



SUSTENTABILIDADE NO ÂMBITO DA MINERAÇÃO RUMO À INDÚSTRIA 4.0

SUSTENTABILIDADE NO ÂMBITO DA MINERAÇÃO

Esther Vitoria de Matos Lages¹, Matheus Alvim Galbiatti², Arthur Dias Simões Abreu³,
Gabriella Meireles Ribeiro e Souza⁴

¹UFMG/DEMIN/Escola de Engenharia, esthermlages@ufmg.br

²UFMG/DELT/Escola de Engenharia, mgalbiatti@ufmg.br

³UFMG/DEMEC/Escola de Engenharia, arthurdsa0@gmail.com

⁴UFMG/Gestão de Serviços de Saúde, gabriellameireles.res@live.com

Resumo:

O trabalho em questão tem como objetivo analisar alguns dos impactos ambientais causados pela mineração sob a perspectiva da sustentabilidade. Dessa forma, abordamos métodos já utilizados pela indústria mineradora e metodologias inovadoras quanto à forma de conseguir um modelo de produção sustentável, em ambos os casos apresentando análises técnicas que contribuem para um melhor entendimento dos processos. A proposta é de suma importância atualmente, dado o crescente foco político e social para a economia circular e para a redução de gases poluentes na atmosfera.

Palavras-chave: sustentabilidade; economia circular; mineração, avanços tecnológicos.

1. Introdução

A mineração sustentável é uma resposta necessária às crescentes preocupações com as consequências negativas da exploração de recursos minerais. A exploração descontrolada, muitas vezes, resultou em danos ambientais significativos, como a degradação do solo, a poluição da água e a perda da biodiversidade. Além disso, comunidades locais frequentemente enfrentaram impactos socioeconômicos adversos, como o deslocamento forçado, a falta de acesso a recursos naturais essenciais e a degradação de sua qualidade de vida.

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:





Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2023.2 - Liberdade e Cidadania

Universidade, EaD e Software Livre

A busca pela mineração sustentável envolve a adoção de práticas mais responsáveis e inovadoras. Isso inclui o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes, a implementação de estratégias de recuperação de áreas mineradas, a gestão responsável de resíduos e a redução do consumo de água e energia. Além disso, a mineração sustentável promove a transparência nas operações, o respeito aos direitos das comunidades afetadas e a distribuição justa dos benefícios econômicos gerados pela indústria.

Essa abordagem não se limita apenas a questões ambientais e sociais, mas também está alinhada com as metas globais de combate às mudanças climáticas, já que a mineração desempenha um papel fundamental na produção de materiais essenciais para tecnologias de energia limpa, como baterias para veículos elétricos e células solares.

A mineração sustentável representa, assim, uma visão de longo prazo que visa equilibrar o suprimento de recursos minerais necessários para o crescimento econômico com a proteção do meio ambiente e a promoção do bem-estar humano. À medida que o mundo enfrenta desafios cada vez mais complexos relacionados à sustentabilidade, a adoção de práticas de mineração responsáveis se torna imperativa para garantir um futuro mais equitativo e ambientalmente saudável.

2. Inovação e avanços tecnológicos

A propagação de novas tecnologias está causando mudanças significativas nos setores de mineração e metalurgia, que tradicionalmente não eram tão avançados em termos tecnológicos. Atualmente, o uso de tecnologias como análise de dados em larga escala, internet das coisas, impressão 3D e novos materiais está impulsionando esforços para inovar e desenvolver processos de produção mais eficientes. Isso está alinhado com os conceitos de “indústria 4.0” e “manufatura inteligente”, que se baseiam na digitalização e interconexão nas cadeias produtivas. A ampla aplicação das tecnologias da informação e comunicação (TICs) busca criar mecanismos para

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:





Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2023.2 - Liberdade e Cidadania
Universidade, EaD e Software Livre

controlar integradamente processos, parâmetros e insumos ao longo das etapas de produção. A pesquisa em manufatura avançada concentra-se em áreas como sensores, automação, simulação tridimensional e plataformas digitais, oferecendo oportunidades para aumentar a produtividade e a eficiência nos setores de mineração e metalurgia, além de reduzir riscos e impactos socioambientais.

A agenda da mineração busca soluções para reduzir o movimento de material na mina e efluentes não utilizados, bem como minimizar o consumo de água e mitigar os riscos associados ao beneficiamento e deposição de rejeitos, além de abordar os impactos ambientais e promover benefícios sociais. A pressão gerada pelo acidente em Mariana (MG) por uma mineração mais segura e sustentável impulsiona investimentos em pesquisa, desenvolvimento e avanços tecnológicos para melhorar a recuperação de minerais, reciclar resíduos, reutilizar água e aprimorar o monitoramento e controle de barragens e riscos ambientais.

A eliminação de barragens é um desafio fundamental na busca por uma mineração mais sustentável, e pesquisadores e engenheiros estão focados no desenvolvimento de processos de enriquecimento de minério que não dependam da adição de água e de métodos alternativos de processamento de rejeitos. Também estão sendo feitos investimentos para melhorar o monitoramento de barragens por meio de softwares que analisam imagens de superfícies de estruturas e detectar movimentos irregulares.

As principais empresas de mineração do mundo, incluindo Vale, Rio Tinto, BHP e Fortescue Metals, estão implementando sistemas de automação e controle em suas operações. Um exemplo notável é a Vale, que introduziu correias transportadoras em sua operação Ferro Carajás S11D, eliminando a necessidade de caminhões (truckless) e reduzindo drasticamente as emissões de gases provenientes da combustão de diesel. No setor metalúrgico, os avanços na tecnologia de detecção inteligente, automação e controle de parâmetros e fluxos de entrada em processos metalúrgicos oferecem oportunidades significativas para melhorar a produtividade e a qualidade do produto. Além disso, a busca pela sustentabilidade ambiental na

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:





metalurgia inclui o desenvolvimento de novos materiais que facilitem o aumento da eficiência energética e a redução de emissões na produção de produtos pela cadeia da indústria de processamento de metais, representando uma oportunidade para a indústria de mineração e metalúrgica.

3. Reaproveitamento de rejeitos

O processo de beneficiamento da mineração acarreta na geração de resíduos, sendo um deles em forma de rejeitos. Seu acúmulo indevido pode ser prejudicial ao meio ambiente em diversos aspectos, podendo causar acidentes ambientais e poluição do ar, do solo e da água, o que, por consequência, pode gerar problemas sociais e de custo elevado para as empresas.

Uma das abordagens que podem ser utilizadas para se mitigar esses impactos é a partir do reaproveitamento dos rejeitos. Dessa forma, é possível com que seu volume seja diminuído e que outras áreas se beneficiem dos subprodutos minerais gerados, apoiando a economia circular.

O modelo de reaproveitamento, apesar de não ser amplamente utilizado, pode entregar benefícios em diversos setores. Isso é determinado de acordo com a atividade mineradora realizada, visto que a composição química dos rejeitos é diferente, de acordo com o material extraído. Por exemplo, uma das aplicações usadas pelo reaproveitamento de rejeitos é para a geração de geopolímeros, a partir de um tratamento químico prévio. Nesse caso, conforme mostrado por Yilmaz, Koohestani e Cao (2023), geopolímeros gerados de rejeitos de minério de ferro costumam ter alta condutividade térmica e baixa porosidade e microfissuras, sendo ideal para materiais aglutinantes. Rejeitos de ouro geram geopolímeros de alta resistência, sendo ideais para agregados leves, enquanto os de cobre tendem a ter alta resistência compressiva, sendo usados em materiais de construção de estradas e em tijolos. Ainda, rejeitos de vanádio rico em sílica tendem a produzir geopolímeros utilizados em materiais resistentes à fogo, dada a sua estabilidade em uma ampla



faixa de temperatura.

Outras utilizações, segundo Yilmaz, Koohestani e Cao (2023), incluem o uso como matéria prima na indústria de construção civil, misturados com areia e cimento para retenção de paredes ou como aditivos para o solo. Além disso, quando os rejeitos são formados por uma quantidade suficiente de argila, podem ser aplicados na manufatura de tijolos, cimento, porcelanato, ladrilhos e cerâmica. Por sua vez, rejeitos que possuem bauxita têm uso na produção de alumínio e concreto projetado e aqueles que são ricos em lítio podem ser reaproveitados para a extração do mineral ou utilizados como carbonato de lítio na indústria de vidros. Ainda, são observados atualmente o uso dos rejeitos na agricultura, inserindo materiais argilosos em solos arenosos como forma de tornar a terra mais produtiva para certas culturas.

Utilizando-se de novas técnicas e pesquisas sendo desenvolvidas na área, outros setores industriais também podem ser beneficiados pelo reuso dos rejeitos. Carmignano (2021) mostra que existem estudos nos quais são indicados o uso de rejeitos da extração de minério de ferro sendo utilizados como catalisadores anódicos para a geração de energia em células de carga microbianas, sendo uma alternativa barata e eficiente para aplicações em bioeletroquímica. Também é evidenciado o uso de rejeitos de minério de ferro como forma de produzir nanopartículas de hematita com cascas de carbono a partir do processo simples de digestão dos rejeitos, o que pode ser empregado na produção de baterias de lítio como uma solução de custo reduzido, dado o processo utilizado. Ainda, é mencionado um trabalho de pesquisa, novamente com rejeitos de minério de ferro, onde foi possível produzir um nano-absorvente que, inserido em água de esgoto, é capaz de realizar a remoção de fósforo e nitrogênio e, posteriormente, o produto alcançado pode liberar tais elementos no solo, atuando como um fertilizante.

Nota-se que podemos encontrar recursos valiosos para vários setores da indústria nos rejeitos, ao passo em que é possível diminuir significativamente o volume de tais resíduos de forma sustentável, a partir de diversas vertentes de reuso. Além disso,



Universidade Federal de Minas Gerais
UEADSL 2023.2 - Liberdade e Cidadania

Universidade, EaD e Software Livre

certifica-se que as atividades de produção sejam mais lucrativas e é reduzido significativamente o risco de acidentes e poluições ambientais.

4. Conclusão

A sustentabilidade no que tange à mineração é um tema muito abordado nos dias atuais, dado os impactos sociais e ambientais em decorrência de tal atividade. A partir do trabalho desenvolvido, foi possível discorrer sobre a importância e os benefícios de se desenvolver novas tecnologias no setor, sendo possível favorecer a economia circular e outros setores da cadeia produtiva, enquanto são reduzidos os impactos socioambientais.

Referências

CARMIGNANO, Ottavio Raul Domenico Riberti. **Inovação no setor de mineração de ferro em Minas Gerais com foco na destinação de rejeitos**. 2021. Tese (Doutorado em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

MESQUITA, Pedro; CARVALHO, Pedro; OGANDO, Laura. **Desafios da mineração: desenvolvimento e inovação para redução dos impactos ambientais e sociais**. BNDES, 07 ago. 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/inovacao-tecnologia-mineracao-metais>. Acesso em: 23 out. 2023.

YILMAZ, E.; KOOHESTANI, B.; CAO, S. Chapter 13 - Recent practices in mine tailings' recycling and reuse. *In: Managing Mining and Minerals Processing Wastes*. Elsevier, 2023. p. 271-304. ISBN 9780323912839. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91283-9.00013-4>.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Atribuição Não Comercial-Compartilha Igual (CC BY-NC- 4.0), que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.

Grupo de Pesquisa Texto Livre	Belo Horizonte	v.16	n.2	2023.2	e-ISSN: 2317-0220
-------------------------------	----------------	------	-----	--------	-------------------

Realização:

Apoio:

Produção:

