



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA  
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção - COEP  
Campus João Monlevade



**ANÁLISE ESTATÍSTICA DO CONSUMO ENERGÉTICO DA MINERAÇÃO E  
PELOTIZAÇÃO: INFLUÊNCIA DE FATORES ECONÔMICOS, SOCIAIS E  
AMBIENTAIS**

Ana Livia Machado Ferreira

João Monlevade – MG

2024

Ana Livia Machado Ferreira

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DO CONSUMO ENERGÉTICO DA MINERAÇÃO E  
PELOTIZAÇÃO: INFLUÊNCIA DE FATORES ECONÔMICOS, SOCIAIS E  
AMBIENTAIS**

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

Orientador: Prof. Rafael Lucas Machado Pinto

João Monlevade – MG

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383a Ferreira, Ana Livia Machado.  
Análise estatística do consumo energético da mineração e pelotização  
[manuscrito]: influência de fatores econômicos, sociais e ambientais. /  
Ana Livia Machado Ferreira. - 2024.  
44 f.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Lucas Machado Pinto.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de  
Produção .

1. Beneficiamento de minério - Energia. 2. Energia - Consumo. 3.  
Estatística. 4. Indústrias - Consumo de energia. 5. Minérios. I. Pinto,  
Rafael Lucas Machado. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5:519.2

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Ana Livia Machado Ferreira**

### **Análise Estatística do Consumo Energético da Mineração e Pelotização: Influência de Fatores Econômicos, Sociais e Ambientais.**

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

Aprovada em 25 de setembro de 2024.

#### Membros da banca

Dr. Rafael Lucas Machado Pinto - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Felipe Bacani - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Sérgio Evangelista Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Rafael Lucas Machado Pinto, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Lucas Machado Pinto, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/10/2024, às 16:15, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0788050** e o código CRC **9DB86F97**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por permitir finalizar mais uma etapa da minha vida, com força e perseverança. Aos meus pais, Marta e Ivan e aos meus amigos e familiares por todo apoio e incentivo durante essa jornada. E ao meu professor orientador Rafael, por sua orientação, direcionamento e conhecimento compartilhado que foram essenciais para a execução desse trabalho. Obrigada a todos!

## RESUMO

A mineração e pelotização é um setor que tem grande importância na economia brasileira fornecendo matéria prima e recursos para outras indústrias produzirem. Porém, durante todo o processo de extração, beneficiamento ou concentração de minério e refino de concentrado, uma grande quantidade de energia é consumida, principalmente, combustíveis fósseis e eletricidade. Diante dessas informações, este estudo propôs realizar uma análise estatística do consumo de energia pela mineração e pelotização entre os anos de 1990 a 2022 e verificar a influência de variáveis ambientais, sociais e econômicas nesse consumo. Para alcançar tal objetivo, utilizou-se da construção de gráficos, análise de correlação e regressão linear múltipla para identificar a força da relação das variáveis e possíveis tendências de consumo influenciada pelas variáveis analisadas. Portanto, este trabalho contribuiu para analisar como é o consumo de energia pela mineração e pelotização e como esse aspecto está relacionado com mudanças e indicadores ambientais, sociais e econômicos.

**Palavras-chave:** Mineração e pelotização, consumo de energia, influência de variáveis.

## **ABSTRACT**

Mining and pelletizing are a sector of great importance to the Brazilian economy, providing raw materials and resources for other industries to produce. However, throughout the entire process of extraction, beneficiation or concentration of ore and refining of concentrate, a large amount of energy is consumed, mainly fossil fuels and electricity. Given this information, this study proposed to carry out a statistical analysis of energy consumption by mining and pelletizing between the years 1990 and 2022 and to verify the influence of environmental, social and economic variables on this consumption. To achieve this objective, the construction of graphs, correlation analysis and multiple linear regression were used to identify the strength of the relationship between the variables and possible consumption trends influenced by the analyzed variables. Therefore, this work contributed to analyzing how energy is consumed by mining and pelletizing and how this aspect is related to changes and environmental, social and economic indicators.

**Keywords:** Mining and pelletizing, energy consumption, influence of variables.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz energética no Brasil em 1970 .....	1
Figura 2: Matriz energética no Brasil em 2022 .....	2
Figura 3: Classificação da pesquisa científica .....	5
Figura 4: Diagramas de dispersão .....	11
Figura 5: Matriz elétrica brasileira .....	15
Figura 6: Fluxograma do processo produtivo de uma mineradora .....	16
Figura 7: Principais impactos da mineração .....	18
Figura 8: Processos da mineração e as fontes de energia utilizadas .....	19
Figura 9: Principais fatores de tendências para mineração .....	22
Figura 10: Iniciativas para redução de emissão de gases .....	23
Figura 11: Gráfico de 1990 e 2022 do consumo de energia pela mineração e pelletização em % .....	24
Figura 12: Modelo de regressão PIB-Geral .....	31
Figura 13: Gráfico de resíduo .....	31
Figura 14: Modelo de regressão PIB-Geral entre variáveis estatisticamente significativas.....	32
Figura 15: Modelo de regressão população residente .....	33
Figura 16: Modelo de regressão IDH .....	34
Figura 17: Modelo de regressão CO <sub>2</sub> .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das variáveis .....	7
Tabela 2: Classificação de correlação .....	10
Tabela 3: Correlação das variáveis com p-valores .....	27
Tabela 4: Classificação da correlação das variáveis .....	28
Tabela 5: Sumário do modelo do Minitab .....	35

## **LISTA DE SIGLAS**

ANM: Agência Nacional de Mineração

ANNEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BEN: Balanço Energético Nacional

CNI: Confederação Nacional das Indústrias

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

GEE: Gases de Efeito Estufa

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

IBRAM: Instituto Brasileiro de Mineração

IDH: Índice de Desenvolvimento Humano

MME: Ministério de Minas e Energia

PIB: Produto Interno Bruto

PMB: Produção Mineral Brasileira

PMBC: Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono

PNM: Plano Nacional de Mineração

SEEG: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

UNDP: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

## SUMÁRIO

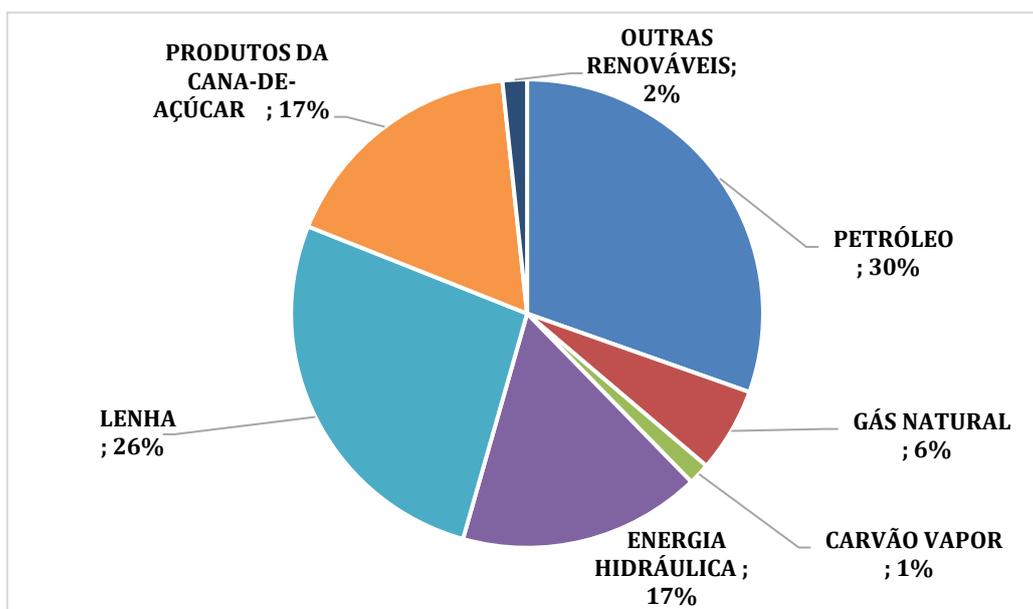
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Contextualização do problema de pesquisa</b> .....	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivos gerais</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>3. METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1 Classificação da metodologia de pesquisa</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2 Coleta de dados</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3 Ferramentas e técnicas para análise dos dados</b> .....	<b>8</b>
<b>3.3.1 Estatística descritiva</b> .....	<b>9</b>
<b>3.3.2 Análise de correlação entre variáveis</b> .....	<b>9</b>
<b>3.3.3 Análise de regressão entre variáveis</b> .....	<b>11</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1 Energia, matriz energética e elétrica</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2 Transição energética</b> .....	<b>14</b>
<b>4.3 Mineração</b> .....	<b>15</b>
<b>4.4 Impactos ambientais gerados pela mineração</b> .....	<b>16</b>
<b>4.5 Relação das etapas de produção do minério com a energia utilizada</b> .....	<b>18</b>
<b>4.6 Desafios energéticos no setor da mineração</b> .....	<b>20</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
<b>5.1 Consumo de energia entre 1990 e 2022</b> .....	<b>23</b>
<b>5.2 Análise de correlação entre as variáveis</b> .....	<b>26</b>
<b>5.3 Análise de regressão entre variáveis</b> .....	<b>30</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No século XX o Brasil passou por um período de crescimento econômico, industrialização e expansão demográfica. Tal crescimento alinhado com aumento da população fez com que a demanda de fontes energéticas crescesse, principalmente, as fontes de energia primárias. As diversas fábricas e indústrias instaladas no Brasil nesse período utilizavam grandes quantidades de energia para seus processos produtivos, o que elevou significativamente o consumo energético total do país.

De acordo com EPE (2023), as principais fontes de energia em 1990 no Brasil, eram o petróleo e lenha, o que mostra a Figura 1. Sendo essas fontes primárias, que são provenientes de recursos naturais e que ainda não foram transformadas.

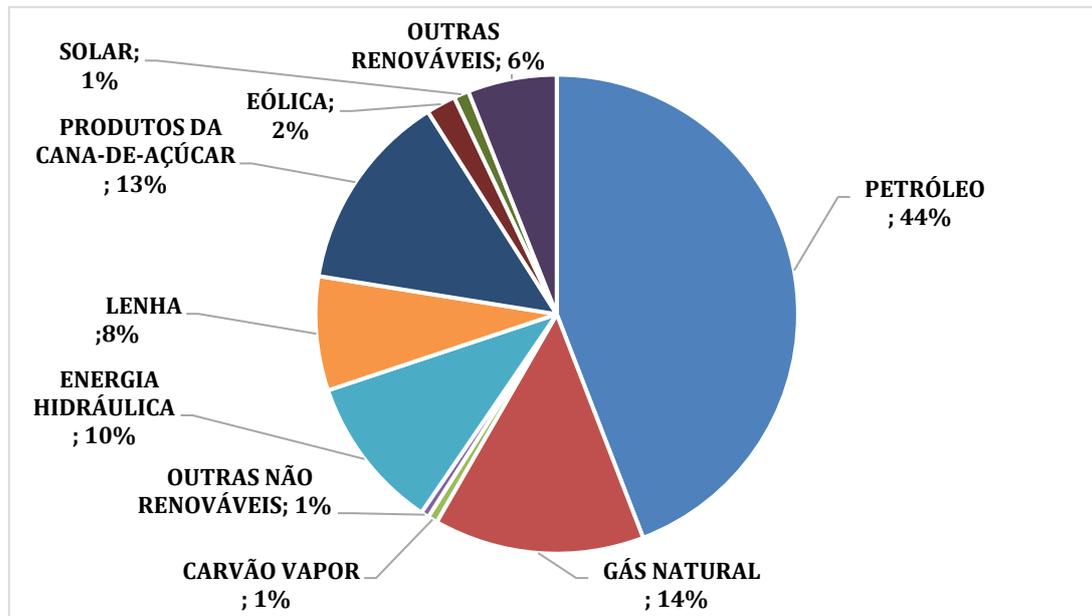
Figura 1: Matriz energética no Brasil em 1990.



Fonte: EPE (2023).

Porém, com o surgimento de fontes de energia mais eficientes, a lenha, por exemplo, foi substituída por outras fontes de energia mais sustentáveis e renováveis, como a solar, eólica. Tal mudança pode ser percebida pela Figura 2, que mostra as fontes de energia no Brasil no ano de 2022.

Figura 2: Matriz energética no Brasil em 2022.



Fonte: EPE (2023).

Considerando a matriz energética do Brasil, os principais setores que consomem energia são as indústrias, transportes, eletricidade, residencial, comercial, público e agropecuário. De acordo com Balanço Nacional de Energia (EPE, 2023), o setor industrial junto ao de transporte foram responsáveis por 65% do consumo de energia em comparação aos outros setores.

Dentro do setor industrial, se destaca a indústria de mineração e pelletização. O setor da mineração e pelletização possui um papel de grande importância no mercado econômico mundial, fornecendo matérias primas e insumos para as demais indústrias. No Brasil, a mineração surgiu no século XVII, mas foi em 1984, que o setor decolou no país, após investimentos estrangeiros que ajudaram na exploração e desenvolvimento dos minerais. (ARAÚJO *et al.*, 2016). Dessa forma, o Brasil se tornou um dos maiores produtores de minério do mundo, com vastas reservas de ferro, bauxita, manganês, nióbio e ouro, distribuídas por várias regiões.

O processo de extração de minerais, embora possa ser diferente dependendo do material a ser extraído, é composto pelas seguintes etapas básicas: extração de minério; beneficiamento ou concentração de minério e refino de concentrado. Essas etapas consomem quantidades consideráveis de energia, principalmente, de combustíveis fósseis e eletricidade. (Aramendia *et al.*, 2023). Atualmente, conforme a Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída em 2009 pela Lei nº 12.187, o setor da mineração é visto

como prioritário por envolver questões de sustentabilidade social e ambiental e por ter elevadas emissões de gases de efeito estufa advindos do consumo de energia e de combustíveis utilizados durante a extração, beneficiamento e transporte de minério. (Carvalho *et al.*, 2016).

Dessa forma, devido ao grande consumo de energia e emissões que são lançadas na atmosfera espera-se que este estudo contribua para a compreensão do consumo de energia do setor da mineração e pelotização utilizando-se de dados do Balanço Energético Nacional - BEN de 2023 (EPE, 2023), entre os anos de 1990 a 2022. Por meio de análises estatísticas, será possível relacionar a influência de acontecimentos históricos, sociais, econômicos e ambientais no consumo de energia pelo setor. Ao final deste estudo, espera-se responder a seguinte pergunta: Como que fatores sociais, econômicos e ambientais influenciam o consumo energético da mineração e pelotização?.

## **1.2 Justificativa**

Conforme Carvalho *et al.* (2016) afirma que a mineração é vista como prioritária por envolver questões de sustentabilidade social e ambiental e por ter elevadas emissões de gases de efeito estufa advindos do consumo de energia e de combustíveis utilizados em seus processos produtivos. Dessa forma, se faz necessário entender o consumo de energia desse setor ao decorrer dos anos. Como também, entender se a preocupação com a sustentabilidade e a sociedade fez com que fosse adotado o uso de energia limpa e renovável em suas operações.

## **1.3 Contextualização do problema de pesquisa**

A mineração e pelotização são importantes setores da economia mundial. Suas atividades garantem matéria-prima para diversos produtos na humanidade. Segundo a ANM (2023), em 2022, o Brasil produziu cerca de 1,05 bilhões de toneladas de minérios. Para a produção do minério são necessárias diversas etapas de produção, sendo essas etapas consumidoras de algum tipo de energia, seja energia elétrica, combustível fóssil, gás natural, dentre outros. Sendo assim, para uma grande produção de minério, muita energia é consumida.

Porém, pouco se sabe sobre quais são as principais fontes de energias utilizadas e como esse consumo foi se modificando ao decorrer dos anos. A partir dos dados dispostos no Balanço Nacional de Energia (EPE, 2023), que mostram o consumo de energia de

1990 a 2022 e as fontes de energia utilizadas, é possível perceber as variações de fontes energéticas e o surgimento de outras fontes, sejam elas mais eficientes e sustentáveis.

Sendo assim, utilizando técnicas de análise estatística dos dados, comparando com variáveis econômicas, sociais e sustentabilidade, novas conclusões serão formadas e será exposto a variação do consumo de energia no setor de mineração e pelotização.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

O objetivo geral deste trabalho é realizar a análise estatística dos dados do consumo de energia no Brasil no setor da mineração e pelotização entre 1990 e 2022. Como também, verificar as relações entre as variáveis econômicas, sociais e de sustentabilidade relacionadas ao segmento estudado.

### **2.2 Objetivos específicos**

Ao alcançar o objetivo geral espera-se que demais objetivos sejam atingidos, como:

- Apresentar e comparar as fontes de energia utilizadas pelo setor de mineração e pelotização nos anos de 1990 e 2022;
- Identificar variáveis de 3 categorias relacionadas com o setor de mineração e pelotização, sendo elas relacionadas com a sustentabilidade, economia e sociedade;
- Realizar análise de correlação entre as variáveis identificadas;
- Obter modelos de regressão lineares múltiplos que relacionem as variáveis analisadas e representem aspectos econômicos, sociais e de sustentabilidade do segmento estudado.

## **3. METODOLOGIA DE PESQUISA**

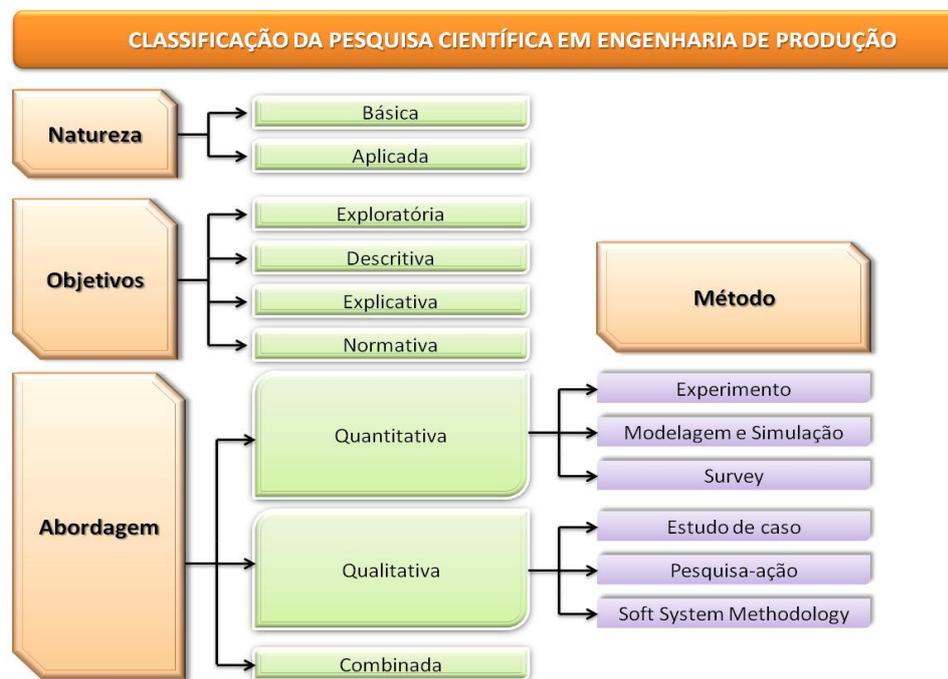
### **3.1 Classificação da metodologia de pesquisa**

A pesquisa pode ser definida como uma atividade que tem como objetivo descobrir respostas para as indagações ou questões que podem ser propostas. O ponto inicial de uma pesquisa é definir o problema do qual se busca uma resposta. Para alcançar tais respostas é necessário um método científico, ou seja, uma metodologia de pesquisa.

O método científico é centrado na observação organizada de fatos, na realização de experiências, nas deduções lógicas e na comprovação científica dos resultados. (Da Silva, 2015).

Conforme afirma Mello *et al.* (2011), classificar a metodologia de pesquisa é um passo importante para a formulação de um projeto de pesquisa e na definição dos instrumentos e procedimentos que o pesquisador irá precisar durante a formulação do trabalho. Dessa forma, ele propõe utilizando a Figura 3 abaixo, uma forma simplificada de como classificar a metodologia quanto a natureza, objetivos, abordagem e o método.

Figura 3: Classificação da pesquisa científica.



Fonte: Mello *et al.* (2007).

Considerando a pesquisa realizada neste trabalho, em relação a natureza, a pesquisa pode ser classificada como aplicada, devido ao foco de resolver problemas a partir da aplicação e estudo dos resultados. (ZANELLA *et al.*, 2006).

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória devido ao objetivo ser entender mais sobre um determinado fenômeno ou problema, utilizando de pesquisas bibliográficas e análises de casos. E também é explicativa devido a pesquisa se preocupar em explicar a razão de acontecimentos e fenômenos utilizando de métodos experimentais e observacionais.

Já quanto a forma de se abordar a pesquisa, tem-se a quantitativa, qualitativa e combinada. Pela pesquisa utilizar a pesquisa bibliográfica e a estatística na coleta e tratamento dos dados e para o estabelecimento de relações entre variáveis, ela será classificada como combinada, por envolver aspectos qualitativos e quantitativos. (ZANELLA *et al.*, 2006).

Por fim, quanto ao método a pesquisa considerando a definição colocada por Mello *et al.* (2006), o método é o estudo de caso que tem como objetivo realizar uma análise minuciosa e abrangente de um ou de poucos objetos, possibilitando a obtenção de um conhecimento amplo e detalhado.

### **3.2 Coleta de dados**

Para atingir o objetivo deste trabalho foi necessário elaborar um banco de dados, com todas as variáveis e valores que serão analisados. Tais dados se enquadram em três categorias: econômica, sociais e sustentabilidade. Sendo as econômicas o consumo de energia pelo Brasil e pelo setor de mineração e pelletização; produção mineral brasileira (PMB); produto interno bruto (PIB) geral e do extrativismo mineral brasileiro. As sociais os valores sobre a população brasileira residente e o índice de desenvolvimento humano (IDH). Por fim, as variáveis de sustentabilidade analisadas são a emissão de CO<sub>2</sub> e a área utilizada pela mineração no Brasil. A Tabela 1, mostra a descrição de cada variável, com a fonte e unidade utilizada para as análises.

Tabela 1: Descrição das variáveis.

Variável	Unidade	Descrição	Fonte
<b>PIB - Geral</b>	10 <sup>9</sup> US\$ppc (2010)	A unidade utilizada para calcular o PIB foi a Paridade de Poder de Compra (PPC). O PPC é um termo que utiliza como indicador o índice de poder compra comparando as diferenças entre preços de bens e serviços entre os países. Os valores encontrados também estão convertidos em dólar (US\$).	EPE (2023)
<b>PIB- Extrativismo Mineral</b>	10 <sup>6</sup> US\$ppc (2010)		
<b>População Residente</b>	10 <sup>6</sup> hab	Indica a quantidade de habitantes residentes.	EPE (2023)
<b>IDH</b>	0 a 1	O IDH não possui unidade de medida, porém seus dados variam de 0 a 1. Sendo 0 nenhum desenvolvimento humano até 1 que indica um desenvolvimento humano total. Valores acima de 0.8 indicam IDH alto e valores até 0.499 indicam um baixo IDH.	COUNTRYECONOMY (2022) E AGENCIABRASIL (2024)
<b>CO<sub>2</sub> - Produtos minerais</b>	Tonelada	Emissão total de CO <sub>2</sub> em toneladas.	SEEG (2024)
<b>CO<sub>2</sub> total</b>	Tonelada		
<b>Energia secundária total consumida</b>	10 <sup>3</sup> tep	Valor total de energia secundária consumida pela mineração. Os valores estão tep, sendo uma unidade de medida que indica tonelada equivalente de petróleo. O tep converte diferentes unidades de medidas utilizadas para os cálculos de energia com base no poder calorífico superior de cada valor de energia em relação ao do petróleo, de 10800 kcal/kg.	EPE (2023)
<b>Produção mineral brasileira (PMB)</b>	Bilhões de dólares (US\$ bilhões)	Produção mineral brasileira em bilhões de dólares.	MME (2022) E IBRAM (2023)
<b>Área utilizada pela mineração</b>	Mil hectares	Representa o valor em hectares de área utilizada pela mineração no Brasil.	MAPBIOMAS (2024)

Fonte: Autor(2024)

Para os dados de consumo de energia, utilizou-se o conjunto de dados encontrados no Banco Energético Nacional (EPE, 2023). O BEN é desenvolvido pela EPE, Empresa de Pesquisa Energética, que divulga o relatório anual que mostra uma grande pesquisa e o quantitativo em relação à oferta e consumo de energia no Brasil. Para fins de pesquisa, foi escolhido o BEN 2023, que contempla os dados de 1990 a 2022 sobre a matriz energética brasileira. No BEN também foram encontrados os dados do PIB geral e setorial

da mineração e da população residente no Brasil, apresentando a evolução desses dados ao longo dos anos.

Em semelhança, como forma de relacionar a produção mineral e o consumo de energia, os dados de produção de mineral se tornaram relevantes para este estudo. Dessa forma, o índice utilizado foi o PMB, que é a Produção Mineral Brasileira, em bilhões de dólares. Esses dados estão compreendidos nos relatórios fornecidos pela IBRAM e pelo MME.

Os dados ambientais de emissão de CO<sub>2</sub> e área utilizada pela mineração, estão compilados em uma plataforma chamada SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa) que fornece informações sobre a emissão de gases de efeito estufa no Brasil para diferentes setores da economia. Um desdobramento da SEEG é a plataforma MapBiomas que realiza o mapeamento anual da cobertura e uso da terra no Brasil, como também a monitoração da água e fogo no país. (SEEG, 2024)

Por fim, o IDH, que é o Índice de Desenvolvimento Humano, foi encontrado no site Countryeconomy que engloba dados, informações sociais e econômicas dos países e que continha os dados de IDH do Brasil de 1990 até 2021. Para os dados mais recentes, de 2022, utilizou-se a Agência Brasil, que é uma agência de notícias brasileira e pertence a EBC, Empresa Brasileira de Comunicação.

Para a coleta de dados mais profundos que relacionam a mineração e o consumo de energia, partiu-se da utilização de bibliotecas digitais como Google Acadêmico, Scielo e Science Direct, com a busca de palavras chaves como: energia, mineração e consumo. Por meio desses sites, foram encontrados artigos e estudos que evidenciam a mineração e pelletização e a utilização da energia dentro desse setor.

### **3.3 Ferramentas e técnicas para análise dos dados**

Como o objetivo é analisar os dados do consumo de energia no Brasil no setor da mineração entre 1990 e 2022. A melhor maneira de alcançar tal objetivo é utilizando técnicas estatísticas. Costa (2011) afirma que a estatística possui diversos métodos para explorar, entender, explicar e interpretar dados numéricos. Sendo que para um estudo estatístico obter resultados confiáveis é necessário seguir determinados passos, como: identificar o problema, planejamento do estudo, busca dos dados, descrever e sintetizar os dados, realizar a análise e interpretação.

Utilizando-se de técnicas estatísticas será possível aplicar a estatística descritiva com o desenvolvimento de tabelas e gráficos. Além disso, métodos mais avançados de análise podem ser empregados como análise de correlação e modelos de regressão. Tais métodos tem como objetivo mostrar a relação e a força de associação entre as variáveis.

A ferramenta que auxiliou na análise dos dados, foi o Minitab, um software estatístico que oferece uma variedade de ferramentas para análise de dados, desde as mais básicas até as mais complexas, como estatística descritiva, testes de hipóteses, regressão, análise de variância (ANOVA), controle de qualidade, dentre outras.

### **3.3.1 Estatística descritiva**

A estatística descritiva tem como objetivo resumir e descrever um conjunto de dados de mesma natureza. Ela pode ser usada para sumarizar, comparar, visualizar e identificar padrões e desvios dos dados. A sumarização dos dados pode ocorrer de três maneiras diferentes: tabelas, gráficos e medidas descritivas. (COSTA, 2011)

As tabelas são quadros que sintetizam um conjunto de observações. Por meio das tabelas é possível organizar uma coleção de dados numéricos utilizando uma determinada ordem de classificação. (GUEDES *et al.*, 2005)

Segundo Guedes *et. al* (2005), os gráficos são meios de visualização de dados de forma rápida e intuitiva. É possível através de gráficos perceber padrões gerais, comportamentos e particularidades do conjunto de dados que está sendo analisado, além de garantir maior facilidade de interpretação dos dados em questão.

No presente trabalho, para a análise dos dados será utilizado a estatística descritiva por meio de tabelas e gráficos, no qual será possível ver tendências e comportamentos do conjunto de dados.

### **3.3.2 Análise de correlação entre variáveis**

A correlação entre variáveis é um método estatístico de grande importância para calcular a relação entre duas ou mais variáveis. Um dos métodos mais conhecidos de cálculo de correlação é o coeficiente de correlação de Pearson e que será utilizado neste presente trabalho. A correlação de Pearson baseia-se na medição linear dos dados e utiliza-se do coeficiente de correlação, representado pelo símbolo  $r$ . O coeficiente de

correlação de Pearson é calculado dividindo a covariância das duas variáveis pelo produto de seus desvios padrão. Sua fórmula matemática é: (MORETTIN, 2023)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

em que  $n$  é o número total de observações da amostra,  $x_i$  e  $y_i$  são os valores individuais das duas variáveis e  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias amostrais de  $x$  e  $y$ , respectivamente.

Esse coeficiente é um índice que mostra o grau de associação entre as variáveis. O coeficiente varia de +1 a -1, sendo +1 uma correlação positiva direta perfeita e -1 quando há uma correlação negativa inversa perfeita. Ou seja, valores próximos a 1 positivo, indicam correlação forte positiva direta, e valores próximos a -1 indicam correlação forte negativa inversa. Quando o coeficiente é igual a 0, indica que as variáveis não possuem um relacionamento linear. (FEIJOO, 2010). Na Tabela 2 mostra a classificação de correlação conforme o valor de  $r$ .

Tabela 2: Classificação de correlação.

<b>Coefficiente de Correlação</b>	<b>Classificação</b>
$0 <  r  \leq 0,1$	Nula
$0,1 <  r  \leq 0,3$	Fraca
$0,3 <  r  \leq 0,6$	Moderada
$0,6 <  r  \leq 0,9$	Forte
$0,9 <  r  < 1$	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Morettin (2023)

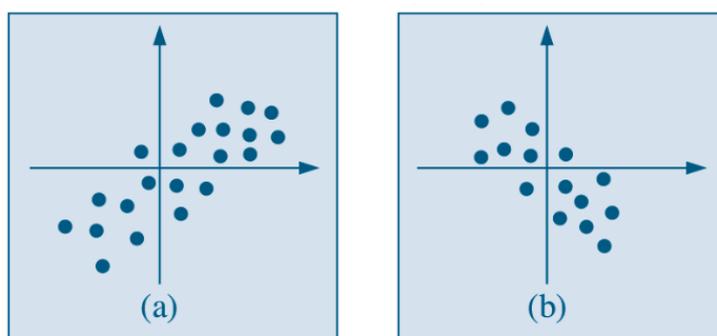
Para testar se o coeficiente de correlação amostral  $r$  fornece evidência suficiente para concluir que o coeficiente de correlação da população  $\rho$  é zero, considerando um grau de significância estatística *alfa* que permite a confiabilidade do resultado, é utilizado o teste de hipóteses.

Há duas hipóteses: Hipótese Nula ( $H_0$ ):  $\rho=0$  que significa que não há correlação linear entre as variáveis na população e Hipótese Alternativa ( $H_1$ ):  $\rho \neq 0$  que indica que há uma correlação linear significativa entre as variáveis na população.

Um dos meios de representação gráfica da correlação de variáveis é utilizando o diagrama de dispersão. O diagrama de dispersão emprega o uso de pontos em um plano

de duas coordenadas cartesianas representando seus dados. É um dos métodos mais visuais para analisar as tendências, agrupamentos e mudanças na dispersão dos pontos. No gráfico de dispersão, quanto mais próximos os pontos estiverem ao longo da reta, maior é o grau de relação entre as variáveis e quanto mais dispersos os pontos estiverem da reta menor é o grau de relação entre as variáveis. E essa relação poderá ser positiva quando a reta demonstrar um declive positivo ou negativa quando a reta apresentar um declive negativo. (MARTINS, 2014). Na Figura 4 mostra o exemplo de dois diagramas de dispersão, sendo o diagrama (a), apresentando dispersão positiva e no (b) uma dispersão negativa.

Figura 4: Diagramas de dispersão.



Fonte: Morettin (2023)

### 3.3.3 Análise de regressão entre variáveis

A regressão é um método estatístico utilizado para explicar a relação entre variáveis, sendo que uma variável dependente terá seu comportamento influenciado por uma variável explanatória ou independente. Obtendo como resultado uma equação, que permite estabelecer previsões à medida que for alterando as variáveis independentes, como também, pode-se definir uma linha ou curva que representa a tendência dos dados. (CHEIN, 2019).

Em casos em que a regressão linear permite modelar a relação entre uma variável dependente e duas ou mais variáveis independentes a regressão é chamada de regressão linear múltipla.

Segundo Rodrigues (2012), a equação que define a regressão linear múltipla é:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

em que  $Y$  é a variável dependente,  $\beta$  o coeficiente de regressão,  $X_i$  variáveis independentes.

Por meio dessa equação, é possível definir a direção, o tamanho e a significância estatística da relação entre a variável dependente e independente. Analisando o sinal do coeficiente a direção da associação das variáveis pode ser identificada. Em casos de coeficiente positivo, as variáveis estão diretamente relacionadas, já quando o coeficiente é negativo, o inverso ocorre. Já os coeficientes da regressão indicam a mudança média que se é esperada na variável dependente para cada unidade que for aumentada o valor de uma variável independente, enquanto as outras permanecem constantes. (MINITAB, 2024).

Para realizar a modelagem e analisar o modelo de regressão será utilizado o MINITAB. Além de exibir a equação de regressão, o Minitab exibe também os coeficientes de regressão, valor-p,  $R^2$  e análise de variância, que permitem identificar a significância estatística do modelo de regressão.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Energia, matriz energética e elétrica**

Atualmente a energia é utilizada para garantir a sobrevivência e o bem estar dos seres humanos na sociedade. A energia é essencial para o desenvolvimento econômico e social do mundo. A partir dela, materiais podem ser transformados e bens podem ser produzidos para atender as necessidades e conforto dos seres humanos.

De acordo com o EPE (2022), a energia pode surgir de diversas formas, surgindo de diversas fontes. A energia mecânica cinética pode ser transformada em energia elétrica por meio de fontes eólicas e ondas do oceano. Já a mecânica gravitacional pode gerar energia através de barragens de usinas hidrelétricas e marés. A eletromagnética por meio da eletricidade e insolação. A química por meio de pilhas, biomassa, combustíveis fósseis e a nuclear através da fissão de átomos de urânio ou fusão de núcleos de hidrogênio. Mas todas essas energias variam na sua forma de disponibilidade e no grau de utilização, sendo uma mais disponível e utilizada do que outras.

Porém, todas essas fontes de energia compõem o que é chamado de matriz energética, sendo definido como conjunto de fontes de energia primária e secundária que são utilizadas para gerar eletricidade, calor e movimento. Já a matriz elétrica, também

conhecida como matriz energética elétrica, refere-se à composição das fontes de energia utilizadas que são empregadas na produção de energia elétrica. Ou seja, a matriz elétrica é parte da matriz energética.

As fontes primárias de energia advêm diretamente da natureza, ou seja, não sendo necessário nenhum processo de transformação ou conversão. São exemplos de fontes primárias, o carvão, petróleo, gás natural, urânio, água, vento e lenha. A energia primária, além de poder ser utilizada diretamente, é possível utilizá-la como matéria-prima para produzir outras fontes de energia. Ao contrário das fontes primárias, as secundárias dependem de um processo de transformação para obter energia, utilizando-se de fontes primárias como matéria prima. São resultados dessa transformação, o óleo diesel, óleo combustível, energia elétrica, gasolina, biodiesel, álcool, dentre outros. (EPE, 2023).

No entanto, as fontes de energia também podem ser classificadas entre energias renováveis e não renováveis, de acordo com De Lima (2017). As fontes não renováveis são aquelas em que as fontes encontradas na natureza são finitas, ou seja, são fontes esgotáveis, podendo com o tempo chegar ao fim. As fontes não renováveis são também conhecidas como fontes convencionais de energia, por formarem a base do fornecimento de energia. Hoje, boa parte da energia consumida advém de fontes não renováveis e isso ocorre devido ao alto rendimento energético, custo benefício e por possuírem infraestrutura para a produção e distribuição. (EPE, 2022)

São exemplos de fontes esgotáveis de energia: fontes de petróleo, carvão, gás natural e urânio. Essas fontes geram os combustíveis fósseis, amplamente utilizados nas indústrias e no transporte. No Brasil, de acordo com o EPE (2022), as fontes de energia não renováveis seguem ainda sendo as mais consumidas, principalmente o petróleo.

O consumo de energia não renovável e dos combustíveis fósseis a partir da sua queima tem alterado a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, o que prejudica o meio ambiente e a sociedade em sua volta, além de promover o aumento da temperatura média global, gerando o aquecimento global. (DE LIMA, 2017).

Sendo assim, as fontes de energia renováveis, é vista como forma de garantir energia de forma inesgotável. Diferentes do que ocorre com as fontes não renováveis, as fontes renováveis de energia são geradas e repostas pela natureza ao longo do tempo, sendo inesgotáveis. Energias advindas da água, vento, biomassa, sol, geotermal, são exemplos de fontes renováveis de energia. Uma das principais vantagens das fontes

renováveis está relacionada à sustentabilidade. A exploração e consumo de fontes renováveis emitem menos gases poluentes na atmosfera. (DE LIMA, 2017).

Mas é importante ressaltar que, mesmo sendo melhor para a sustentabilidade do mundo, a fonte renovável de energia deve ser utilizada de forma consistente e eficiente. Impactos ambientais significativos podem ser gerados durante a construção de barragens hidrelétricas, na produção de biomassa e instalação dos aerogeradores da energia eólica. Sendo eles, desmatamentos, perda da qualidade da água, mudanças no fluxo dos rios, perda de biodiversidade, contaminação da água e do solo, poluição do ar, dentre outros impactos, que podem ser percebidos quando não explorados da forma correta. (ELIAS, 2010).

#### **4.2 Transição energética**

Com as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global e com a preocupação cada vez maior com processos que emitem poucos gases poluentes, fizeram com que nos últimos anos a matriz energética passasse por uma transformação no sentido de reduzir as emissões desses gases. Conforme afirma Goés (2021), atualmente a matriz energética mundial possui uma grande parcela de energia consumida advinda de fontes emissoras de gases poluentes.

Porém, é notório que a participação de fontes renováveis de energia vem aumentando com o decorrer do tempo. Esse avanço é decorrente de políticas governamentais e públicas para minimização da emissão de gases poluentes, estabelecendo metas e objetivos. Um exemplo de política pública é o Acordo de Paris, que tem como objetivo estabelecer uma resposta global frente às mudanças climáticas e fomentar como os países têm a capacidade de combater e mitigar as consequências dessas mudanças. (PERPÉTUO, 2017). Um dos principais compromissos está envolto na redução da emissão de gases poluentes por meio da transição energética, aumentando a participação de fontes renováveis de energia em sua matriz energética.

Segundo o Relatório de Transição Energética realizado pela empresa DNV, projeções futuras, indicam que em 2050, devido principalmente pela necessidade de maior eficiência e consumo de energia elétrica na manufatura e também pelo aumento dos padrões de vida e da população, a demanda de energia aumentará. Além disso, o estudo mostra que para que os objetivos e compromissos do Acordo de Paris sejam atingidos até 2030, será necessário 8 vezes mais energia eólica e solar. (BANÚS, 2019)

Atualmente, a matriz elétrica brasileira de acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é composta por fontes renováveis sendo as maiores a hídrica (55%), eólica (14,8%) e biomassa (8,4%) e por fontes não renováveis, sendo as maiores a de gás natural (9%), petróleo (4%) e carvão Mineral (1,75%), conforme Figura 5 abaixo.

Figura 5: Matriz elétrica brasileira.



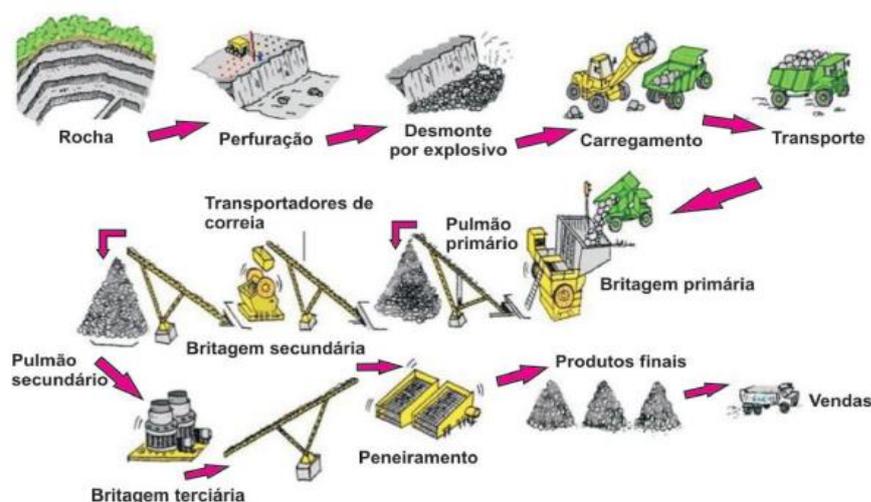
Fonte: ANEEL (2024)

Tais dados mostram que o Brasil, tem se preocupado com a sua transição energética, aumentando a participação de fontes renováveis, principalmente para geração de energia elétrica que é um grande responsável pela emissão de gases poluentes no planeta. Porém, vale ressaltar que a energia elétrica vinda de usinas hidrelétricas, que hoje representa a maior fonte renovável do país, para ser instalada necessita de realizar o alagamento de áreas, alterar o regime hídrico. O que gera, o deslocamento das pessoas que vivem nas áreas alagadas, alterações nos ecossistemas e perda de habitat para diversas espécies e impacto na fauna aquática. (TERRIN; BLANCHET, 2019)

### 4.3 Mineração

A mineração é uma atividade essencial e de grande importância por ser fonte de matéria prima para as indústrias e do seu papel no cenário econômico mundial. Conforme afirma (2013), a mineração tem como objetivo encontrar recursos minerais que estão no subsolo realizando sua extração, transporte, beneficiamento ou processamento e sua comercialização. O fluxograma encontrado na Figura 6, abaixo, mostra um exemplo das etapas que fazem parte do processo da atividade mineira.

Figura 6: Fluxograma do processo produtivo de uma mineradora.



Fonte: Vieira (2011).

Considerando a Figura 6 como exemplo, Chaves (2013) e Neto (2006) classificam as principais etapas que fazem parte desse processo de produtivo de uma mineração, sendo elas:

- Exploração/Prospecção: é a primeira etapa do processo que é responsável por localizar o minério no subsolo, fazendo o mapeamento e avaliação das concentrações de material. A exploração é uma etapa bastante complexa e necessita de conhecimentos específicos sobre as características geológicas do local e processos de formação dos depósitos minerais.
- Perfuração/Escavação: envolve as atividades relacionadas à perfuração das rochas e escavação do subsolo para alcançar o minério.
- Elevação/Transporte: depois que encontrado o minério, é realizado o transporte do material até a unidade de beneficiamento.
- Processamento/Beneficiamento: etapa responsável por tratar o minério, retirando suas impurezas, tornando o minério um material comercializado com alto teor.
- Fundição/Refino: para fins comerciais o minério pode passar por processo de transformação de forma a obter um produto com maior valor agregado e próprio para ser usado pelas indústrias metalúrgicas.

#### 4.4 Impactos ambientais gerados pela mineração

O CONAMA que é Conselho Nacional do Meio Ambiente, em sua Resolução nº 001/86, define impacto ambiental como:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

Dessa forma, um impacto ambiental é qualquer mudança no ambiente, seja ela positiva ou negativa, causada por ações humanas de forma direta e indireta. É notório a importância da mineração para a sociedade, porém sua atividade gera impactos ambientais significativos no meio ambiente e sociedade.

Dentro dos impactos ambientais causados pela mineração destacam-se: degradação do solo, poluição da água e do ar, alteração da paisagem, geração de resíduos, perda da biodiversidade. (MILANEZ, 2017)

A degradação do solo é causada devido a retirada da cobertura vegetal e de solo fértil, que expõe o solo erosões. Além dessa exposição, o solo pode ser contaminado por substâncias químicas utilizadas no processo de mineração que prejudicam a fertilidade e a vida microbiana do solo.

A poluição da água é gerada pela mineração por meio do descarte incorreto de recursos minerais e substâncias químicas em rios, lagos e aquíferos, ou até mesmo decorrentes a desastres ambientais, como os rompimentos de barragens em que lama de rejeitos contamina e afeta a qualidade dos recursos hídricos. Como também vale ressaltar, o alto consumo de água nos processos produtivos da mineração, podendo levar à escassez desse recurso para outras atividades essenciais do ser humano. Já a poluição do ar, é decorrente das emissões de poeira e gases poluentes advindos dos processos que atividade mineira envolve, como por exemplo, as emissões de gases poluentes dos caminhões e equipamentos que utilizam combustíveis fósseis. (SANTOS, 2017)

Conforme afirma Gusmão *et al.* (2021), a abertura de minas a céu aberto ou até mesmo de minas subterrâneas e a construção de infraestrutura para as usinas podem causar mudanças drásticas na paisagem, que afetam a paisagem do local e a sua

biodiversidade, ao desmatar e retirar a vegetação e solo fértil. Como também a geração de resíduos que está ligada ao processo produtivo que produz em grande quantidade rejeitos e escórias, que quando não armazenados e tratados de forma adequada podem contaminar o meio ambiente.

Por fim, todos os impactos já citados podem influenciar na perda da biodiversidade nas áreas que as mineradoras estão inseridas, a destruição de habitats naturais e perda de espécies da fauna e flora reduzem a biodiversidade do local. A Figura 7 mostra de forma resumida, os principais impactos causados na água, ar e solo, que complementam o conhecimento e alerta sobre o que a atividade mineradora pode causar ao meio ambiente e sociedade.

Figura 7: Principais impactos da mineração.

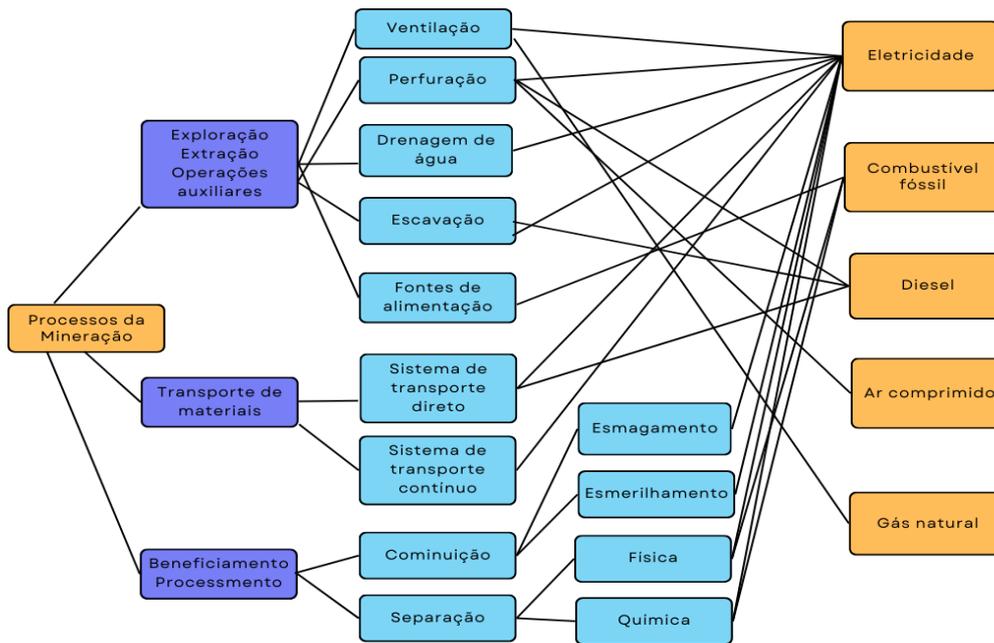
MEIO	CAUSA	IMPACTO
ÁGUA	Retirada da vegetação; Erosão; Captação e uso excessivo de água; Lançamento de efluentes in natura; Lixiviação de poluentes; Acidentes com liberação de poluentes.	Assoreamento dos corpos d'água superficiais; Diminuição da vazão de poços e nascentes; Escassez de água e; Poluição das águas superficiais e subterrâneas.
AR	Liberação de poeiras e gases e; Ruídos.	Contaminação do ar e; Poluição sonora
SOLO	Retirada da vegetação; Remoção do solo superficial; Escavações e; Deposição de rejeitos.	Perda de sedimentos e erosão; Perda de fertilidade; Alterações no relevo e; Poluição visual.

Fonte: Gusmão *et al.* (2021)

#### 4.5 Relação das etapas de produção do minério com a energia utilizada

As atividades e etapas envolvidas na mineração consomem muita energia, principalmente aquelas relacionadas ao transporte devido ao consumo de combustível, como também aquelas que dependem da energia elétrica para o seu funcionamento. (Figueiredo *et al.*, 2023). A Figura 8 mostra a relação dos processos de mineração e as fontes de energia utilizadas.

Figura 8: Processos da mineração e as fontes de energia utilizadas.



Fonte: Adaptado de Figueiredo *et al.* (2023).

Com a Figura 8 é possível perceber que a maioria dos processos dependem de eletricidade, diesel e combustíveis fósseis. Porém, muitas dessas fontes não são renováveis e emitem gases poluentes ao meio ambiente. Fontes renováveis são uma opção para substituição a essas fontes de energia que trazem malefícios ao meio ambiente. (POURESMAIELI *et al.*, 2023).

Analisando cada etapa de produção, já citada anteriormente, Bardi (2013) descreve como elas se relacionam com o uso de energia, conforme abaixo:

- Exploração/prospecção: essa etapa utiliza energia em toda infraestrutura que é necessária para teste de amostragem, perfurações exploratórias, como também para o transporte de pessoas e equipamentos para área em que está sendo realizada a exploração. Por se tratar de uma fase inicial, a energia necessária para a exploração e prospecção é bem pequena quando comparada às demais etapas do processo.
- Perfuração, escavação e/ou detonação: essa etapa é responsável por retirar grandes quantidades de rocha para alcançar o minério. Sendo assim, os gastos de energia destas operações aumentam de acordo com a quantidade de material que será retirada e a profundidade que ele se encontra. Ou seja, quanto maior a profundidade, maior será a energia necessária para retirar o material.

- Elevação e transporte: essa é a etapa que possui maior gasto de energia em toda operação de produção. E cerca de 90% das emissões de gases do efeito estufa advém dessa atividade (IBRAM, 2014).
- Processamento e beneficiamento: essa etapa envolve os processos de cominuição, concentração e auxiliares que necessitam de grande quantidade de energia sendo proporcional à quantidade de material processada e inversamente proporcional ao teor do material.
- Fundição/refino: todos os processos envolvidos nessa etapa necessitam de energia, sendo a energia elétrica a mais utilizada por ser mais eficiente.

Porém, conforme afirma Pouresmaieli *et al.* (2023), caso a indústria da mineração busque minerais com maiores teores e de maior qualidade, será necessário extrair mais profundamente para atingir os depósitos. Sendo assim, é necessário consumir muito mais energia para extrair, transportar, carregar e processar esse tipo de material.

Outro ponto que merece destaque é que em muitos casos a distância das minas das usinas de processamento e beneficiamento minas aumentam o consumo de energia e geram mais gases de efeito estufa devido a maior dificuldade para fornecimento de combustíveis, transporte de minerais, o acesso a locais de mineração. (POURESMAIELI *et al.*, 2023)

Diante de tais dados, é notável que a mineração consome muita energia e que todas as operações dependem significativamente dela. Assim, devido a esse alto consumo, como ainda as fontes de energia utilizadas são fontes não renováveis e não sustentáveis, outras variáveis podem ser analisadas em relação a esse consumo.

#### **4.6 Desafios energéticos no setor da mineração**

Visto a ampla utilização de energia nos processos produtivos do setor da mineração, é importante analisar os desafios encontrados para atender a demanda de energia e seu equilíbrio com meio ambiente e sociedade.

Como forma de orientar o setor da mineração para o desenvolvimento sustentável foi estabelecido o Plano Nacional de Mineração 2030, PNM-2030, publicado em 2010, que formula políticas e o planejamento de 20 anos para o setor. (IBRAM, 2010). O PNM está baseado em 3 diretrizes principais:

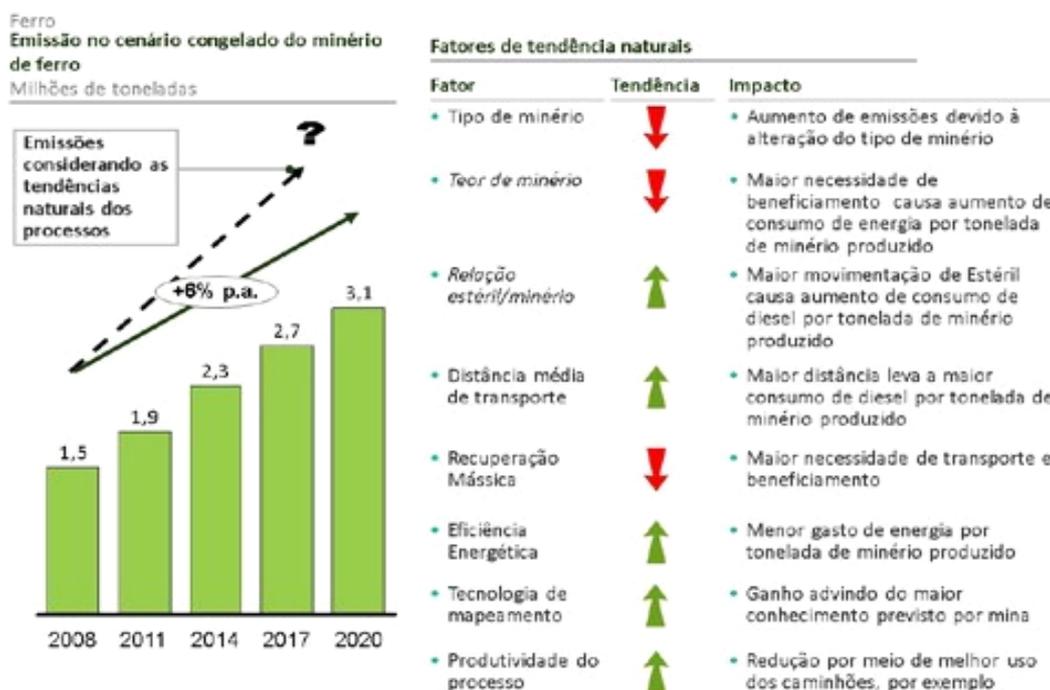
- governança pública que seja eficiente e eficaz em promover bens minerais que são extraídos no Brasil;
- agregar valor e construir conhecimento em todas as etapas que envolvem o setor mineral;
- promover a sustentabilidade em todas as etapas que fazem parte da produção mineral.

Apesar de ter sido elaborado em 2010, as diretrizes e objetivos impostas para o setor mineral permanecem relevantes para o cenário atual. No entanto, é importante ressaltar que pelo cenário econômico apresentar variações nos preços das commodities, avanços tecnológicos, mudanças nas demandas do mercado, e também pela crescente preocupação com questões ambientais e sociais, o plano necessita de ajustes e adaptações.

Além disso, de acordo com o a II Consolidação do Inventário de Gases de Efeito Estufa da Mineração (IBRAM, 2014), realizado pelo IBRAM em 2014, o consumo de energia e de combustíveis fósseis foram as principais fontes que contribuíram para as elevadas emissões de gases de efeito estufa, tais consumos advém principalmente da etapa de transporte do minério dentro das minas.

Como forma de complementar os dados sobre o meio ambiente e mineração, o Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono – Plano MBC (MME, 2013) traz mais fatores que podem interferir e influenciar as emissões de carbono no setor da mineração, conforme a Figura 9 abaixo:

Figura 9: Principais fatores de tendências para mineração.



Fonte: MME (2013).

Os oito fatores listados: alteração no tipo de minério extraído; teor do minério, relação estéril/minério; maior conhecimento das reservas minerais; distância média de transporte; eficiência energética dos motores; recuperação mássica e produtividade do processo podem impactar na emissão de GEE, sendo necessário que esses fatores sejam bem planejados e analisados durante o processo produtivo.

Levando em consideração os fatores listados acima, o Plano MBC (MME, 2013) fez o levantamento de iniciativas que visam diminuir as emissões de gases poluentes no setor da mineração sendo eles baseados em 3 iniciativas:

- Alteração da fonte energética utilizada nos processos: substituir os combustíveis fósseis que emitem alto teor de carbono por combustíveis renováveis;
- Otimização dos ativos da mineração: renovação, troca e instalação de equipamentos que minimizem o consumo de combustível ou eletricidade;
- Uso de novas tecnologias na mineração: investir em tecnologias que podem auxiliar no desenho das minas, formas de exploração e equipamentos mais avançados.

Porém, alguns desafios e barreiras são encontrados para a implantação dessas iniciativas, conforme afirma Poursmaieli *et al.* (2023). Sendo eles: baixa oferta de biocombustíveis e gás a preço competitivo; necessidade de uma logística para escoamento dos combustíveis; investimento necessário para troca ou ajuste de frota é elevado; a utilização de tecnologias envolve um elevado investimento e adaptação da mina. A Figura 10 mostra algumas iniciativas que podem ser aplicadas no processo da mineração para atuar na redução de emissão de gases, como as barreiras que são encontradas e o potencial de redução que cada iniciativa pode trazer.

Figura 10: Iniciativas para redução de emissão de gases.

INICIATIVAS	DESCRIÇÃO	BARREIRAS	POTENCIAL DE REDUÇÃO
Substituição da fonte energética – de combustíveis de alto teor de carbono por combustíveis renováveis ou não renováveis de menor intensidade carbônica	Uso de biocombustíveis no transporte interno	Oferta insuficiente de biocombustíveis e gás a preço competitivo	Médio
	Uso de gás natural na pelotização (parte do esforço observado nos últimos anos)	Logística dos combustíveis	Baixo
Troca ou ajuste de equipamentos com o objetivo de otimizar o consumo de combustível ou eletricidade	Substituição da frota e aumento da capacidade dos caminhões de mineração	Investimento necessário é elevado	Médio
	Otimização da combustão (pelotização)		Baixo
	Instalação de equipamento de otimização de torque de caminhões ( <i>fan clutch</i> )		Médio
	Utilização de equipamentos mais eficientes		Médio
Uso de novas tecnologias na mineração	Alteração de desenho das minas	Uso de correias transportadoras envolve um alto valor de investimento, depende da configuração da mina e reduz flexibilidade	Alto
	Uso de equipamentos avançados para a mineração, tais como auxílio elétrico a caminhões, correias transportadoras associadas à britagem na mina e veículos híbridos	Uso de caminhões híbridos exige investimento elevado	

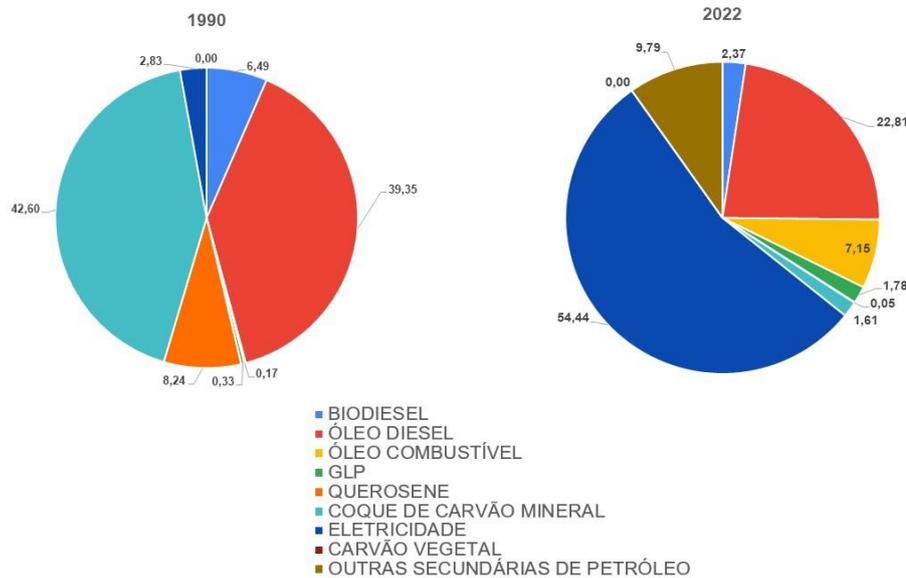
Fonte: *Carvalho et al.* (2016)

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Consumo de energia entre 1990 e 2022

Considerando apenas os dados de consumo de fonte de energia secundária consumida pela mineração e pelotização, foram elaborados dois gráficos mostrados na Figura 11 em que é possível visualizar a variação do consumo de várias fontes de energia durante o ano de 1990 e de 2022.

Figura 11: Gráfico de 1990 e 2022 do consumo de energia pela mineração e pelotização em %.



Fonte: Autor (2024)

Os tipos de energia secundária abordada pelo gráfico são: biodiesel, óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, querosene, coque de carvão mineral, eletricidade, carvão vegetal, outras secundárias de petróleo.

Analisando o ano de 1990, é possível perceber a dependência de combustíveis fósseis, principalmente derivados de petróleo, como o diesel e o óleo combustível. No consumo total de energia da mineração em 1990 refletindo a intensa atividade industrial desse setor, que demandava grandes quantidades de energia para processos como moagem, concentração de minérios e transporte.

Um dos fatores que levou a essa dependência no Brasil é que a tecnologia que já estava bastante desenvolvida e difundida em meados do século XX, utilizava os derivados de petróleo como principal combustível. Fatores econômicos e políticos também interferiram no uso, em 1990, o óleo combustível era relativamente barato e abundante, e o governo incentivava o uso, oferecendo subsídios e isenções fiscais para a indústria de petróleo e gás. Dessa forma, o óleo combustível e diesel tornou-se uma opção economicamente atrativa para as empresas mineradoras. (ANP, 2020)

Já a presença quase nula de fontes renováveis indica que as práticas de mineração ainda estavam fortemente ligadas aos combustíveis fósseis, com pouca exploração de fontes de energia renováveis.

É visto a presença de outras fontes de energia, como o GLP, o querosene e a eletricidade, o que sugere que havia um certo grau de diversificação na matriz energética, embora ainda concentrado em combustíveis fósseis, derivados de petróleo que geram gases de efeito estufa.

Já no ano de 2022, é verificada a evolução e uma diversificação na matriz energética em que é possível perceber a participação do biodiesel, demonstrando um avanço na adoção de fontes de energia renováveis no setor minerário, em linha com as políticas globais de combate às mudanças climáticas.

Um dos marcos mais importantes que podem ter influenciado esse consumo foi a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Lei nº 12.187/09, que estabeleceu metas de redução de emissões, criou o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões e definiu diretrizes para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Essa lei representou um marco importante na institucionalização da política climática brasileira. E foi essa mesma lei que considerou o setor de mineração como uma prioridade. Essa prioridade é justificada pelo papel significativo que o Brasil desempenha na mineração a nível global, além da importância econômica dessa atividade, que se reflete na sua contribuição para o Produto Interno Bruto (PIB), nos saldos comerciais e na presença em várias cadeias produtivas. (CARVALHO *et al.*, 2016).

Porém, percebe-se que o óleo diesel e combustível, assim como afirma Aramendia *et al.* (2023), é bastante utilizado nos processos que envolvem a mineração e pelletização. E que mesmo ao passar dos anos, há ainda a predominância de fontes não renováveis de energia.

Em relação ao consumo de eletricidade é notório que em 1990 com 2,83% e em 2022 com 54,44%, o consumo obteve um aumento elevado. Isso sugere uma demanda constante e crescente por eletricidade, impulsionada por diversos fatores. Figueiredo *et al.* (2023) afirma que a eletricidade é muito utilizada na mineração devido a sua versatilidade que permite que seja utilizada em uma ampla gama de equipamentos e processos, como exploração e extração, operações auxiliares e beneficiamento.

Porém, a indústria da mineração, tradicionalmente associada a altos índices de consumo de combustível fóssil, que são as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa na mineração, está passando por uma transformação significativa com a crescente adoção de caminhões elétricos. Como resultado dessa transformação, o consumo de eletricidade aumentará, enquanto o consumo de óleo diesel será reduzido no decorrer dos anos.

Além disso, atualmente, as empresas de mineração estão aplicando o descomissionamento de barragens. As barragens são geradas para armazenar os resíduos, chamados rejeitos, para evitar contaminações e possibilitar o reuso da água. O processo de descomissionamento envolve a drenagem e estabilização dos rejeitos ou da água contidos na barragem, a remoção de infraestrutura associada, a recuperação ambiental da área afetada e o monitoramento contínuo para garantir que não haja impactos negativos remanescentes. (MASSIGNAN E SÁNCHEZ, 2022).

O descomissionamento de barragens tem apresentado um crescimento significativo, devido aos desastres ambientais decorrentes dos rompimentos das barragens de Fundão em Mariana em 2015 e do Córrego do Feijão em Brumadinho em 2019. Mas, esse processo apesar de ser particularmente importante no setor de mineração devido minimizar os potenciais impactos ambientais e aumentar a segurança das comunidades ao redor, o processo de descomissionamento de barragens de mineração envolve um consumo significativo de energia. Será necessária uma utilização maior de energia para alimentar máquinas e equipamentos usados na drenagem dos rejeitos, demolição das estruturas, transporte de materiais e, em alguns casos, para a estabilização de terrenos.

## **5.2 Análise de correlação entre as variáveis**

Para analisar o relacionamento entre as variáveis consideradas neste estudo, foi elaborada uma matriz de correlações, apresentada na Tabela 3. Cada variável da tabela possui dois valores, sendo o primeiro o valor da correlação e o segundo o valor de valor.

Considerando os valores de p-valor apresentados na Tabela 3 e aplicando o teste de hipóteses, é visto que todos os p-valores são menores que o nível de significância  $\alpha = 0,05$  que indica que os resultados são estatisticamente significativos. Ou seja, pode-se considerar que existe uma correlação estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas.

Tabela 3: Correlação das variáveis com p-valores.

<b>Matriz de Correlações</b>	<b>PIB - Geral</b>	<b>PIB- Extrativismo Mineral</b>	<b>População Residente</b>	<b>IDH</b>	<b>CO<sub>2</sub> - Produtos minerais</b>	<b>CO<sub>2</sub> total</b>	<b>Energia secundária total consumida</b>	<b>Produção Mineral Brasileira</b>
<b>PIB- Extrativismo Mineral</b>	0,890 0							
<b>População Residente</b>	0,973 0	0,869 0						
<b>IDH</b>	0,973 0	0,878 0	0,991 0					
<b>CO<sub>2</sub> - Produtos minerais</b>	0,952 0	0,821 0	0,897 0	0,914 0				
<b>CO<sub>2</sub> total</b>	-0,620 0	-0,578 0	-0,500 0,003	0,507 0,003	-0,647 0			
<b>Energia secundária total consumida</b>	0,822 0	0,912 0	0,794 0	0,796 0	0,777 0	- 0,003		
<b>Produção Mineral Brasileira</b>	0,869 0	0,664 0	0,793 0	0,768 0	0,857 0	- 0,628 0	0,589 0	
<b>Área utilizada pela mineração</b>	0,879 0	0,675 0	0,918 0	0,892 0	0,786 0	- 0,418 0,015	0,547 0,001	0,816 0

Fonte: Autor (2024)

Analisando os valores de correlação calculados, foi elaborada a Tabela 4 utilizando escala de cores para identificar a força das correlações. Correlações moderadas estão na cor amarela, correlações fortes na cor verde claro e correlações muito fortes de cor verde escuro.

Observando as cores da Tabela 4, é possível perceber que há poucas correlações moderadas, sendo as demais fortes e muito fortes. O que indica que as variáveis apresentadas possuem uma relação linear significativa, sugerindo que uma variação em uma delas está diretamente relacionada a uma variação na outra, seja positivamente ou negativamente.

Tabela 4: Classificação da correlação das variáveis.

Matriz de Correlações	PIB - Geral	PIB- Extrativismo Mineral	População Residente	IDH	CO <sub>2</sub> - Produtos minerais	CO <sub>2</sub> total	Energia secundária total consumida	Produção Mineral Brasileira
PIB- Extrativismo Mineral	0,890							
População Residente	0,973	0,869						
IDH	0,973	0,878	0,991					
CO <sub>2</sub> - Produtos minerais	0,952	0,821	0,897	0,914				
CO <sub>2</sub> total	-0,620	-0,578	-0,500	0,507	-0,647			
Energia secundária total consumida	0,822	0,912	0,794	0,796	0,777	-0,505		
Produção Mineral Brasileira	0,869	0,664	0,793	0,768	0,857	-0,628	0,589	
Área utilizada pela mineração	0,879	0,675	0,918	0,892	0,786	-0,418	0,547	0,816

	Correlação Moderada		Correlação Forte		Correlação Muito Forte
---	---------------------	---	------------------	---	------------------------

Fonte: Autor (2024)

Analisando a matriz é possível perceber uma forte correlação positiva entre PIB do extrativismo mineral e as demais variáveis, exceto CO<sub>2</sub> total, que possui uma correlação moderada, devido envolver as emissões de todos os outros setores da economia. Dessa forma, tais dados sugerem que a mineração é um setor importante para a economia, o que pode gerar empregos e renda para a população. O PIB do extrativismo mineral desempenha um papel crucial na composição do PIB bruto do Brasil, devido a sua abundância de recursos naturais. Além disso, Cunha *et al.* (2019), mostra que sua importância é ainda maior devido a sua contribuição direta para o crescimento econômico, para a cadeia produtiva que envolve diversos setores da economia e seu investimento em infraestrutura que beneficia toda a sociedade e o seu desenvolvimento regional que gera empregos e renda para a população.

Em relação aos impactos ambientais, a matriz mostra uma correlação positiva entre CO<sub>2</sub> de produtos minerais, energia consumida, produção mineral, e com a área utilizada na mineração, o que deixa evidente como é necessário medidas para mitigar os

impactos ambientais da mineração, como a adoção de formas de energia mais limpas e a recuperação de áreas degradadas.

Esses dados reforçam como a indústria mineral é responsável por uma vasta gama de impactos ambientais, principalmente na emissão de gases poluentes na atmosfera decorrentes do consumo de quantidades consideráveis de energia. (MME, 2013).

Conforme afirma Aramendia *et al.* (2023), o futuro da mineração será definido pela interação de diversos fatores. Inovações tecnológicas que visam otimizar processos e equipamentos, aliadas a políticas públicas que incentivem o uso de fontes renováveis e desincentivem práticas poluentes, juntamente com as flutuações da demanda por minerais e dos preços da energia, e a crescente conscientização sobre os impactos ambientais da atividade minerária, impulsionaram a transição para um modelo energético mais limpo e eficiente.

Sobre a área utilizada pela mineração, há uma correlação positiva forte com produção mineral brasileira, o mesmo que ocorre com o PIB-Extrativismo Mineral, indicando que quanto maior a área minerada, maior tende a ser a quantidade de minérios extraídos, o que conseqüentemente aumenta a receita gerada por esse setor.

Analisando a matriz de correlação voltada para as variáveis sociais. É notório perceber que existe uma forte correlação positiva entre a população residente e a área utilizada pela mineração. Isso significa que, à medida que a população de uma região aumenta, tende a haver um aumento proporcional na área destinada à atividade mineradora. Um aumento da população, geralmente está associado a um crescimento econômico, que por consequência fomenta a demanda de produtos que muitas vezes depende de recursos minerais como matéria prima. (VIANA E LIMA, 2010). Sendo assim, a atividade mineradora tende a aumentar a sua exploração e produção e conseqüentemente utilizando cada vez mais áreas para sua atividade.

O IDH também possui uma forte relação com a produção mineral brasileira e com o PIB-Extrativismo Mineral, em que à medida que a produção e o PIB aumentam, o IDH também tem o seu valor aumentado. O IDH avalia o desenvolvimento e a qualidade de vida de um país considerando como indicadores a saúde, riqueza e renda. Ao considerar esses três indicadores, o IDH oferece uma visão mais completa do desenvolvimento de um país quando se compara ao indicador do PIB. Dessa forma, um aumento da produção mineral brasileira e do PIB - Extrativismo Mineral contribui para a melhoria dos

indicadores sociais. (UNDP, 2024). Isso sugere que a mineração pode vir a trazer benefícios para o desenvolvimento humano, devido a geração de renda e emprego, investimento nas infraestruturas das localidades que as minas estão instaladas, como os impostos e royalties que a empresa paga que podem ser utilizados para financiar programas sociais e investir em serviços públicos.

No entanto, como o próprio conceito de sustentabilidade diz e é afirmado por De Lima (2006), é necessário que tenha um equilíbrio entre o uso dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente, garantindo que as necessidades das gerações presentes sejam atendidas sem comprometer as gerações futuras. Por isso, a mineração deve promover o crescimento econômico de forma sustentável e responsável, garantindo que suas atividades auxiliem no desenvolvimento humano, garanta matéria prima para as necessidades humanas em harmonia com o meio ambiente.

### **5.3 Análise de regressão entre variáveis**

Utilizando a técnica de regressão linear múltipla entre variáveis, serão analisados os resultados dos modelos de regressão para as variáveis econômicas, sociais e ambientais.

A aplicação da regressão linear múltipla foi realizada usando o Minitab selecionando primeiramente a variável dependente e em seguida selecionando as variáveis independentes. Selecionando como variável dependente o PIB - Geral e como variáveis independentes: PIB-Extrativismo Mineral, população residente, IDH, CO<sub>2</sub>-Produtos minerais, CO<sub>2</sub> total, energia secundária total consumida, produção mineral brasileira e área utilizada pela mineração foi obtido o resultado mostrado na Figura 12.

Figura 12: Modelo de regressão PIB-Geral.

### Equação de Regressão

$$\begin{aligned} \text{PIB - Geral} = & -2468 + 0,00223 \text{ PIB-Extrativismo Mineral} + 2,30 \text{ População Residente} + 5483 \text{ IDH} \\ & + 7,98 \text{ CO2 - Produtos minerais} - 0,0946 \text{ CO2 total} \\ & + 0,1497 \text{ Energia secundária total consum} + 7,60 \text{ Produção Mineral Brasileira} \\ & + 0,000168 \text{ Área utilizada pela mineração} \end{aligned}$$

### Coefficientes

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante	-2468	663	-3,72	0,001	
PIB-Extrativismo Mineral	0,00223	0,00272	0,82	0,420	11,76
População Residente	2,30	5,33	0,43	0,670	138,89
IDH	5483	2043	2,68	0,013	119,74
CO2 - Produtos minerais	7,98	6,73	1,19	0,247	18,67
CO2 total	-0,0946	0,0395	-2,40	0,025	2,24
Energia secundária total consum	0,1497	0,0763	1,96	0,061	10,28
Produção Mineral Brasileira	7,60	1,62	4,68	0,000	8,81
Área utilizada pela mineração	0,000168	0,000507	0,33	0,744	22,43

### Sumário do Modelo

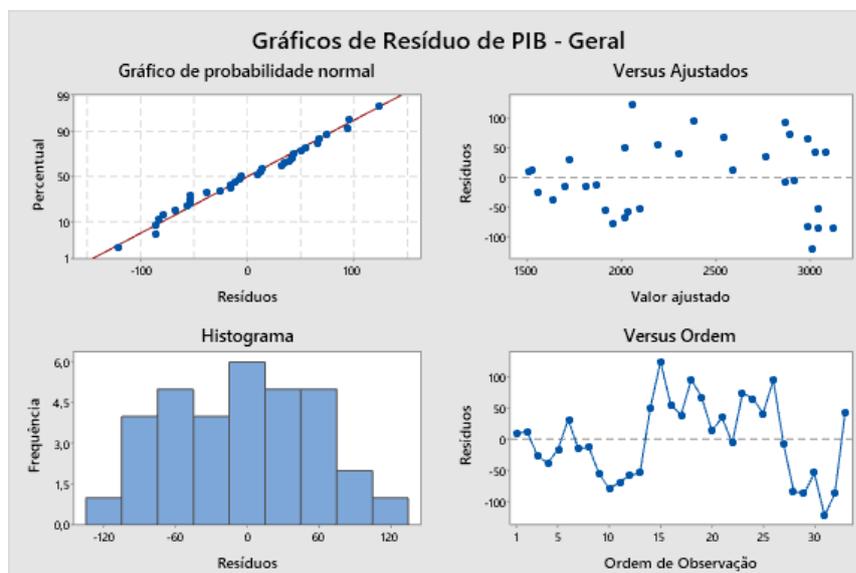
S	R2	R2(aj)	R2(pred)
51,3016	99,38%	99,17%	98,48%

Fonte: Minitab (2024)

Ao visualizar os dados de valor-p é possível identificar quais variáveis são significativas para a análise, sendo aqueles que possuem valores menores que  $\alpha = 0,05$ . Sendo assim, para que os resultados do modelo sejam mais relevantes para a análise foi retirado as variáveis: PIB-Extrativismo Mineral, população residente, CO<sub>2</sub>-Produtos minerais, energia secundária total consumida e área utilizada pela mineração.

Antes de realizar a análise de regressão, é importante analisar as variáveis do modelo quanto à normalidade, variância constante e independência. Para realizar essa análise será utilizado o gráfico de resíduo gerado pelo Minitab, que é mostrado na Figura 13.

Figura 13: Gráfico de resíduo.



Fonte: Minitab (2024)

O gráfico de probabilidade normal mostra que os pontos seguem uma distribuição normal devido os mesmos seguirem a reta diagonal. No gráfico de versus ajustados os pontos parecem dispersos aleatoriamente em torno da linha horizontal, que indica que a variância dos erros no modelo de regressão é constante ao longo de todos os valores da variável independente. O histograma mostra a distribuição dos resíduos, é possível perceber uma forma aproximadamente simétrica que complementa o gráfico de probabilidade normal, mostrando a normalidade dos resíduos. Por último, o gráfico versus ordem mostra que os pontos não apresentam um padrão de autocorrelação, ou seja, a hipótese de independência dos erros não é violada, o erro cometido em uma previsão não influencia o erro cometido em outra previsão. (JUNIOR E PRETTI, 2021). Sendo assim, a análise dos gráficos de resíduos indica que o modelo de regressão utilizado para analisar o PIB-Geral apresenta um bom ajuste aos dados.

Figura 14: Modelo de regressão PIB-Geral entre variáveis estatisticamente significativas.

### Equação de Regressão

PIB - Geral = -3594 + 8585 IDH - 0,1516 CO2 total + 8,23 Produção Mineral Brasileira

### Coefficientes

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante	-3594	261	-13,74	0,000	
IDH	8585	374	22,98	0,000	2,45
CO2 total	-0,1516	0,0433	-3,50	0,002	1,65
Produção Mineral Brasileira	8,23	1,21	6,79	0,000	3,00

### Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
65,6284	98,77%	98,64%	98,32%

Fonte: Minitab (2024)

Analisando a Figura 14, é possível observar os coeficientes, ter um coeficiente positivo indica que, à medida que o IDH e a produção mineral brasileira aumentam, o PIB-Geral tende a aumentar também. Por apresentarem valor-p menor que 0,05, indica que todos os coeficientes são estatisticamente significativos, indicando que há evidências que alterações nos valores das variáveis independentes promovem alterações estatisticamente significativas na variável dependente. O valor alto encontrado no R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> (aj) e R<sup>2</sup> (pred), próximo a 100%, mostra que quase 100% da variabilidade da variável

dependente é explicada pelo modelo de regressão utilizado, ou seja, o modelo é capaz de explicar quase a totalidade da variabilidade da variável dependente.

A análise de regressão foi aplicada a todas as outras variáveis dependentes (PIB-Extrativismo Mineral, população residente, IDH, CO<sub>2</sub>-Produtos minerais, CO<sub>2</sub> total, energia secundária total consumida, produção mineral brasileira e área utilizada pela mineração), seguindo a mesma metodologia utilizada para o PIB-Geral. Os gráficos de resíduos indicaram um bom ajuste do modelo para todas as variáveis, sugerindo que as premissas de linearidade, homoscedasticidade e normalidade dos resíduos foram atendidas. Variáveis com p-valor superior a 0,05 foram excluídas do modelo, visando aumentar a sua precisão.

Para a variável social, população residente foi obtido o resultado mostrado na Figura 15. Todas as variáveis estão positivamente relacionadas com a população residente, indicando que um aumento nessas variáveis aumenta a variável população residente. Os valores-p menores que  $\alpha = 0,05$  encontrados indicam que a variável é considerada estatisticamente significativa. O R<sup>2</sup> de 99,21% sugere que o modelo explica muito bem a variabilidade da população residente. Junto aos valores de R<sup>2</sup> (aj) igual a 99,13% e R<sup>2</sup> (pred) 99,01%.

Figura 15: Modelo de regressão população residente.



Fonte: Minitab (2024)

Analisando a regressão linear múltipla do IDH mostrado na Figura 16, é possível perceber que as variáveis que influenciam positivamente são: PIB-Geral, população residente e CO<sub>2</sub>-Produtos minerais. Já as que influenciam negativamente são energia

secundária consumida e produção mineral brasileira. Todas as variáveis são estatisticamente significativas e possuem um R<sup>2</sup> igual a 99,27% indica a que variância do IDH é explicada pelas variáveis independentes.

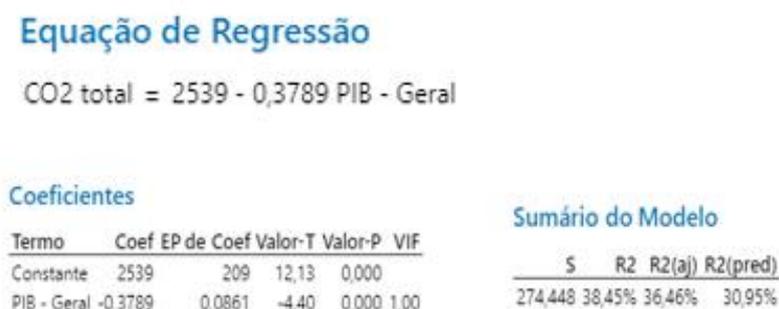
Figura 16: Modelo de regressão IDH.



Fonte: Minitab (2024)

No entanto, quando é analisada como variável dependente as emissões totais de CO<sub>2</sub> mostrada na Figura 17, é possível perceber que apenas uma variável que é PIB Geral, é significativa estatisticamente devido ao seu valor-p. Além disso, ter um R<sup>2</sup> igual a 38,45%, indica que apenas 38,45% da variabilidade do CO<sub>2</sub> total é explicada pelo PIB Geral, ou seja, o modelo explica uma pequena parcela da variabilidade das emissões, mas ainda há uma parcela considerável da variabilidade que não é explicada pelo modelo. Vale ressaltar que o a variável CO<sub>2</sub> trata-se de um dado que considera não só as emissões da mineração e pelletização, como também de outros setores, o que pode influenciar nos resultados obtidos na regressão.

Figura 17: Modelo de regressão CO<sub>2</sub>.



Fonte: Minitab (2024)

A Tabela 5 a seguir mostra o sumário de todos os modelos de regressão construídos, exceto o já apresentados. Ao inserir e testar o modelo colocando as variáveis dependentes como: PIB-Extrativismo Mineral, CO<sub>2</sub> de produtos minerais, energia secundária total consumida, produção mineral brasileira e área utilizada pela mineração foi obtido os valores de R mostrados na tabela. Além de ter obtido gráficos de resíduos com bons ajustes de dados, semelhantes ao do PIB-Geral apresentado.

Os valores de R<sup>2</sup> são relativamente altos para todas as variáveis dependentes, variando entre 83% e 94%, o que indica que o modelo de regressão consegue explicar uma boa parte da variação dessas variáveis. Porém, os valores de R<sup>2</sup> variam um pouco entre as diferentes variáveis dependentes, indicando que o modelo se ajusta melhor a algumas variáveis do que a outras, como por exemplo, para a variável área utilizada pela mineração com 93,16% e energia secundária total consumida com 89,39%. Ou seja, as variáveis independentes que foram utilizadas em cada modelo são capazes de prever com boa precisão o consumo de energia secundária total e a área utilizada pela mineração.

Os valores de R<sup>2</sup>(aj) e R<sup>2</sup>(pred) são menores que os valores de R<sup>2</sup>, pois esses dados indicam as variações do coeficiente de determinação, que são ajustados em relação ao número de variáveis independentes no modelo e também indica a capacidade do modelo de prever novos dados. Dessa forma, mesmo sendo valores menores, ainda apresentam valores altos que indica que é possível prever novos dados.

Tabela 5: Sumário do modelo do Minitab.

Variáveis dependentes	Valores de S	Valores de R <sup>2</sup>	Valores de R <sup>2</sup> (aj)	Valores de R <sup>2</sup> (pred)
<b>PIB - Extrativismo Mineral</b>	4748,21	83,24%	82,70%	80,66%
<b>CO<sub>2</sub> - Produtos minerais</b>	2,40133	83,51%	82,98%	81,40%
<b>Energia secundária total consumida</b>	132,735	89,39%	87,88%	84,84%
<b>Produção Mineral Brasileira</b>	6,27482	86,57%	85,68%	84,34%
<b>Área utilizada pela mineração</b>	22870	93,16%	92,70%	91,12%

Fonte: Autor (2024)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria da mineração e pelotização brasileira passou por uma transformação significativa em seu consumo energético nas últimas décadas. Em 1990, a mineração dependia altamente de combustíveis fósseis, principalmente derivados de petróleo como diesel e óleo combustível e a era quase nula a presença de fontes renováveis de energia. Porém, em 2022 observa-se uma diversificação da matriz energética, com o aumento da participação do biodiesel, impulsionado por políticas que reforçam a diminuição de emissão de gases poluentes na atmosfera.

Apesar dos avanços, o óleo diesel e o combustível continuam sendo amplamente utilizados e o consumo de eletricidade manteve-se elevado, impulsionado pela versatilidade da aplicação da energia elétrica em diversos processos da cadeia produtiva. Mesmo que utilizando a energia elétrica, em substituição aos combustíveis fósseis, vale reforçar a utilização de fontes limpas e renováveis para a obtenção dessa energia elétrica. Dessa forma, a mineração precisa de alinhar a eficiência energética com a utilização de cada vez mais fontes limpas e renováveis dentro de seu processo produtivo.

A partir das análises de correlação, constatou-se que maioria das variáveis apresentou uma correlação forte e positiva, sendo elas PIB-Geral, PIB-Extrativismo Mineral, população residente, IDH, energia secundária total consumida e produção mineral brasileira. Essa forte correlação indica que a mineração pode influenciar ou ser influenciada pelas variáveis econômicas, sociais e ambientais.

Por meio da análise de regressão das variáveis foi possível identificar quais variáveis influenciaram de forma mais significativa outras variáveis. A partir dela, tornou-se claro, que as variáveis IDH e produção mineral brasileira foram as variáveis que mais influenciaram no resultado PIB-Geral. O IDH, energia secundária consumida e área utilizada pela mineração influenciaram positivamente a população residente. Já o PIB-Geral, a população residente e as emissões de CO<sub>2</sub> de produtos minerais influenciaram positivamente o IDH, enquanto o consumo de energia secundária e a produção mineral brasileira influenciaram negativamente.

Os resultados obtidos por meio da análise das relações entre variáveis demonstram que a mineração é um setor de grande importância para a economia, gerando empregos, renda e contribuindo para o aumento do PIB, decorrente da grande abundância de recursos minerais no Brasil. Porém, a atividade da mineração está fortemente ligada à emissão de

gases poluentes, elevado consumo de energia e degradação ambiental. É necessário que medidas mitigadoras sejam aplicadas e que a indústria concilie o seu desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. É possível por meio de inovações tecnológicas, substituição de maquinário e utilização de fontes renováveis e limpas de energia garantir uma mineração mais sustentável. Ao conciliar a preservação ambiental com o desenvolvimento social a mineração pode influenciar na melhoria de indicadores sociais, como IDH, garantindo o atendimento das necessidades atuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

## **REFERÊNCIAS**

AGENCIABRASIL. **IDH do Brasil sobe em 2022, mas país cai 2 posições em ranking da ONU**. Agência Brasil. 2024. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/direitos-humanos/noticia/2024-03/idh-do-brasil-sobe-em-2022-mas-pais-cai-2-posicoes-em-ranking-da-onu>. Acesso em: 05 ago. 2024.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro – principais substâncias metálicas**. Brasília, 2023. Disponível em:

<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023

ANNEE – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Portal Relatórios**.

Brasília, 2024. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie>. Acesso em: 05 de set. 2024

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E

BIOCOMBUSTÍVEIS. **A história do petróleo no Brasil**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/historia-petroleo-brasil>. Acesso em: 02 set. 2024.

ARAÚJO, E. R. FERNANDES, F. R. C. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais**. In: Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica. Rio de Janeiro: CETEM/CICP, 2016. 65-88 p.

ARAMENDIA, E. et al. Global energy consumption of the mineral mining industry:

Exploring the historical perspective and future pathways to 2060. **Global**

**Environmental Change**, v. 83, Article ID 102745, dec. 2023. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102745>. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102745>. Acesso em: 23 nov. 2023.

BARDI, U. The mineral question: how energy and technology will determine the future of mining. **Frontiers in Energy Research**, v. 1, p. 9, dec. 2013. DOI:

10.3389/fenrg.2013.00009. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2013.00009/full>. Acesso em: 23 nov. 2023

BANÚS, V. **A DNV GL conclui que serão necessárias 8 vezes mais energia eólica e solar em 2030 para alcançar os objetivos climáticos de Paris**. DNV. 2019.

Disponível em: [https://www.dnv.com.br/news/a-dnv-gl-conclui-que-serao-necessarias-8-vezes-mais-energia-eolica-e-solar-em-2030-para-alcancar-os-objetivos-climaticos-de-paris-](https://www.dnv.com.br/news/a-dnv-gl-conclui-que-serao-necessarias-8-vezes-mais-energia-eolica-e-solar-em-2030-para-alcancar-os-objetivos-climaticos-de-paris-158437/#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20tamb%C3%A9m%20demonstra%20que,1%2C9%25%20em%202050)

158437/#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20tamb%C3%A9m%20demonstra%20que,1%2C9%25%20em%202050. Acesso em: 30 ago. 2024.

CARVALHO, P. S. L. et al. PANORAMAS SETORIAIS: Mudanças climáticas.

**Mineração**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016. p. 41-45.

CHAVES, A. **Teoria e prática de Tratamento de Minérios**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 551 p.

CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear**. Brasília: Enap, 2019. 76 p.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: setor extrativo mineral**.

Brasília, 2010. Disponível em:

[https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/de/44/de44f462-db88-4498-80ba-14a883c98b70/20121127141806529865u.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/de/44/de44f462-db88-4498-80ba-14a883c98b70/20121127141806529865u.pdf). Acesso em: 15 nov. 2023.

COSTA, P. R. **Estatística**. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 2011. 95 p.

COUNTRYECONOMY. **Brasil - Índice de Desenvolvimento Humano.**

Countryeconomy.com. Disponível em:

<https://pt.countryeconomy.com/demografia/idh/brasil>. Acesso em: 05 ago. 2024.

CUNHA, A. M. B. M. et al. **Aspectos econômicos e sociais da atividade extrativa mineral: um olhar sobre os objetivos de desenvolvimento sustentável.** Rio de

Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2332/1/SED-101.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.

DA SILVA, A. **Metodologia da Pesquisa.** 2 ed. Ceará: EDUECE, 2015. 108 p.

DE LIMA, G. M. **Fontes alternativas de energia.** 1 ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 192 p.

DE LIMA, S. F. **Introdução ao conceito de sustentabilidade aplicabilidade e limites.** Cadernos da Escola de Negócios, v. 1, n. 4, 2006.

ELIAS, L. M. **Matriz Energética Brasileira: Impactos Ambientais e à Saúde.** 2010. 111 p. Dissertação - PUC Goiás - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2010.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica.** Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 15 nov. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese - Balanço Energético Nacional.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:

[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2023\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf). Acesso em: 24 out. 2023.

FEIJOO, A. M. L. C. **A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação.** Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <https://bibvirtual.parlamento.ao/wp-content/uploads/2023/01/A-pesquisa-e-a-estatistica-na-psicologia-e-na-educacao-OK.-Feijoo.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2024.

FIGUEIREDO, R. L.; SILVA, J. M. da.; ORTIZ, C. E. A. A Importância do hidrogênio na indústria de mineração como fonte de energia renovável. **Journal of Environmental**

**Analysis and Progress**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 240–251, out. 2023. DOI: 10.24221/jeap.8.4.2023.5544.240-251. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/5544/482485072>. Acesso em: 15 nov. 2023.

GOÉS, G. S. **A Geopolítica da Energia do Século XXI**. 1. ed. Rio de Janeiro: SYNERGIA EDITORA, 2021. 392 p.

GUEDES, T. A. et al. **Estatística descritiva**. Projeto de ensino aprender fazendo estatística, 2005. 49 p.

GUSMÃO, I. C. D. et al. Os impactos ambientais causados pela atividade mineradora. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC**. 2021. Disponível em: <https://www.confex.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2021/Civil/OS%20IMPACTOS%20AMBIENTAIS%20CAUSADOS%20PELA%20ATIVIDADE%20MINERADORA.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2024.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Desempenho da mineração tem queda em 2022, mas setor cria mais empregos e aumentará investimentos para US\$ 50 bi até 2027**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/desempenho-da-mineracao-tem-queda-em-2022-mas-setor-cria-mais-empregos-e-aumentara-investimentos-para-us-50-bi-ate-2027/#:~:text=Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20faturamento,%E2%80%93%20uma%20queda%20de%2026%25>. Acesso em: 05 ago. 2024.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **II Inventário de gases efeito estufa do setor mineral**. Brasília, 2014. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/00005153.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília, 2010. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/pnm\\_2030.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/pnm_2030.pdf). Acesso em: 02 dez. 2023.

JUNIOR, R. N. E PRETTI, L. A. Análise dos resíduos na regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados ordinários. **XXII Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia**. Goiânia, 2021. Disponível em: <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2021/11/17-An%C3%A1lise-dos-Res%C3%ADduos-na-Regress%C3%A3o-Linear-M%C3%BAltipla-pelo->

M% C3% A9todo-dos-M% C3% ADnimos-Quadrados-Ordin% C3% A1rios.pdf. Acesso em: 02 set. 2024

JÚNIOR, L. M. C. et al. Concentração energética da indústria brasileira de mineração e pelotização. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, v. 6, p. 684-692, out. 2018.

MARTINS, M. E. G. Diagrama ou gráfico de dispersão. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, p. 1-2, 2014.

MASSIGNAN, R. S.; SÁNCHEZ, L. E. O que significa descaracterizar barragens de rejeitos de mineração? Uma revisão sistemática da literatura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 225-234, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200422>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/pxwxzxWPTWBqRhV7M9W9Dqt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 set. 2024.

MAPBIOMAS. **Estatísticas**. MapBiomass. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. Acesso em: 05 ago. 2024.

MELLO, C.; TURRIONI, J. **Metodologia de pesquisa: estratégias, métodos e técnicas para pesquisa científica em engenharia de produção**. Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá–UNIFEI, 2007.

MILANEZ, B. Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. **Boletim regional, urbano e ambiental / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais**. Rio de Janeiro, n. 1, p. 93-101, 2017. Disponível em: [https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim\\_regional/170531\\_bru\\_16.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/170531_bru_16.pdf). Acesso em: 13 set. 2024.

MINITAB. Tipos de análises de regressão. **Minitab**, 2024. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/supporting-topics/basics/types-of-regression-analyses/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono - PMBC**. Brasília, 2013. Disponível em:

<http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/1010>. Acesso em: 06 jan. 2024.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim do Setor Mineral**. Brasília, 2022. Disponível em:  
[file:///C:/Users/User/Downloads/Boletim\\_SGM\\_Dez2021\\_digital\\_7%20edi%C3%A7%C3%A3o%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Boletim_SGM_Dez2021_digital_7%20edi%C3%A7%C3%A3o%20(1).pdf). Acesso em: 05 ago. 2024.

MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 9. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2023. 598 p.

NETO, L. R. C. **Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro**. 2006. 45 p. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NORGATE, T.; HAQUE, N. Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations. **Journal of cleaner production**, v. 18, n. 3, p. 266-274, feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.020>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.020> Acesso em: 23 nov. 2023.

PARKER, C. Energy transition in South America: Elite's views in the mining sector, four cases under study. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0089r1vu18L1AO>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Tq6NnbMzLcvWXRkzW4QBfJB/?format=pdf&lang=e>. Acesso em: 15 nov. 2023.

PERPÉTUO, R. O acordo de Paris, o Brasil e as cidades. **Cadernos**, v. 1, n. 1, p. 29-33, 2017.

POURESMAIELI M. et al. Integration of renewable energy and sustainable development with strategic planning in the mining industry. **Results in Engineering**, v. 20, Article ID 101412, 2023. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101412. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101412>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RODRIGUES, S. **Modelo de Regressão Linear e suas Aplicações**. 2012. 78 p. Dissertação - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2012.

SANTOS, J. A. G. **Recuperação e reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017. Disponível em:

<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/175225/2/recuperacao.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Plataforma: SEEG**. 2024. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 05 ago. 2024

SILVESTRE, A. **Análise de dados e estatística descritiva**. 1. ed. [S.l.]: Escolar, 2007.352 p.

TERRIN, K. A. P.; BLANCHET, L. A. Direito de energia e sustentabilidade: uma análise dos impactos negativos das usinas hidrelétricas no Brasil. **Revista Videre**, [S. l.], v. 11, n. 22, p. 47–63, 2019. DOI: 10.30612/videre.v11i22.11215. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/videre/article/view/11215>. Acesso em: 13 set. 2024.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos CEBRAP**, [S. l.], v. 3, n.79, p. 47-69, nov. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/#>. Acesso em: 02 dez. 2023.

UNDP - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Desenvolvimento Humano e IDH**. 2024. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/idh>. Acesso em: 28 ago. 2024.

VELOSO, F. A.; VILLELA, A.; GIAMBIAGI, F. Determinantes do "milagre" econômico brasileiro (1968-1973): uma análise empírica. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 221-246, abr./jun. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-71402008000200006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbe/a/5SyG8QnVhQHdyfKdd893mk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06 jan. 2024.

VIANA, G. E LIMA, J. F. Capital humano e crescimento econômico. **Interações (Campo Grande)**, v. 11, p. 137-148, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1518-70122010000200003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/srrRFK6rcbj7gwW6GMyVNHK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 ago. 2024.

VIEIRA, R. A. **A influência da organização do trabalho na atividade dos mecânicos de manutenção de redes hidráulicas em uma mineradora.** 2011. 59 p. Monografia - UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ZANELLA, L. C. H. et al. **Metodologia da pesquisa.** 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2011. 134 p.