



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO POLITÉCNICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE COMPUTAÇÃO**



Thamires Ramos dos Santos

**O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes
em barragens de rejeitos**

**Nova Friburgo
2025**



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO POLITÉCNICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE COMPUTAÇÃO**



Thamires Ramos dos Santos

**O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes em barragens
de rejeitos**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Computação, ao Departamento de Modelagem Computacional, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Edgard Poiate Junior.

Nova Friburgo
2025

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO POLITÉCNICO
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Reitora: Gulnar Azevedo e Silva

Vice-reitor: Bruno Rêgo Deusdará Rodrigues

Diretor do Instituto Politécnico: Lucas Venâncio Pires de Carvalho Lima

Coordenador de Curso: Rodrigo Lamblet Mafort

Banca Avaliadora Composta por: Prof. Edgard Poiate Junior. (Orientador)

Prof. Dr. Banca 1

Prof. Dr. Banca 2

Ficha elaborada pelo autor através do
Sistema para Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede Sirius - UERJ

939 ÚltimoSobrenome, Aluno NomeDoMeio.
 Título do Trabalho / Aluno NomeDoMeio
 ÚltimoSobrenome. - 2025.
 20 f.

 Orientador: NomeOrientador NomeDoMeioOrientador
 ÚltimoSobrenomeOrientador.
 Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto
 Politécnico, para obtenção do grau de bacharel em
 Engenharia de Computação (IPRJ).

 1. Assunto 1 - Monografias. 2. Assunto 2 -
 Monografias. 3. Assunto 3 - Monografias. I.
 ÚltimoSobrenomeOrientador, NomeOrientador
 NomeDoMeioOrientador. II. Universidade do Estado do
 Rio de Janeiro. Instituto Politécnico. III. Título.

CDU 004.41

Endereço: UERJ - IPRJ

CEP 28625-570 - Nova Friburgo - RJ - Brasil.

Este trabalho nos termos da legislação que resguarda os direitos autorais é considerado de propriedade da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). É permitida a transcrição parcial de partes do trabalho, ou mencioná-lo, para comentários e citações, desde que sem propósitos comerciais e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Thamires Ramos dos Santos

O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes em barragens de rejeitos

Trabalho de conclusão de curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Computação, ao Departamento de Modelagem Computacional, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovado em XX de XXXXXXXX de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Edgard Poiate Junior.
Instituto Politécnico - UERJ

Prof. Dr. Banca 1
Instituto Politécnico - UERJ

Prof. Dr. Banca 2
Instituto Politécnico - UERJ

Nova Friburgo

2025

DEDICATÓRIA

Opcional. Aqui vai a dedicatória do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aqui vão os agradecimentos.

Opcional. Citação de alguma frase ou texto conhecido.

Aqui vai a autoria da frase ou texto

RESUMO

DOS SANTOS, Thamires Ramos. *O papel da engenharia da computação na prevenção de acidentes em barragens de rejeitos*. 2025. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2025.

A mineração desempenha um papel essencial na economia brasileira, contribuindo para o desenvolvimento regional e nacional, além de gerar empregos e impulsionar o PIB. No entanto, a gestão inadequada dos rejeitos resultantes dessas atividades pode acarretar em graves impactos ambientais e sociais, como demonstrado pelos desastres em Mariana e Brumadinho. Diante desse cenário, torna-se urgente aprimorar os sistemas de segurança e prevenção em barragens de rejeitos. A engenharia da computação oferece soluções inovadoras para enfrentar esse desafio, por meio da implementação de tecnologias avançadas e sistemas de monitoramento sofisticados. Este trabalho investiga a aplicação de sistemas de monitoramento baseados em higrômetros de resistência para prevenção de desastres em barragens de rejeitos de mineração, problema crítico evidenciado pelos incidentes catastróficos ocorridos em Mariana e Brumadinho. A metodologia fundamenta-se na integração de dispositivos Arduino equipados com sensores higrométricos de alta precisão e instrumentação geotécnica avançada, estabelecendo uma rede de monitoramento contínuo para detecção precoce de alterações na umidade do solo que possam comprometer a estabilidade estrutural das barragens. O sistema desenvolvido incorpora uma camada de processamento de dados que combina leituras dos sensores locais com informações meteorológicas obtidas em tempo real através de APIs dos portais CEMADEN e INMET, permitindo correlacionar dados de precipitação acumulada, previsões pluviométricas e saturação do solo. Os resultados preliminares demonstram que a plataforma proposta detecta com antecedência de 72 a 96 horas alterações críticas nos padrões de umidade, possibilitando a emissão automatizada de múltiplos níveis de alertas de segurança para autoridades e população potencialmente afetada. Conclui-se que a solução tecnológica apresentada constitui uma abordagem economicamente viável e tecnicamente robusta para incrementar significativamente a segurança em barragens de rejeitos, contribuindo para operações de mineração mais seguras e sustentáveis. A pesquisa visa contribuir significativamente para a segurança das operações de mineração e para a proteção do meio ambiente e das comunidades afetadas, oferecendo uma abordagem inovadora e tecnologicamente avançada para mitigar os riscos associados às barragens de rejeitos.

Palavras-chave: Barragens de rejeitos; Arduino; Higrômetros; Monitoramento ambiental; Sistemas de alerta; Brumadinho; Acidente ambiental; Risco ambiental.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Thamires Ramos. *The role of computer engineering in preventing tailings dam accidents* 2024.30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2024.

Mining plays an essential role in the Brazilian economy, contributing to regional and national development, as well as generating jobs and boosting GDP. However, inadequate management of the tailings resulting from these activities can lead to serious environmental and social impacts, as demonstrated by the disasters in Mariana and Brumadinho. Given this scenario, there is an urgent need to improve safety and prevention systems for tailings dams. Computer engineering offers innovative solutions to meet this challenge, through the implementation of advanced technologies and sophisticated monitoring systems. This paper investigates the application of monitoring systems based on resistance hygrometers for disaster prevention in mining tailings dams, a critical problem highlighted by the catastrophic incidents in Mariana and Brumadinho. The methodology is based on the integration of Arduino devices equipped with high-precision hygrometric sensors and advanced geotechnical instrumentation, establishing a continuous monitoring network for the early detection of changes in soil moisture that could compromise the structural stability of dams. The system developed incorporates a data processing layer that combines readings from local sensors with meteorological information obtained in real time via APIs from the CEMADEN and INMET portals, making it possible to correlate data on accumulated precipitation, rainfall forecasts and soil saturation. Preliminary results show that the proposed platform detects critical changes in humidity patterns 72 to 96 hours in advance, making it possible to automatically issue multiple levels of safety alerts to authorities and the potentially affected population. It is concluded that the technological solution presented constitutes an economically viable and technically robust approach to significantly increase safety in tailings dams, contributing to safer and more sustainable mining operations. The research aims to make a significant contribution to the safety of mining operations and the protection of the environment and affected communities by offering an innovative and technologically advanced approach to mitigating the risks associated with tailings dams.

Keywords: Tailings dams; Arduino; Hygrometers; Environmental monitoring; Warning systems; Brumadinho; Environmental accident; Environmental risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mineração em Números (2024) – Saldo comercial, impostos e faturamento	22
Figura 2 – Mineração em Números (2024) – Exportação e Importação	23
Figura 3 – Mineração em Números (2024) – Principais substâncias produzidas – Participação no faturamento do setor	23

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPRJ	Instituto Politécnico
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
ANM	Agência Nacional de Mineração
APC	Associação de Produtores de Calcário
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração Mineral
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MME	Ministério de Minas e Energia
PIB	Produto Interno Bruto
RBM	Revista Brasil Mineral
USGS	United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
WPR	World Population Review

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.1	Atividade de Mineração	14
1.1.1	<u>O papel da atividade mineradora na economia</u>	19
1.1.1.1	Percentual do PIB devido à mineração	19
1.1.1.2	Mineração em números	20
1.1.1.3	Geração de empregos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	27
	REFERÊNCIAS	28

INTRODUÇÃO

Os setores da agropecuária e da mineração têm sido pilares fundamentais na história econômica do Brasil, contribuindo para o desenvolvimento tanto no âmbito regional quanto nacional. Em 2021, com as commodities em alta em meio à pandemia, a soma de agro e mineração superou a de manufatura no PIB brasileiro pela primeira vez em décadas e a tendência se manteve em 2022 com os efeitos da guerra da Ucrânia (BBC, 2023).

Sendo assim, com a crescente demanda por recursos minerais essenciais, como argila, calcário e ferro, a mineração não apenas fornece matérias-primas para diversas indústrias, mas também gera empregos e contribui para a economia do Brasil. Com isso, o setor de mineração volta ao foco como uma das atividades econômicas importantes do Brasil, contribuindo significativamente para o PIB nacional e para a geração de empregos (IBRAM, 2020).

No entanto, a atividade mineradora também traz consigo desafios e riscos significativos, especialmente no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos e de rejeitos resultantes dos processos de beneficiamento do minério, devido aos seus impactos ambientais e sociais (IPEA, 2017).

A gestão de rejeitos de mineração é uma questão crítica que requer abordagens inovadoras e tecnologias avançadas para garantir a segurança e a sustentabilidade ambiental das operações (EPA, 2019). Pois a má gestão dos rejeitos pode levar a uma série de consequências adversas, incluindo mudanças ambientais, desvalorização de imóveis e até mesmo desastres como os que ocorreram em Mariana e Brumadinho (IPEA, 2017), que serviram como um chamado de alerta para a necessidade urgente de melhorar os sistemas de segurança e prevenção em barragens de rejeitos.

Nesse contexto, a engenharia da computação oferece uma variedade de soluções inovadoras que podem ser aplicadas para aumentar a segurança e reduzir os riscos associados às barragens de rejeitos. A prevenção de desastres em barragens de rejeitos requer a implementação de tecnologias modernas e sistemas de monitoramento sofisticados para identificar e mitigar os riscos potenciais (MINING; ICMM, 2021).

Objetivo

Este trabalho teve como objetivo utilizar como exemplo um higrômetro de resistência para solo, implementado por meio da plataforma Arduino, de forma a representar as diversas instrumentações geotécnicas como uma ferramenta na detecção precoce de problemas que pudessem comprometer a segurança de uma barragem de rejeito

para gerar alertas de forma a prevenir desastres. O sistema proposto foi desenvolvido utilizando a plataforma open-source Arduino, equipada com sensores higrométricos de alta precisão, proporcionando assim um monitoramento contínuo e de baixo custo das condições de umidade do solo nas estruturas da barragem. A arquitetura do sistema contempla, adicionalmente, um módulo de comunicação para transmissão automática dos dados coletados, bem como a integração com as bases de dados meteorológicos disponibilizadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta integração permite correlacionar os níveis de umidade detectados in loco com parâmetros climatológicos críticos, como precipitação acumulada e previsões pluviométricas para a região monitorada.

Ao integrar tecnologias de engenharia da computação com instrumentação geotécnica é possível desenvolver um sistema de segurança robusto e eficiente que possa ajudar a prevenir desastres semelhantes aos de Mariana e Brumadinho. O sistema implementado possibilita a emissão automatizada de alertas graduais de segurança para autoridades competentes e população potencialmente afetada, estabelecendo diferentes níveis de risco baseados na análise integrada dos dados higrométricos e meteorológicos. Esta pesquisa tem o potencial de contribuir significativamente para a segurança das operações de mineração e para a proteção do meio ambiente e das comunidades afetadas por essas atividades, oferecendo uma solução tecnologicamente acessível e metodologicamente consistente para o monitoramento preventivo em barragens de rejeitos.

Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a atividade de mineração, o PIB nacional, a geração de empregos e a produção de resíduos. Ainda nesse capítulo foi abordado os tipos de barragens de rejeitos, as legislações vigentes, um breve resumo sobre os acidentes de Mariana e Brumadinho e os sistemas de alerta existentes. No capítulo 2 foi descrito o objetivo geral e os objetivos específicos relacionando as medições com a análise de dados e tomada de decisões, assim como a notificação de sistemas de alerta e as APIs. No capítulo 3 foi realizada uma análise dos materiais e métodos, fazendo uso de diagramas, componentes do Arduino e obtenção de dados externos. No capítulo 4 foi apresentado os resultados e conclusões com base nos materiais e métodos utilizados e no capítulo 5 foi apresentada a conclusão final do trabalho.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na América Latina, historicamente marcada por colônias de exploração, o extrativismo mineral teve início para atender aos interesses dos países colonizadores, continuando ao longo dos anos. No final da década de 1990, com a expansão da globalização e o aumento do consumo de metais, a indústria mineral começou a se expandir em ritmo acelerado, tanto em termos de volumes extraídos quanto na abertura de novas minas (FERNANDES; ARAUJO, 2016).

Em 2023, o Brasil estava entre um dos principais produtores de minerais do mundo, ocupando a nona posição no ranking dos 20 principais países em termos de valor na produção de minerais metálicos e carvão (WPR, 2024). Este setor possui significativa importância na economia nacional, gerando emprego e desempenhando um papel crucial nas exportações do país, com uma alta comercialização de commodities (RBM, 2024).

A atividade mineral apresenta potencial significativo para incrementar a arrecadação tributária e fomentar o crescimento econômico, além de proporcionar melhorias na qualidade de vida da população e promover o desenvolvimento regional, conforme argumentam CARVALHO et al. (2012, p. 1), o setor mineral possui relevância estratégica por sua presença em diversos segmentos econômicos, “produzindo bens primários, que irão suprir as mais variadas atividades econômicas, desde a agricultura até indústrias de tecnologia de ponta”. Os autores ressaltam ainda, que economias que possuem como base a extração dos recursos minerais têm a mineração como fator fundamental.

1.1 Atividade de Mineração

A história da mineração no Brasil está intrinsecamente ligada a outras regiões do mundo, contribuindo conjuntamente para o desenvolvimento do sistema econômico amplamente conhecido como capitalismo (DOMINGUES, 2022, p. 5).

Durante séculos, a exploração de recursos minerais no continente latino-americano constituiu uma base fundamental da economia do Antigo Sistema Colonial, tanto para Portugal quanto para a Espanha. A região mineradora de Potosí, atual Bolívia, por exemplo, destacou-se como o principal centro de extração de prata na América Latina destinada à Europa durante os séculos XVI e XVII. Essa região “forneceu metade de toda a prata que saiu da América com destino à Espanha ao longo do período colonial” (ARÁOZ, 2020, p. 122). No território controlado pelo Estado português, segundo FIGUEIRÔA (1997, p. 38), cinquenta por cento da produção mundial de ouro nos séculos XV e XVIII proveio dessa área.

O início da exploração de minérios no continente latino-americano acompanhou as políticas de desenvolvimento das nações europeias, fornecendo os recursos necessários para a ocorrência da 'Revolução Industrial'. A própria história da escravidão moderna e dos povos indígenas está interligada a esse processo. Em Potosí, por exemplo, utilizava-se a exploração da mão de obra indígena por meio do sistema conhecido como 'mita'. Já nas minas da região de Minas Gerais, a exploração era realizada com trabalho escravo oriundo das sociedades africanas (DOMINGUES, 2022, p. 5).

A mineração no Brasil deu início no século XVII, durante o período colonial, quase dois séculos após a chegada dos portugueses em território sul-americano. A demora na descoberta de jazidas minerais significativas sugere que os interesses econômicos portugueses estavam primariamente voltados para a exploração de recursos como madeira (especialmente pau-brasil), cultivos como o açúcar e o tabaco, bem como para o uso de mão de obra escrava. Estes recursos foram os principais impulsionadores da economia colonial brasileira até que a descoberta de jazidas minerais, como ouro e diamantes, nas regiões de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, alterou significativamente o foco econômico da colônia, sendo o primeiro grande *boom* mineral, levando o Brasil a se tornar o principal produtor mundial de ouro durante os séculos XVIII e XIX (BARRETO et al., 2001, p. 5); com os resultados da exploração dessa região, a coroa portuguesa superou o volume explorado pela Espanha, marcando o período conhecido pela historiografia como o 'Ciclo do Ouro' (DOMINGUES, 2022, p. 6).

A mineração em Minas Gerais, assim como em muitas outras regiões da América Latina, desempenhou um papel fundamental na organização e expansão do sistema financeiro e comercial do capitalismo na Europa. Dessa forma, os recursos minerais dessa parte do continente americano foram componentes essenciais para a "expansão do socio metabolismo urbano-industrial europeu" (ARÁOZ, 2020, p. 181).

Após quase um século de exploração intensiva, o primeiro ciclo de ouro no Brasil começou a declinar devido ao esgotamento das jazidas superficiais. Segundo FIGUEIRÔA (1997, p. 38), a extração do ouro de 1750 para 1785 foi de uma média de mais de quinze (15) toneladas por ano para menos de cinco (5) toneladas. Diante dessa realidade, os esforços foram redirecionados para criação de condições favoráveis para a instalação de grandes empresas estrangeiras, principalmente inglesas, no país. Assim, durante o século XIX, teve início, embora com pouco sucesso inicial, um novo ciclo de busca por jazidas primárias de ouro, marcando uma transição na indústria mineral brasileira e estabelecendo as bases para futuras explorações e desenvolvimento no setor.

A mineração desempenha um papel fundamental no desenvolvimento do sistema capitalista, sendo um eixo central na prosperidade da tecnologia industrial. No Brasil, esse desenvolvimento adquire contornos significativos, no século XX, ganhando ímpeto

após o término da Segunda Guerra Mundial, durante o governo de Getúlio Vargas na década de 1930, caracterizado pela intervenção do Estado nos setores da economia. Segundo BARRETO et al., as descobertas mais marcantes do século XX foram:

o manganês da Serra do Navio (anos 40); o petróleo, que culminou com a criação da Petrobras (anos 50); as jazidas ferríferas do vale do Paraopeba (anos 50); as minas do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais (meados dos anos 50, intensificando-se nos anos 60); o carvão no Rio Grande do Sul e no Paraná (anos 50), com grande incremento a partir dos anos 60; as minas de cobre do Rio Grande do Sul (anos 60), Pará e Goiás, nas décadas posteriores; as minas de chumbo na Bahia (anos 60), e em Minas Gerais mais recentemente; o nióbio de Araxá em Minas Gerais (anos 60); o caulim na Amazônia; fosfato e zinco em Minas Gerais; o megaprojeto Carajás no Pará; o amianto da mina Cana Brava, em Goiás; a bauxita de Minas Gerais e Pará; assim como a descoberta da província estanífera de Rondônia, todos na década de 1970 (BARRETO et al., 2001, p. 6).

Nesse contexto político e econômico, desenvolvem-se as indústrias de base no Brasil, responsáveis pela transformação de matéria-prima bruta, como a fundição de ferro, alumínio e cobre, além da extração e fabricação de cimento, entre outros processos industriais (DOMINGUES, 2022, p. 7).

A partir dessas circunstâncias históricas na década de 1930, o Estado brasileiro criou códigos legislativos para intervir jurídica e economicamente nas relações entre a indústria, o Estado e o meio natural. Exemplos dessas intervenções incluem o Decreto Federal nº 24.642, de 10 de julho de 1934, que regulamenta o uso das jazidas na mineração, o Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934, que trata da utilização das águas e continua em vigor até os dias atuais, e o Código Florestal de 1934, estabelecido pelo Decreto Federal nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934.

A demanda do Estado pela atividade mineradora, visando o desenvolvimento da industrialização no contexto mencionado, resultou na concessão de concessões legais à iniciativa privada para explorar as jazidas, além da criação de grandes empresas mineradoras estatais. Em 1941, foi criada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em Volta Redonda, que se destacou na exploração das jazidas de minério de ferro, entre outras atividades. Em 1942, o Estado estabeleceu outra grande mineradora, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), ambas constituídas como empresas estatais, sendo fornecedoras de aço e desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento da indústria brasileira (DOMINGUES, 2022, p. 8).

No Brasil, o segundo ciclo significativo na exploração mineral do Brasil, notadamente a partir da década de 1950, e alcançando sua efetiva consolidação no final dos anos 1960. De acordo com FONSECA (2012, p. 51-56), esse período foi marcado pela

defesa da industrialização, pelo intervencionismo pró-crescimento e pelo nacionalismo; durante essa época, houve um notável desenvolvimento e expansão do setor mineral brasileiro, resultando na construção de grande parte da infraestrutura mineral atual (BARRETO et al., 2001, p. 5).

Entre os anos 1946 e 1964, a Terceira República brasileira teve início com uma política liberal, seguida por um breve período nacionalista durante o retorno do presidente Getúlio Vargas (1951-1954), quando foram instituídos o monopólio estatal do petróleo e a criação da empresa Petrobras (VILLAS-BÔAS, 1995).

De acordo com DOMINGUES (2022, p. 8), este desenvolvimento da atividade mineradora, impulsionado pelo Estado, seguiu-se durante o governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961), que propôs metas para realizar um crescimento industrial acelerado no país. O 'Plano de Metas' foi um programa que visava industrializar e modernizar o Brasil, estabelecendo objetivos específicos para diversos setores da economia, sendo lembrado pela expressão 'Cinquenta anos em cinco'. Para atingir as metas estabelecidas, o governo implementou políticas de incentivo à iniciativa privada, promovendo um ambiente favorável aos negócios para os empresários.

Após o governo de Juscelino Kubitschek, o Brasil enfrentou três anos de intensa instabilidade política, marcados pela renúncia de um presidente eleito e pela deposição de outro, culminando na ascensão dos militares e na instauração da Ditadura. Esse período marcou o fim de um ciclo.

Naquele tempo, o setor de mineração já possuía uma escala média, primariamente focada em atender ao mercado interno, o que mudaria substancialmente e rapidamente durante o período da Ditadura. Além da estrutura produtiva de ferro e aço, estabelecida para suprir a alta demanda interna necessária para a infraestrutura, destacavam-se os significativos volumes produzidos pelo setor de não metálicos. Estes incluíam materiais de uso direto e local, como areia, brita e argila, essenciais para a construção de residências, cidades e grandes obras. A extração desses materiais era realizada por milhares de pequenas e médias empresas utilizando tecnologias muitas vezes antiquadas.

Em segundo plano, encontravam-se os não metálicos conhecidos como Rochas e Minerais Industriais, como caulim, talco e magnesita, empregados em diversos setores da indústria de transformação. Além disso, havia exportações significativas de ouro e pedras preciosas (VILLAS-BÔAS, 1995).

Durante o período da ditadura militar (1964-1985), os setores de exploração da natureza, como a mineração, foram intensamente incentivados pelo governo. O novo regime, que se estendeu por 21 anos, adotou uma política nacionalista e desenvolvimentista, caracterizada por uma estreita colaboração com o capital estrangeiro. Vários grandes empreendimentos multinacionais foram rapidamente estabelecidos no país. Uma década depois, o capital estrangeiro já era responsável por 44% de toda a pro-

dução de minerais metálicos extraídos no Brasil (VILLAS-BÔAS, 1995). Esse período é historicamente denominado “Milagre Econômico”, em que o Brasil alcançou taxas elevadas de crescimento econômico, superiores às de outros países latino-americanos. Contudo, sob a ideologia central da Ditadura, havia a premissa de que o crescimento econômico deveria ocorrer inicialmente antes de qualquer redistribuição de renda. No entanto, esta segunda fase nunca se concretizou, resultando em uma parcela significativa da população brasileira vivendo abaixo da linha da pobreza (VILLAS-BÔAS, 1995).

Na década de 1970, a política de crescimento acelerado, baseada na ideia de recursos inesgotáveis, resultou em significativos investimentos no setor energético brasileiro. Isso incluiu a construção das hidrelétricas de Itaipu e Tucuruí para energia hidrelétrica, além das usinas nucleares de Angra dos Reis para energia nuclear. Paralelamente, o setor mineral brasileiro tornou-se cada vez mais globalizado e orientado para atender à demanda externa. Nesse período, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) consolidou-se como um dos principais produtores e exportadores mundiais de minério de ferro. Destacaram-se também os metais não ferrosos como alumínio, cobre, zinco, entre outros (VILLAS-BÔAS, 1995) apud (FERNANDES; ARAUJO, 2016).

A partir de 1968, a mineração no Brasil registrou taxas anuais de crescimento superior a 10%. Além disso, foram desenvolvidos diversos projetos com participação de capital estrangeiro, especialmente na Amazônia, onde foram estabelecidos grandes empreendimentos de mineração, como o minério de ferro em Carajás (descoberto em 1967), a bauxita no Vale do Trombetas no Pará, a cassiterita em Pitinga no Amazonas, e o manganês na Serra do Navio no Amapá (LINS et al., 2000) apud (FERNANDES; ARAUJO, 2016).

No início do século atual, para Maristela Svampa, os governos progressistas na América Latina, apostaram na superação econômica por meio da exportação de commodities. Segundo a autora, esses governos historicamente adotaram a exportação de recursos naturais como modelo econômico para superar o atraso econômico. Nesse contexto, esses governos vivenciaram o “Boom das commodities”, um período de elevação nos preços dos recursos naturais (SVAMPA, 2019) apud (DOMINGUES, 2022, p. 144).

Atualmente, o Brasil mantém-se como um dos principais produtores e exportadores de minérios do mundo: cerca de 80% de tudo o que produz é exportado, gerando expressivo montante de divisas. Juntamente com o agronegócio, a mineração constitui-se um dos setores estratégicos para o equilíbrio da balança comercial brasileira. Apesar da diversificação crescente, o minério de ferro ainda representa aproximadamente 60% das exportações do setor mineral brasileiro (ANM, 2023).

Hoje, segundo o IBRAM (2024), a indústria mineral do Brasil se destaca por:

- Em 2024, o setor mineral registrou alta de 9,1% no faturamento em relação a

2023, totalizando R\$ 270,8 bilhões (excluindo-se petróleo e gás);

- As exportações minerais brasileiras alcançaram US\$ 43,43 bilhões, um aumento de 0,9%;
- As importações minerais caíram 23,1% em US\$ (totalizando US\$ 8,5 bilhões) e 1,6% em toneladas (totalização 41,2 milhões de toneladas);
- O saldo comercial mineral, de US\$ 34,9 bilhões equivale a 47% do saldo comercial brasileiro, que foi de US\$ 74,5 bilhões;
- São mais de 221 mil empregos diretos no setor, desse total, foram geradas 8.703 novas vagas, no período de Janeiro e Novembro de 2024;
- As principais substâncias produzidas, com participação no faturamento do setor, são: Minério de ferro (59,35%), Minério de ouro (8,81%), minério de cobre (7,49%), bauxita (2,11%), água mineral (2,81%), granito (2,81%), calcário dolomítico (3,36%), areia (1,36%), fosfato (1,41%), minério de níquel (0,83%), minério de manganês (0,18%), e minério de nióbio (0,44%), de acordo com os dados do IBRAM, 2024.
- Os principais Estados produtores em 2024, de acordo com o IBRAM (2024), em bilhões R\$, e a participação dos mesmos no faturamento, respectivamente são: MG (R\$ 108,3; 40%), PA (R\$ 97,6; 36,1%), SP (R\$ 10,3; 3,8%), BA (R\$ 10,1; 3,7%), GO (R\$ 9,6; 3,6%), MT (R\$ 7,5; 2,8%), e outros (R\$ 27,4; 10,1%).

1.1.1 O papel da atividade mineradora na economia

1.1.1.1 Percentual do PIB devido à mineração

A relevância de um setor produtivo na economia de um país é geralmente medida por sua contribuição ao produto interno bruto (PIB) (LEÃO; RABELO, 2023). Entre 2000 e 2019, a participação da cadeia produtiva da economia mineral variou entre 2,5% e 4% do PIB brasileiro, com oscilações entre R\$ 150 bilhões e R\$ 340 bilhões, em valores ajustados para 2021. Essas variações foram influenciadas por duas crises econômicas nacionais (2009 e 2015/2016) e pelas flutuações internacionais dos preços das commodities minerais (IPEA, 2023); estes dados são frutos do estudo “A extensão da cadeia produtiva da economia mineral no PIB brasileiro”, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e do Ministério de Minas e Energia (MME), lançado em Dezembro/2023, em que destaca que a metodologia utilizada para medir a cadeia produtiva da mineração foi aprimorada, permitindo uma avaliação mais precisa do impacto econômico do setor (LEÃO; RABELO, 2023).

Em 2021, o faturamento do setor de mineração no Brasil alcançou R\$ 339 bilhões, um aumento de 62% em relação a 2020. Esse valor representa aproximadamente 3,1% do PIB brasileiro, com a indústria extrativa mineral contribuindo com 1,2% e siderurgia com 1,9% do PIB (APC, 2024).

O PIB do Brasil em 2023 foi de R\$ 10,9 trilhões, representando um crescimento de 2,9% em relação ao ano anterior. Esse crescimento foi impulsionado por diversos setores da economia, com destaque para as indústrias extrativas, que cresceram 8,7%, principalmente devido ao aumento na extração de petróleo, gás natural e minério de ferro, refletindo a importância da mineração no desempenho econômico do Brasil (IBGE, 2024).

Em 2024, PIB fecha com crescimento de 3,4%, totalizando R\$ 11,7 trilhões frente a 2023; maior taxa anual do PIB desde 2021. O resultado do Valor Adicionado frente ao ano anterior refletiu o desempenho das três atividades: Agropecuária (-3,2%), Indústria (3,3%) e Serviços (3,7%). Em relação ao 4º tri de 2023, PIB cresce 3,6%, entre as atividades, a Indústria avançou 2,5% no trimestre; as Indústrias de Transformação registraram crescimento (5,3%), por outro lado, as Indústrias Extrativas (-3,6%) obtiveram queda, puxadas pela retração na extração tanto de petróleo e gás quanto de minério de ferro (IBGE, 2025).

Em dados gerais, a mineração, incluindo a siderurgia, representa aproximadamente 3% do PIB brasileiro. Mais especificamente, a mineração isoladamente contribui com cerca de 1,2% e a siderurgia com 1,9%, totalizando 3,1%. Historicamente, a mineração tem contribuído com cerca de 2% a 4% do PIB brasileiro, essa participação pode variar de ano para ano, dependendo de fatores como a demanda global por minerais, os preços das commodities e os níveis de produção (APC, 2024).

1.1.1.2 Mineração em números

Segundo dados da Mineração em Números (IBRAM, 2023) apud (FONSECA, 2024), o setor apresentou os resultados abaixo, e que se encontram representados nas Figuras 1, 2 e 3:

- O faturamento da indústria da mineração brasileira se manteve estável em 2023, em relação ao ano anterior, passando de R\$ 250 bilhões para R\$ 248,2 bilhões, uma redução de 0,7%;
- Minas Gerais aparece com a maior participação no faturamento: 41,7% em 2023 – passando de R\$ 100,5 bilhões em 2022 para R\$ 103,6 bilhões, (crescimento de 3%). O Pará apresentou redução de 7,6%, passando de R\$ 92,4 bilhões para R\$ 85,4 bilhões;
- Entre as principais substâncias produzidas na participação do faturamento, destacam-se, minério de ferro e ouro registraram, 59,6% e 8,5%, respectivamente. Cobre,

calcário, granito, nióbio e bauxita registraram 6,5%, 3,8%, 2,6%, 0,5% e 2,3% respectivamente;

- As exportações minerais totais, tiveram alta de 3,1% em relação a 2022, alcançando quase US\$ 43 bilhões, enquanto as importações minerais tiveram queda de 34,2% (US\$ 11 bilhões);
- O saldo comercial do setor, portanto, se situou em US\$ 31,95 bilhões, 28,3% a mais do que em 2022 – isso significa que o saldo mineral corresponde a 32% do saldo total da balança comercial de 2023, que foi de US\$ 98,84 bilhões;
- O minério de ferro respondeu por 71% dos minérios exportados em 2023, passando de 344,1 milhões de toneladas em 2022 para 378,5 milhões de toneladas em 2023, um aumento de 10%. As exportações do minério de ferro somaram US\$ 30,5 bilhões em 2023, registrando um aumento de 5,7% frente aos US\$ 28,9 bilhões de 2022;
- A coleta de impostos e encargos seguiu a tendência do volume de vendas em 2023. Houve uma diminuição de 0,7%, com o montante passando de R\$ 86,2 bilhões em 2022 para R\$ 85,6 bilhões. A receita proveniente da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), que é o royalty do setor mineral, manteve-se praticamente constante, reduzindo de R\$ 7 bilhões para R\$ 6,9 bilhões de um ano para o outro;
- Em termos de emprego, com 9 mil vagas a mais em 2023, o setor mineral manteve mais de 210 mil postos de trabalho diretos, conforme levantamento realizado em novembro de 2023 pelo Novo Caged, órgão vinculado ao Ministério do Trabalho e Emprego;
- Destaca-se, ainda, o aumento nos aportes financeiros planejados pelas empresas mineradoras no país. Inicialmente projetados em US\$ 50 bilhões para o período de 2023 a 2027, os investimentos agora estão estimados em até US\$ 64,5 bilhões para o período de 2024 a 2028.
- A sustentabilidade operacional está em foco nos investimentos. Até 2028, a indústria da mineração planeja aumentar em 62,7% os recursos destinados a iniciativas socioambientais. Esses investimentos constituem a segunda maior proporção dos recursos setoriais previstos até 2028, correspondendo a 16,6% do total, equivalente a US\$ 10,7 bilhões, comparados aos US\$ 6,6 bilhões projetados para o período de 2023 a 2027.

1.1.1.3 Geração de empregos

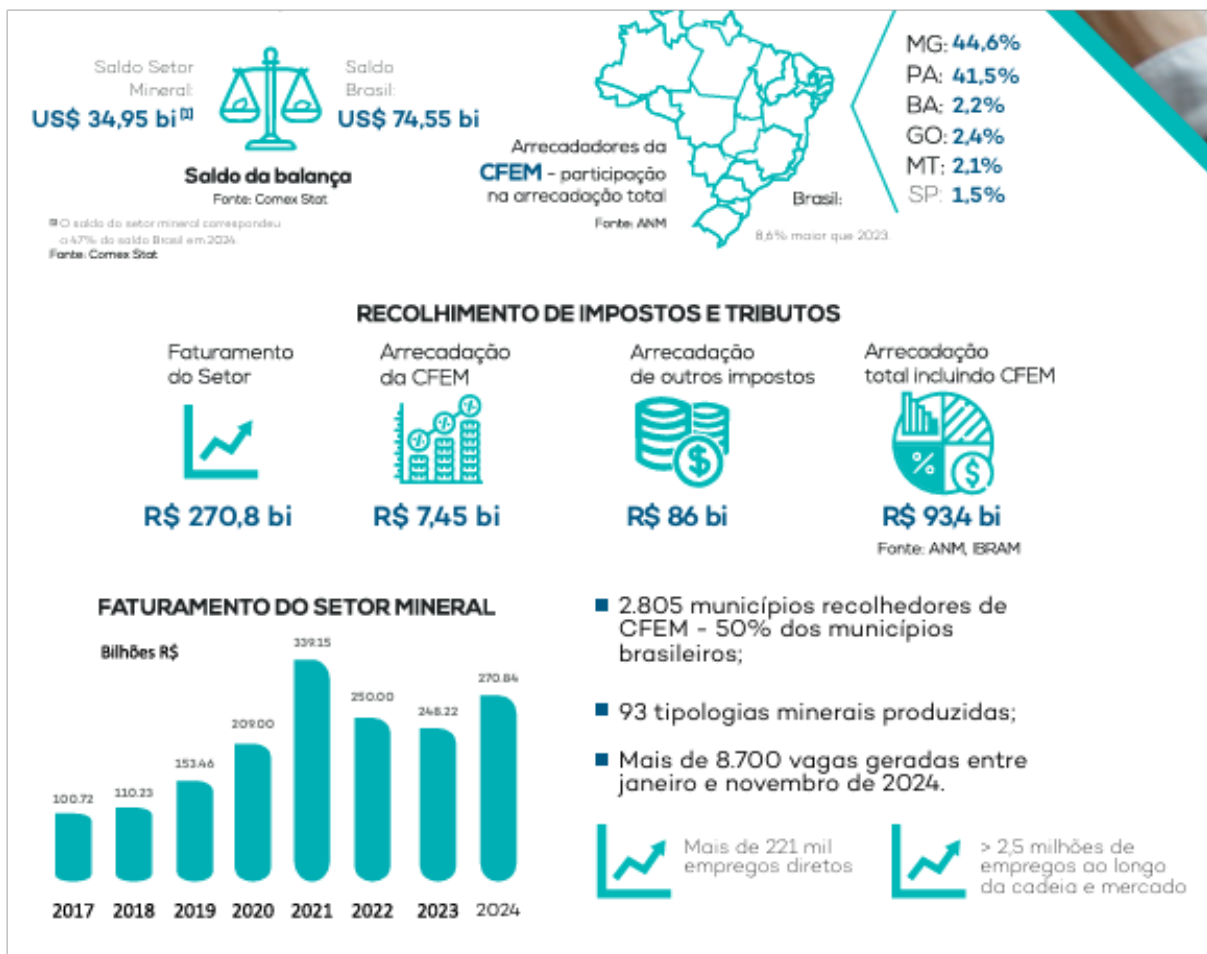


Figura 1 – Mineração em Números (2024) – Saldo comercial, impostos e faturamento

Fonte: Mineração em Números (IBRAM, 2024)

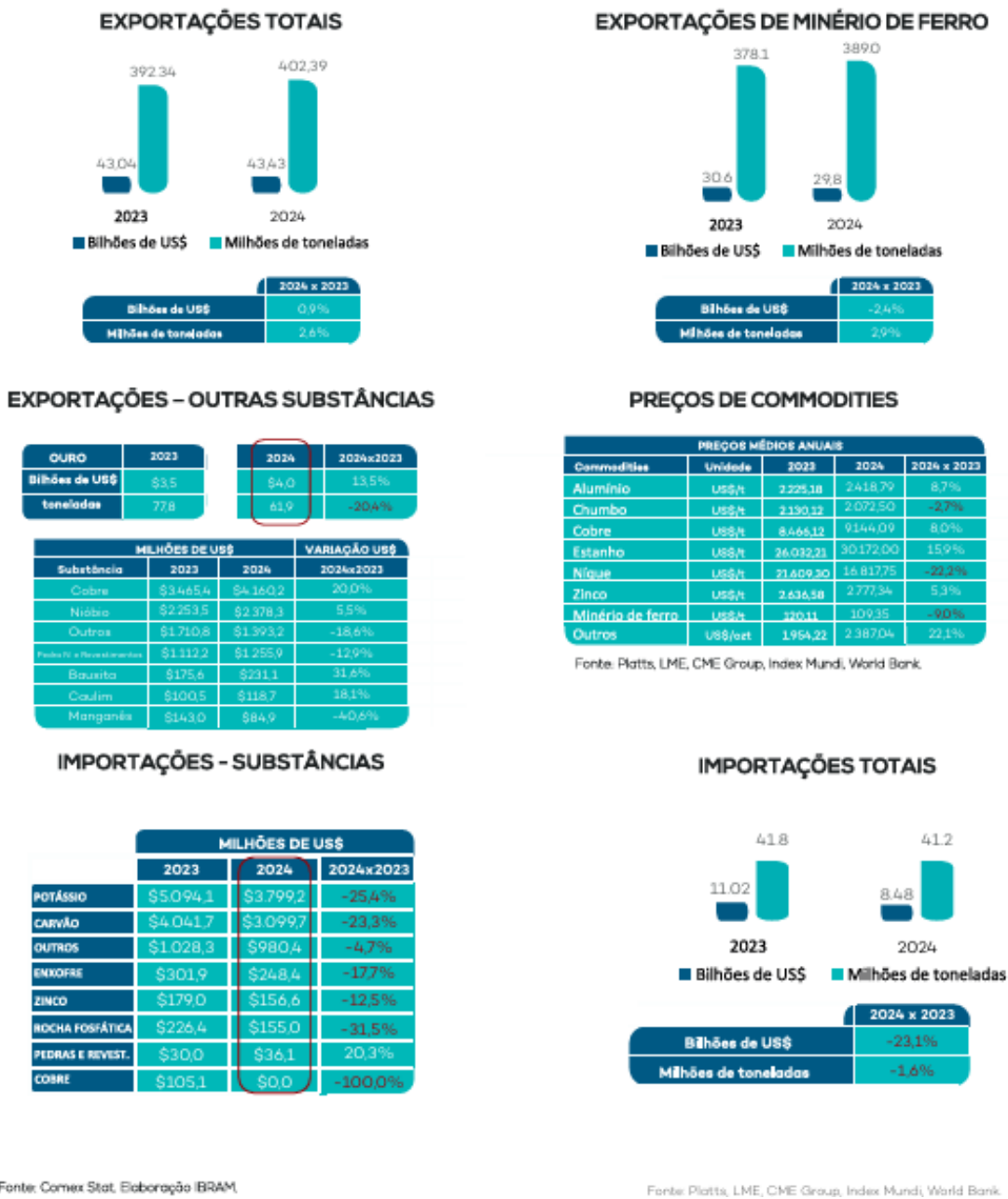


Figura 2 – Mineração em Números (2024) – Exportação e Importação

Fonte: Mineração em Números (IBRAM, 2024)



Figura 3 – Mineração em Números (2024) – Principais substâncias produzidas – Participação no faturamento do setor

Fonte: Mineração em Números (IBRAM, 2024)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Breve descrição do que será apresentado no capítulo.

< Apresentar os conceitos estudados para desenvolver o trabalho >

3 MATERIAL E MÉTODOS

< O desenvolvimento é a parte nuclear do trabalho, por vezes denominada corpo do trabalho. Nessa parte, discute-se o problema apresentado na introdução, bem como aspectos da metodologia utilizada para a realização do estudo. De acordo com as características do problema, das técnicas utilizadas e do estilo do autor, pode-se dividir o desenvolvimento em partes ou capítulos, e cada capítulo em subtítulos ou itens, sem que se perca a unidade do trabalho. >

Este capítulo aborda as etapas do desenvolvimento do projeto, os materiais utilizados e a metodologia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Aqui vai a conclusão do trabalho, recapitulando o que foi desenvolvido e os benefícios promovidos pelo que foi desenvolvido no trabalho.

Em seguida, falar sobre possíveis trabalhos futuros ou continuações do trabalho.

< A conclusão proporciona um resumo sintético, mas completo, da argumentação, das provas consignadas no desenvolvimento do trabalho, como decorrência natural do que já foi demonstrado. Essa parte deve reunir as características do que chamamos de síntese interpretativa dos argumentos ou dos elementos contidos no desenvolvimento do trabalho. >

 < Mais detalhes sobre as regras de construção de uma tese, ver o documento: roteiro_uerj_web.pdf >

REFERÊNCIAS

- ANM, A. N. de M. *Informe Mineral - 3º Trimestre de 2023*. [S.l.], 2023. 1–16 p. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe_03tri2023.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.
- APC, A. C. *Indústria de mineração no Brasil*. 2024. Disponível em: <https://apc.com.br/industria/industria-de-mineracao-no-brasil/>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- ARÁOZ, M. H. *Mineração, genealogia do desastre: O extrativismo na América como origem da modernidade*. São Paulo: Elefante, 2020.
- BARRETO, M. L. et al. *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. 1. ed. São Paulo: Editora Maria Laura Barreto, 2001. 215 p. Disponível em: https://livroaberto.ibict.br/bitstream/123456789/922/1/mineracao_desenvolvimento_sustentavel.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.
- BBC, B. N. B. *Como agro e mineração superaram a manufatura no PIB brasileiro pela primeira vez em décadas*. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cxr0v1vqdgqo>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- CARVALHO, C. G. et al. A dependência da arrecadação do município de ouro preto do setor mineral. *Revista Escola de Minas*, SciELO Brasil, v. 65, n. 3, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/JY6LcTRRJy9mhK3k5Ysgqvc/>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- DOMINGUES, G. F. História da mineração no território brasileiro: uma análise dos tratados políticos que legislam a atividade mineradora (1934-1967). *Revista Ensaios de História*, v. 23, n. 1, 2022. Disponível em: <https://periodicos.franca.unesp.br/index.php/ensaiosdehistoria/article/view/3881/3261>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- EPA, E. P. A. *Management of Mining Waste: Technical Guidelines*. Washington, DC, 2019.
- FERNANDES, F. R. C.; ARAUJO, E. R. *Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais*. CETEM/MCTI, 2016. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos_ambientais_cap.2%20p65.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.
- FIGUEIRÔA, S. *As ciências geológicas no Brasil: Uma história social e institucional, 1875-1934*. São Paulo: HUCITEC, 1997.
- FONSECA, E. Os resultados da mineração no ano de 2023 conforme dados do ibram. *Synergia Editora*, feb 2024. Disponível em: <https://synergiaeditora.com.br/os-resultados-da-mineracao-no-ano-de-2023-conforme-dados-do-ibram/>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- FONSECA, P. C. D. Do progresso ao desenvolvimento no brasil. In: BASTOS, P. P. Z.; FONSECA, P. C. D. (Ed.). *A era Vargas: Desenvolvimento, economia e sociedade*. São Paulo: Editora Unesp, 2012. p. 51–68. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ecos/a/5NrXd8XXCZhtFshHQnzDNqp/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

IBGE, I. B. de Geografia e E. *PIB cresce 2,9% em 2023 e fecha o ano em R\$ 10,9 trilhões*. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39303-pib-cresce-2-9-em-2023-e-fecha-o-ano-em-r-10-9-trilhoes>. Acesso em: 1 jul. 2024.

IBGE, I. B. de Geografia e E. *PIB cresce 3,4% em 2024 e fecha o ano em R\$ 11,7 trilhões*. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42774-pib-cresce-3-4-em-2024-e-fecha-o-ano-em-r-11-7-trilhoes>. Acesso em: 27 abr. 2025.

IBRAM, I. B. de M. *Relatório Anual de Atividades: Mineração Brasileira*. 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 20 abr. 2025.

IBRAM, I. B. de M. *Coletiva de Imprensa: Resultados 1S23*. Brasília, 2023. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2023/07/20230718_Coletiva-de-Imprensa-Resultados-1S23_rev02.pdf. Acesso em: 1 jul. 2024.

IBRAM, I. B. de M. *Dados do setor mineral em 2024*. Brasília, 2024. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/02/DADOS_Setor-Mineral_2024_5FEV2025.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

IPEA. *Ipea e MME lançam estudo sobre a extensão da cadeia produtiva da mineração no PIB brasileiro*. 2023. Comunicação. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/14835-ipea-e-mme-lancam-estudo-sobre-a-extensao-da-cadeia-produtiva-da-mineracao-no-pib-b>. Acesso em: 12 jul. 2024.

IPEA, I. de P. E. A. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRU)*. [S.l.], 2017. Acesso em: 08 mai. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7916>.

LEÃO, R.; RABELO, R. *A Extensão da Cadeia Produtiva da Economia Mineral no PIB Brasileiro - Sumário Executivo*. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12702/1/TD_2950_web.pdf. Acesso em: 27 abr. 2025.

LINS, F. A. d. F.; LOUREIRO, F. E. d. V. L.; ALBUQUERQUE, G. d. A. S. C. *Brasil 500 anos. A construção do Brasil e da América Latina pela Mineração*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2000.

MINING, I. C. on; ICMM, M. *Global Industry Standard on Tailings Management*. [S.l.], 2021. Acesso em: 20 abr. 2025. Disponível em: <https://www.icmm.com/en-gb/our-work/environmental-resilience/tailings>.

RBM, R. B. M. *Mineração - Metalurgia - Siderurgia*. São Paulo: [s.n.], 2024. Revista Brasil Mineral. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/436/Revista%20Brasil%20Mineral%20-%20436.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SVAMPA, M. *As fronteiras do neoextrativismo na América Latina: Conflitos socioambientais, giro ecoterritorial e novas dependências*. São Paulo: Elefante, 2019.

VILLAS-BÔAS, A. L. *Mineração e Desenvolvimento Econômico: A questão nacional nas estratégias de desenvolvimento do setor mineral (1930-1964)*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 1995. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/278>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WPR, W. P. R. *Mineral Production by Country 2024*. 2024. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/mineral-production-by-country>. Acesso em: 16 jun. 2024.