Beneficiamento avançado e empilhamento a seco no processamento de minério de ferro: alternativas para redução de barragens.

Autor(res)

Douglas Henrique Silva De Souza
Gilson De Souza

Categoria do Trabalho

Trabalho Acadêmico

Instituição

FACULDADE ANHANGUERA DE BELO HORIZONTE

Introdução

A intensa atividade de mineração, gera impactos ambientais, incluindo a poluição, a erosão e a perda de biodiversidade. Sendo realizada há aproximadamente 50 anos, a partir dos anos de 1970, a indústria se baseou em um modelo de beneficiamento, que utiliza de água para o beneficiamento do minério, para fazer a separação de materiais não comerciais. As barragens de rejeitos, são adotadas como uma alternativa de baixo custo operacional e então, se tornaram o padrão da indústria por décadas. Essa abordagem tradicional, em tempos recentes, culminou em riscos ambientais, sociais e de governança (ESG) insustentáveis. Tragicamente ficou demonstrado através de falhas catastróficas, nas diversas partes do mundo. E então, a antiga abordagem, levou àquelas ineficiências econômicas significativas como a perda de valores residuais e ainda a sujeição de custos de gestão perpétuos. Executar a reengenharia fundamental no fluxograma de processo, da mina ao descarte, é algo urgente e imediatamente necessário. O trabalho aqui apresentado, está baseado em cinco décadas de experiência em execução de projetos industriais. Apresenta uma metodologia inovadora, integrando novas tecnologias, projetada para conduzir a indústria tradicional, baseada em antigos moldes, para um modelo sustentável de resíduos quase zero. Essa abordagem tem como principais objetivos a redução do volume de rejeitos e a valorização de recursos, recriando todo o fluxo do processo, da mina à disposição final de rejeitos, de maneira holística e integrada, necessária para a transição para um modelo sustentável.

Objetivo

O objetivo deste estudo é analisar o uso de tecnologias de beneficiamento avançado e empilhamento a seco como alternativas viáveis para redução e parcial eliminação o uso de barragens de rejeitos no processamento de minério de ferro. A pesquisa busca consolidar informações que sustentem a aplicação de novas metodologias, que sejam mais seguras e sustentáveis.

Material e Métodos

O estudo aqui proposto é fundamentado na abordagem qualitativa e exploratória. Realizado com base em revisão bibliográfica e documental, disponibilizada em livros e sites. Foram analisados dados da literatura especializada em sistemas de inovação, mineração e sustentabilidade, com ênfase em autores que discutem Sistemas de Inovação Setoriais (SIS) e Sistemas de Inovação em Recursos Naturais (SINR). Foram realizadas as pesquisas e

estudos sobre a aplicabilidade tecnológica ao rejeito mineral de ferro. Sobre as barragens de rejeitos, foram feitos estudos com análises de seus modelos construtivos, utilizando-se também da elaboração de maquetes. Foram estudados e analisados, documentos referentes aos recentes acidentes que aconteceram nas cidades de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), focalizando na caracterização e composição dos rejeitos destas barragens, em granulometria, mineralogia e nas propriedades geotécnica, para melhor compreender o comportamento destes materiais.

Resultados e Discussão

Os estudos realizados evidenciam que o modelo tradicional de beneficiamento úmido, baseado na separação mineral por meio da utilização de grandes volumes de água, apresenta limitações significativas de ordem ambiental, social e econômica. Embora concebido como alternativa operacional de baixo custo, o uso de barragens de rejeitos mostrou-se insustentável, concentrando riscos permanentes para comunidades e ecossistemas e constituindo passivo de gestão, permanecendo como estruturas críticas mesmo após o encerramento das atividades minerárias. Acidentes no Brasil e em outros países reforçam a necessidade urgente de transição para tecnologias mais seguras e alinhadas às diretrizes de sustentabilidade. Estudos indicam que os principais riscos das barragens estão relacionados à integridade estrutural e aos impactos socioambientais decorrentes de falhas, conforme aponta o IBRAM (2021), que recomenda adoção de padrões mais rigorosos de segurança e sustentabilidade. A escolha do local tradicionalmente considera fatores como topografia, geologia, disponibilidade de materiais e minimização de danos. Os diferentes métodos construtivos apresentam níveis distintos de vulnerabilidade: o alteamento a montante é o mais arriscado, pois os diques sucessivos são erguidos sobre rejeitos previamente depositados, instáveis e suscetíveis à liquefação; o alteamento a jusante utiliza aterros compactados em solo firme, oferecendo maior resistência; já o método de linha de centro apresenta nível intermediário de segurança, mais confiável que o modelo de montante. A caracterização técnica das barragens envolve aterro, praia de rejeitos, lagoa de água e sistemas de decantação. Cada elemento possui função específica, mas em conjunto revela vulnerabilidades à estabilidade da estrutura e à contenção dos rejeitos. Tais resíduos, compostos de lama fina e, em alguns casos, substâncias químicas residuais, representam risco elevado ao meio ambiente quando dispostos inadequadamente, podendo contaminar águas subterrâneas e superficiais e afetar ecossistemas e populações locais. Estudos demonstram que há potencial nos rejeitos da mineração de ferro, e Silva e Costa (2021) destacam que o reaproveitamento desses resíduos pode gerar valor econômico, reduzindo impactos ambientais, podendo ser utilizados na construção civil (tijolos, blocos, concretos e pavimentação), na recuperação de solos e em outras cadeias produtivas, desde que tratados adequadamente. Essa perspectiva insere a discussão na lógica da economia circular, em que resíduos deixam de ser considerados apenas passivos ambientais e passam a constituir oportunidades de valorização. Segundo Santos, Almeida e Pereira (2020), tecnologias de beneficiamento a seco representam alternativa promissora para reduzir o uso de barragens de rejeitos. Avanços em beneficiamento a seco e classificação granulométrica permitem alcançar índices de recuperação mineral próximos aos obtidos no processamento úmido, mas com maior eficiência hídrica. A redução no uso da água constitui vantagem estratégica diante do cenário de escassez de recursos naturais. Além disso, o empilhamento a seco reduz drasticamente o volume de rejeitos, mitiga riscos de acidentes e amplia a possibilidade de valorização de subprodutos. Os resultados analisados conduzem ao entendimento de que a mineração necessita de reengenharia profunda em seus processos de beneficiamento. Trata-se não apenas de ajustes incrementais, mas de conceber um modelo integrado, que abranja desde a extração até a destinação final dos resíduos. A transição para um paradigma de “resíduos quase zero”, pautado na redução, reutilização e valorização dos rejeitos, configura-se como caminho necessário para compatibilizar competitividade econômica

com responsabilidade socioambiental.

Conclusão

Com a evidência dos resultados podemos concluir que permanecer utilizando do modelo de beneficiamento úmido, dependente de barragens de rejeitos, tornou-se insustentável sob os aspectos ambiental, social e econômico. Em contraposição, as tecnologias de beneficiamento avançado associadas ao empilhamento a seco demonstram elevado potencial para reduzir riscos, valorizar rejeitos e promover um paradigma de resíduos quase zero, conciliando competitividade com responsabilidade socioambiental.

Referências

ABNT NBR 13028:2017. Gestão de barragens — Diretrizes para a gestão da segurança de barragens. A norma técnica brasileira fundamental para gestão de barragens, contextualizando o requisito normativo.
ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Relatório de segurança de barragens de mineração. Brasília: ANM, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anm. Acesso em: 23 set. 2025.
BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 21 set. 2010.
IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Guia de boas práticas para gestão de barragens de rejeitos. Brasília: IBRAM, 2021. Disponível em: https://ibram.org.br. Acesso em: 23 set. 2025.
PINHO, F. E.; NEIVA, G. M. História da mineração de ferro no Brasil: da Colônia ao século XX. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.
SANTOS, R. S.; ALMEIDA, C. A.; PEREIRA, J. R. Tecnologias de beneficiamento a seco de minério de ferro: perspectivas e desafios. Rem: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 73, n. 4, p. 565-574, 2020.
SILVA, M. A.; COSTA, D. F. Reaproveitamento de rejeitos de mineração: potencialidades e limites. Revista de Engenharia e Sustentabilidade, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 45-60, 2021.