Hidrelétrica de Belo Monte, sublinham um esforço colaborativo e a busca por sinergias para alcançar objetivos ambiciosos. A adoção de fontes renováveis, que já representam cerca de 72% da capacidade de autoprodução de energia elétrica da empresa no Brasil, não só contribui para a redução do impacto ambiental, mas também reforça o compromisso com a transição energética. Destaque-se a usina solar Sol do Cerrado, responsável por gerar 16,5% da energia consumida pela empresa no Brasil, ilustrando o papel vital das renováveis na sua matriz energética.

O investimento em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Usinas Hidrelétricas (UHEs) evidencia o aproveitamento eficaz dos recursos hídricos, combinando diversificação energética com responsabilidade ambiental. A estratégia de autoprodução da empresa tende a demonstrar compromisso com a sustentabilidade, eficiência e autonomia, integrando fontes renováveis para atender às demandas futuras e adaptar-se a elas proativamente.

5.3 Impactos ambientais e sustentabilidade

A Vale adota uma postura proativa na minimização de impactos ambientais em suas operações de energia este fato se apoia na diversificação entre as fontes de energia renováveis e mais limpas, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em comparação com fontes não renováveis, como o carvão.

As fontes renováveis, especialmente a solar e eólica, são caracterizadas por práticas de baixo impacto durante a operação. A energia solar não emite poluentes atmosféricos durante a geração, e a eólica tem uma pegada de carbono significativamente menor em comparação com as fontes tradicionais de energia.

A presença de hidrelétricas indica uma abordagem sustentável ao aproveitar os recursos hídricos. No entanto, é essencial monitorar e mitigar os impactos ambientais associados à criação de represas, ao desvio de fluxo de água e às mudanças na biodiversidade local.

Sendo assim, ao abordar impactos ambientais e sustentabilidade em suas operações de energia, a mineradora está cumprindo regulamentações. Em síntese, a análise dos impactos ambientais e sustentabilidade nas operações da Vale destaca a complexidade das decisões envolvidas na gestão energética e a importância de uma abordagem integrada e dinâmica para atingir a sustentabilidade. A busca ativa por fontes renováveis, a redução de emissões, a inovação na autoprodução e a participação em projetos estratégicos tendem a demonstrar uma abordagem holística para equilibrar as necessidades de energia com a responsabilidade ambiental.

5.4 Desafios e limitações

A transição energética para fontes renováveis enfrenta desafios multifacetados, destacando a complexidade de integrar soluções sustentáveis nas operações industriais em grande escala, como as da Vale. Primeiramente, o custo inicial de implementação de tecnologias renováveis, tais como solar e eólica, permanece substancial, representando uma barreira financeira significativa por isso, deve-se aprofundar no estudo, a fim de verificar os custos dos investimentos e o *payback* deste. Este obstáculo é exacerbado pela volatilidade econômica e as exigências de capital intensivo para infraestrutura e tecnologia avançada.

A variabilidade inerente na disponibilidade de recursos renováveis, como sol e vento, introduz uma camada adicional de complexidade na garantia de uma oferta energética constante e confiável, demandando sistemas de armazenamento de energia eficazes e caros.

A manutenção de infraestruturas de energia renovável também levanta questões de custo e eficiência a longo prazo, onde a durabilidade e o desempenho das tecnologias como painéis solares e turbinas eólicas podem variar, influenciando a viabilidade financeira e técnica das soluções de energia renovável. Ademais, a integração de fontes de energia renovável ao sistema elétrico existente requer investimentos substanciais em infraestrutura de rede para acomodar novas capacidades de geração e garantir a distribuição eficiente de energia.

A aceitação pública e a adaptação às regulamentações ambientais em constante evolução também se apresentam como desafios significativos, refletindo a necessidade de estratégias de comunicação eficazes e a antecipação de mudanças no cenário regulatório. Por fim, a escala das operações de uma empresa como a Vale demanda soluções de energia renovável que possam ser escalonadas adequadamente para atender à demanda energética substancial, um desafio que requer inovação contínua e planejamento estratégico.

Em suma, enquanto a Vale avança na integração de energias renováveis em sua matriz energética, a superação desses desafios exige uma abordagem holística que combine inovação tecnológica, planejamento financeiro estratégico, engajamento com stakeholders e adaptação regulatória. A gestão eficaz desses desafios será crucial para o sucesso da transição energética, alinhando as operações da empresa com os objetivos globais de sustentabilidade e redução de emissões de gases de efeito estufa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste estudo, tornou-se evidente que a consideração pela preservação ambiental tem gerado debates significativos sobre a imperatividade de utilizar os recursos de forma responsável. Embora as hidrelétricas sejam identificadas como uma fonte de energia ambientalmente renovável e limpa, numerosas pesquisas corroboram que essas infraestruturas acarretam impactos indiretos ao meio ambiente. Isso sublinha a necessidade de explorar e adotar fontes alternativas de energia.

Um aspecto importante analisado com relação ao setor mineral no Brasil, é seu expressivo consumo de energia elétrica. Esse alto consumo demonstra a importância de metas bem traçadas e tomadas de decisões assertivas no setor de consumo e geração de energias renováveis. Sendo assim o investimento realizado pela Vale nos projetos Sol do Cerrado e Folha Larga, demonstram além da diversificação de fontes renováveis integradas à sua matriz elétrica a capacidade de investir e gerar retorno para suas operações e também para o meio ambiente.

O presente estudo mergulhou nas complexidades do setor energético, com foco na estratégia de autoprodução adotada pela Vale, uma das principais empresas do cenário industrial brasileiro. A análise abrangente revelou uma abordagem proativa e alinhada com os princípios da sustentabilidade e eficiência operacional.

De fato, a empresa estudada traz a público várias informações sobre geração e utilização de energia elétrica renovável, demonstra o quanto sua matriz elétrica no Brasil é limpa e alinha seus objetivos para que em breve seja autossuficiente na produção de energia que consome. Sendo assim, a utilização da energia renovável está em todos os seus processos de forma integrada.

Em síntese, a estratégia de autoprodução de energia da mineradora é um testemunho da evolução necessária no panorama energético global. A integração de fontes renováveis, a diversificação da matriz e o compromisso com metas ambiciosas indicam não apenas uma visão de futuro, mas também uma responsabilidade corporativa. À medida que a Vale avança em direção à autossuficiência, a aplicação diligente dos princípios da engenharia da produção é crucial para garantir uma transição suave e sustentável, contribuindo para um setor mais resiliente e alinhado com os desafios do século XXI.

Como perspectiva futura, é essencial aprofundar a pesquisa sobre tecnologias de

energia renovável que sejam tanto eficientes quanto economicamente viáveis para a mineração, visando superar barreiras técnicas e operacionais. Outra perspectiva relevante é a integração de práticas sustentáveis em toda a cadeia de valor nas operações da mineração, desde a extração até a gestão de rejeitos, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Por fim, sugere-se a importância de políticas públicas e incentivos governamentais que apoiem a transição energética no setor de mineração, garantindo que as metas de desenvolvimento sustentável sejam atendidas de maneira eficaz.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **Renewables 2023 – Analysis**. Disponível em: <www.iea.org>. Acesso em: 8 de fev. de 2024.

Alden, J. (2019). **Harnessing the Wind: The Art of Teaching about Wind Energy and Human History**. *The Earth Scientist*, 35(3), 16-21.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

ANDREÃO G.; HALLACK M.; VAZQUEZ M. **Financing the expansion of photovoltaic power generation in Brazil: challenges of using similar mechanisms for different renewable sources**. In: ELAEE – LATIN AMERICAN ENERGY ECONOMICS MEETING, 6., 2017, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Elaee, 2017.

ANUÁRIO Mineral Brasileiro (ANM): **Principais Substâncias Metálicas**. 1. ed. Ministério de Minas e Energia: Yuri Faria Pontual de Moraes, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

Aras, G., & Crowther, D. (2009). **A organização duradoura em tempos de crise económica e financeira**. *Economia e Gestão*, 14, 210-216.

BARTER, N.; RUSSELL, S. **Sustainable Development: 1987 to 2012 - Don't Be Naive, it's not about the Environment**. In: **11TH AUSTRALASIAN CONFERENCE ON SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ACCOUNTING RESEARCH (A-CSEAR)**. Proceedings... University of Wollongong, 2012. p. 1-18.

BLUME. **Visão geral de um sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica**. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/figura-3-visao-geral-deum-sistema-de-gracaotransmissao-e-distribuicao-deenergia_fig1_262373193. Acesso em: 10 agosto. 2023.

Brundtland, G. (1987). **Nosso futuro comum: a comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento**. Oxford, Inglaterra: Oxford University Press.

CALHAU, Manuel Francisco Pereira Varela. **Principais biocombustíveis e combustíveis fósseis, com breve abordagem ao projeto de conversão da refinaria de Sines do ponto de vista da higiene e segurança**. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito. (2006). **Energia solar – princípios e aplicações**. Recuperado de http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf

DIALGA, I. **A sustainability index of mining countries**. *Journal of cleaner production*, 179, 278-291, 2018.

DUNLAP, R.A. **Sustainable energy**. Halifax: Dalhousie University, 2015.

DUTRA, Ricardo. **Mineração–Atividades e responsabilidades**. Associação Paulista de Engenheiros de Minas. Ponta Grossa/PR, 2017

ENERGIAS renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade. Relator: Pedro Uczai. Equipe técnica: Wagner Marques Tavares (coord.), Alberto Pinheiro de Queiroz Filho (recurso eletrônico). – Brasília: Câmara dos Deputados, p. 273, Edições Câmara, 2012. Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/energias-renovaveis-riqueza-sustentavel-ao-alcance-da-sociedade> Acesso em: 12 Ago. 2023.

Epe. **Matriz Energética e Elétrica**. 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 27 de julho de 20

FERREIRA, W. C. **Política de conteúdo local e energia eólica: a experiência brasileira**. 2017. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2017.

FIGUEIRAL, Carlos Miguel Almeida. **Aplicação do conceito de combustão dual-fuel num motor diesel pesado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de Coimbra, Coimbra, 96 p, 2011.

GOV. **Brasil ultrapassa os 190 GW em capacidade de geração de energia elétrica trica**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-ultrapassa-os-190-gw-em-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 27 de julho de 2023.

GOV. **Matriz elétrica brasileira apresenta expansão de 2.746 MW no primeiro trimestre de 2023**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-ultrapassa-os-190-gw-em-capacidade-de-geracao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 27 de julho de 2023.

GOV.UK. **COP26 Presidency Outcomes**. Disponível em: <<https://www.gov.uk>>. Acesso em: 5 de fev. 2024.

GREENPEACE. **Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**. Cenário Brasileiro. (2013).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

HUSGAFVEL, R. et al. **Social sustainability performance indicators experiences from process industry**. Journal of Sustainable Engineering, v. 8, n. 1, p. 14-25, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). **Pesquisa de Informações Básicas Municipais**. Rio de Janeiro: IBGE.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Renewable energy sources and climate change mitigation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. Nova York: Cambridge University Press, 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions**. Paris: IEA, 2021. Disponível em:< <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>>. Acesso em: 20 jan. de 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable capacity statistics 2023**. Disponível em:<<https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>>. Acesso em: 20 jan. de 2024.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2021). **Panorama Atual da Energia Solar no Brasil**. Brasília, DF: IPEA. Disponível em:<<https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream>>. Acesso em: 8 fev. de 2024.

Lopez, A., Barrios, D., & Montero, E. (2020). **Solar Photovoltaic Energy: Current Status and Future Prospects**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110336.

LOSEKANN, L. D. **Desafio do setor elétrico brasileiro: novo papel dos reservatórios**. Blog Infopetro,

12 ago. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/caQGdw>>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

Martins, A. F., Silva, L. A., & Oliveira, R. B. (2020). **Panorama da Energia Fotovoltaica no Brasil: Aspectos Técnicos, Econômicos e Sociais**. Revista Brasileira de Energia Solar, 10(2), 45-60.

Mauad, F. F. (2017). **Análise das principais fontes** (1° ed., Vol. 1). (EESC.USP, Ed.) São Carlos: São Carlos.

Mendes, A. P., Souza, B. C., & Oliveira, R. S. (2020). **Potencial Energético da Energia Solar no Brasil: Uma Análise Prospectiva**. Revista Brasileira de Energia Solar, 15(2), 78-92.

MINAS GERAIS. **Minas Gerais formaliza adesão à campanha mundial Race to Zero para zerar emissões de carbono**. Agência Minas, 2021. SECGERAL - Secretaria-Geral, Cidade Administrativa Presidente Tancredo Neves. Disponível em: <<https://www.agenciaminas.mg.gov.br>> Acesso em 13 de agosto de 2023.

MURADOV, Nazim Z.; VEZIROGLU, T. **Nejat. Carbon-neutral fuels and energy carriers**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **A Índia desafia as negociações climáticas de Paris**. Disponível em: <<https://goo.gl/jRvpA>>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.

ONU. (2015). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>>. Acesso em: 8 de fev. 2024

RANANGEN, H.; LINDMAN, A. **A path towards sustainability for the Nordic mining industry**. Journal of Cleaner Production, v. 151, p. 43-52, 2017.

RENEWABLE Energy Policy Network for the 21st Century [REN21]. **Renewables 2011- Global Status Report**. REN21, 2011.

RENEWABLE ENERGY IN MINING INDUSTRY MARKET. **Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2020 – 2030**. Transparency Market Research, 2020. Disponível em: <<https://www.acumenresearchandconsulting.com>>

Santos, M., & Filho, W. (2005). **Uma análise da relação entre o desenvolvimento sustentável e a construção do antropossistema**. *Jornal Internacional de Desenvolvimento Ambiental e Sustentável*, 4(1), 78-87. <http://dx.doi.org/10.1504/IJESD.2005.006775>

SANTOS, L. **Autoprodução de energia: redução do custo e maior confiabilidade de suprimento**. 2019. Disponível em: <<https://ecomenergia.com.br/blog/autoproducao-deenergia-reducao-do-custo-e-maior-confiabilidade-de-suprimento/>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

SENADO. In: **Mineração causa impactos no PIB e no meio ambiente**. Agência Senado: Rafael Faria, 2023. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2023/03/mineracao-causa-impactos-no-pib-e-no-meio-ambiente>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SCHOLTEN, D; BOSAMAN, R. (2013), **The Geopolitics of Renewable Energy: a mere shift of lanslide in energy dependencies?** Disponível em: <<http://www.researchgate.net/profile/RickBosman>> Acesso em 13 de agosto de 2023.

SHRIVASTAVA, Bulbul. **USA's policies on fracking**. Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais). University of Witwatersrand, Johannesburg, 2017.

Silva, L. M., Santos, F. R., & Castro, E. M. (2018). **Desenvolvimento e Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica: Um Estudo de Caso**. *Journal of Renewable Energy*, 30(1), 45-60.

Silva, A. B., Santos, C. D., & Oliveira, E. F. (2020). **Energia: Uma Abordagem Interdisciplinar nas Ciências Naturais**. *Revista Brasileira de Educação em Ciências*, 3(1), 45-60.

Souza, F., Silva, M., & Santos, R. (2022). **Impacto dos Aumentos nos Custos de Energia Elétrica na Adoção de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 12(1), 45-60.

STATISTA. **Produção de minério de ferro no Brasil de 2010 a 2022**. Disponível em: <<https://www.statista.com>>. Acesso em: 8 de fev. 2024.

SUZUKI, Eimi Veridiane; REZENDE, Fernanda Dutra. **Estudo da utilização da geração fotovoltaica para auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica no Brasil**. Monografia (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo, óptica**. 6. ed. Porto Alegre: LTC, 2010.

UNFCCC. **The Glasgow Climate Pact – Key Outcomes from COP26**. Disponível em: <<https://unfccc.int/cop26>>. Acesso em: 25 de jan. De 2024.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Adoption of the Paris Agreement**. Paris: UNFCCC, 2015. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>>

VALE. In: **Espaço Memória: Uma história que acontece todos os dias**. [S. 1.], 2021. Disponível em: <<https://vale.com/pt/espaco-memoria>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

VALE. In: **Vale: há 80 anos transformando o futuro**. [S. 1.], 2022. Disponível em: <<https://vale.com/pt/vale-ha-80-anos-transformando-o-futuro>>. Acesso em: 9 nov. 2023

VALE. In: **Compromissos 2030. Estratégia integrada Vale**. Vale, 2022a. Disponível em: <<https://vale.com/pt/esg/nossos-compromissos>>. Acesso em: 9 nov. 2023.

VALE. In: **Relato Integrado**. Biblioteca de documentos, 2023. Disponível em: <https://vale.com/documents/d/guest/vale_relatointegrado2022-br-final>. Acesso em: 10 out. 2023.

VALE. In: **Estratégia e gestão para descarbonização**. Vale, 2023a. Disponível em: <<https://vale.com/pt/esg/estrategia-e-gestao-para-descarbonizacao>>. Acesso em: 18 out. 2023.

VALE. In: **Vale cria sistema de gestão de energia que reduz emissões e custo de operações**. Vale Imprensa, 2019. Disponível em: <<https://vale.com/pt/w/vale-cria-sistema-de-gestao-de-energia-que-reduz-emissoes-e-custo-de-operacoes>>. Acesso em: 20 set. 2023

VALE. In: **Relato Integrado**. Biblioteca de documentos, 2022b. Disponível em: <https://vale.com/documents/44618/2643046/Vale_Relato_Integrado_2021_PT.pdf/e2c1a28d-d7ff-08c1-076c-dab459991720?version=1.2&t=1696882769881&download=false>. Acesso em: 20 set. 2023.

VALE. In: **Vale Energia**. Vale Energia, 2023b. Disponível em: <<https://vale.com/pt/energia>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

VALE. In: **2030 Commitment: Eliminate major gaps in ESG (Environmental, Social and Governance) regarding the best practices**. Brasil: Vale, 2022. Disponível em:

<https://vale.com/documents/d/guest/esg-gap-action-plan_en_04012023>. Acesso em: 18 out. 2023.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial.** Química Nova, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2013.

Villalva, M. G. (2015). Energia Solar Fotovoltaica – **conceitos e aplicações.** Energia solar fotovoltaica.

Zhang, S., Smith, J., & Johnson, R. (2021). **Concentrated Solar Power: Technology and Applications.** Solar Energy, 45(3), 201-215.

APÊNDICE – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Este apêndice integra o Trabalho como um protocolo de coleta de dados. Ele é estruturado em quatro seções distintas, cada uma focada em um aspecto específico do uso e gestão de energias, especialmente renováveis, dentro do contexto empresarial estudado. As perguntas formuladas em cada seção visam direcionar a pesquisa para uma compreensão aprofundada das fontes de energia utilizadas, avaliar as vantagens e desvantagens das energias renováveis, entender a autogeração de energia elétrica pela empresa e analisar utilização de energia. Este apêndice é essencial para orientar a coleta de informações relevantes, sustentando a análise crítica e as conclusões do estudo.

Seção 1: Fontes de Energia	
Pergunta direcionadora 1	Quais são as principais fontes de energia utilizadas pela empresa estudada?
Pergunta direcionadora 2	Como as fontes de energia renováveis e não renováveis estão distribuídas na matriz energética da empresa?
Pergunta direcionadora 3	Existem planos para diversificar ou mudar as fontes de energia atualmente utilizadas? Se sim, quais?
Pergunta direcionadora 4	Quais desafios a empresa enfrenta na implementação de novas fontes de energia?
Seção 2: Vantagens e Desvantagens das Energias Renováveis	
Pergunta direcionadora 1	Quais são as principais vantagens das energias renováveis adotadas pela empresa?
Pergunta direcionadora 2	Existem desvantagens ou limitações associadas ao uso de energias renováveis na empresa?
Pergunta direcionadora 3	Existem impactos ambientais associados às fontes de energia?
Pergunta direcionadora 4	Como as energias renováveis influenciam a sustentabilidade a longo prazo da empresa?

Seção 3: Autogeração de Energia Elétrica

Pergunta direcionadora 1	A empresa possui capacidade de autogeração de energia elétrica? Se sim, através de quais meios?
Pergunta direcionadora 2	Como a autogeração de energia contribui para a sustentabilidade e independência energética da empresa?
Pergunta direcionadora 3	Quais tecnologias são empregadas na autogeração de energia?
Pergunta direcionadora 4	Existem projetos futuros para expandir ou melhorar a autogeração de energia na empresa?

Seção 4: Análise de Utilização de Energia

Pergunta direcionadora 1	A empresa utiliza energia renovável em seus processos?
Pergunta direcionadora 2	Existe uma evolução na utilização das energias renováveis nos processos da empresa?
Pergunta direcionadora 3	Como é realizada a distribuição do consumo energético na cadeia produtiva da empresa?
Pergunta direcionadora 4	A empresa realiza comparações da utilização energética ao longo do tempo?
