



PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE MINÉRIO DE FERRO: REAPROVEITAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO PRODUZIDO FORA DE ESPECIFICAÇÃO

Filipe Henrique Chaves¹, Renata Nepomuceno da Cunha¹

Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, Patos de Minas, Brasil (filipehchaves@gmail.com)

Resumo: Pretende-se implementar rota processual que possibilite o reaproveitamento do material fora de especificação (sinter feed) visando redução de descarte e aumento do rendimento mássico. Para verificar a viabilidade econômica e logística foram levantados: volume mensal de sinter feed, área de armazenamento e impactos na lavra. A viabilidade econômica da nova rota proposta foi realizada pelos indicadores: taxa de alimentação e rendimento mássico. A logística adotada se mostrou viável e vantajosa.

Palavras-chave: Concentração gravítica; sustentabilidade na mineração; *sinter feed*.

INTRODUÇÃO

A otimização dos processos produtivos e o desenvolvimento de soluções inovadoras tornam-se essenciais para enfrentar os desafios do setor de mineração, especialmente quando se trata de produtos fora de especificação. O presente estudo se propõe a aplicar o método científico para abordar uma questão de relevância na mineração: o reaproveitamento de minério de ferro produzido fora de especificação por falta de capacidade ou de rota de processo capaz de beneficiar o minério com granulometria entre +0,150 mm e -12,5 mm. Na usina tal produto é classificado como: sinter feed fora de especificação.

A geração de produtos fora de especificação, por ineficiência ou incapacidade do processo, pode resultar no descarte de materiais de alto teor metálico, gerando perda de recursos. Este fato implica não apenas em resultados financeiros negativos, mas também em consequências ambientais, uma vez que o descarte de materiais com alto teor metálico pode acarretar custos adicionais com armazenamento e possíveis passivos ambientais. Além disso, a geração contínua desse material fora de especificação contribui para a subutilização dos recursos minerais, uma vez que não são aproveitados de forma produtiva.

Diante da crescente preocupação com a eficiência operacional e a redução de custos, o estudo busca apresentar ganhos de produção e melhorias no resultado financeiro alinhado à sustentabilidade das operações, ao mesmo tempo em que maximiza o valor agregado desses produtos. De acordo com Chaves et al. (2001) a mineração sustentável é a prática de explorar os recursos minerais de maneira responsável,

visando o equilíbrio entre as necessidades econômicas, sociais e ambientais, de forma a garantir que as gerações futuras também possam usufruir dos benefícios dessas atividades.

A partir da problemática identificada (geração de elevados volumes de minério de ferro fora de especificação) destacam-se os seguintes questionamentos: (i) É possível enviar esse minério para a separação magnética? Quais as consequências desta ação? (ii) A concentração gravítica, utilizando espirais de Reichert tipo WW6 e jígues, pode melhorar a recuperação do minério de ferro, gerando produtos mais próximos das especificações do mercado? (iii) Qual o tempo necessário para a implantação da separação gravítica na empresa? (iv) Até a implantação destes equipamentos é economicamente viável armazenar esse material? (v) Existe outra unidade da empresa que possa realizar o reaproveitamento para esse minério fora de especificação?

A busca por soluções que permitam transformar o material fora de especificação em produtos com características mais próximas das exigidas pelo mercado visam aumentar a sua rentabilidade.

Segundo Pinto (2020) na separação magnética a distância entre as barras de aço, denominada abertura ou "gap" da matriz, define o limite máximo do tamanho das partículas alimentadas no equipamento. Quanto maior a abertura, maior o tamanho máximo permitido. Ressalta-se ainda que, nas matrizes dos concentradores magnéticos verticais, quanto menor o diâmetro das barras, maior a probabilidade de recuperar partículas ultrafinas no concentrado. Contudo, barras mais finas reduzem



significativamente a vida útil das matrizes. Portanto, o envio desse material ao separador magnético implica em alteração do gap para maior diâmetro reduzindo a recuperação mássica, uma vez que as partículas mais finas, devido à sua maior área superficial e menor massa, tendem a ser atraídas de forma mais fraca pelo campo magnético.

Com relação à concentração gravítica, Arenare (2009) afirma que o uso de processos tais como espirais de Reicher e jigsaw, pode ser uma alternativa eficiente para a recuperação do minério de ferro e a transformação desses materiais descartados em produtos vendáveis. O autor afirma que os novos equipamentos espirais de Reicher são capazes de processar minérios na faixa entre 2 mm e 0,074 mm. Dallire et al. (1978) acrescenta que uma faixa muito ampla em tamanho pode maximizar o efeito da separação por tamanho, levando à queda na recuperação, mas sem alterações consideráveis no teor obtido no concentrado. Entretanto o tempo de implantação destes equipamentos é longo, sendo, portanto, necessário o seu armazenamento prévio.

Neste contexto, buscam-se soluções de processos que contribuam para o reaproveitamento do minério de ferro fora da especificação. Ou seja, a pesquisa visa a partir do reaproveitamento do descarte de materiais gerado (que ainda possui alto teor metálico) otimizar a geração de produtos dentro das especificações exigidas pelo mercado, reduzir desperdícios e maximizar o valor agregado. Tais ações contribuiriam tanto para a sustentabilidade financeira quanto ambiental da empresa.

O presente estudo tem como objetivo propor, avaliar e implementar alternativas processuais que utilizem o minério de ferro produzido fora de especificação (sinter feed) gerado pelo beneficiamento, visando a redução de descarte e o aumento do rendimento.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma empresa de mineração de ferro situada em Minas Gerais. Os dados para levantamento e determinação da viabilidade dos processos foram cedidos pela própria empresa. O minério de ferro fora da especificação possui granulometria +0,150 mm e -12,5 mm o que inviabiliza seu uso no processo produtivo atual. As análises de alternativas de processo são explicitadas a seguir.

A) Armazenamento do minério fora de faixa

Para verificar a viabilidade econômica e logística dessa alternativa foram levantados os dados de: volume de minério fora de especificação gerado/mês, área de armazenamento/mês, impactos desse armazenamento na lavra atual através da avaliação de

volume de ROM que deixaria de ser lavrado enquanto existisse este material estocado devido falta de espaço para empilhamento de material não considerado estéril. Todos esses dados foram determinados por meio do uso do software Micromine.

B) Rota alternativa: beneficiamento em outra unidade da empresa

A verificação da logística necessária ao transporte do minério fora de especificação para a outra unidade foi determinada pelo cálculo do número de caminhões, custo de transporte e mão de obra.

A determinação dos ganhos industriais e do volume de produção foram avaliados pelas variáveis: teor de ferro no blend, determinado por análises químicas de amostras da alimentação utilizando o Raio-X Zetium, disponível no laboratório da empresa. A partir disso, foram realizados os levantamentos dos principais impactos gerados nos indicadores de performance como taxa de alimentação e rendimento mássico, conforme equações 2 e 3.

$$\text{Taxa de Alimentação} = \frac{(\text{massa alimentada em toneladas})}{(\text{horas trabalhadas})}$$

$$\text{Rendimento Mássico} = \frac{(\text{massa produzida em toneladas})}{(\text{massa alimentada em toneladas})}$$

Os resultados obtidos foram confrontados entre si, ou seja, foram avaliados os efeitos da entrada de blend frente à performance do processo.

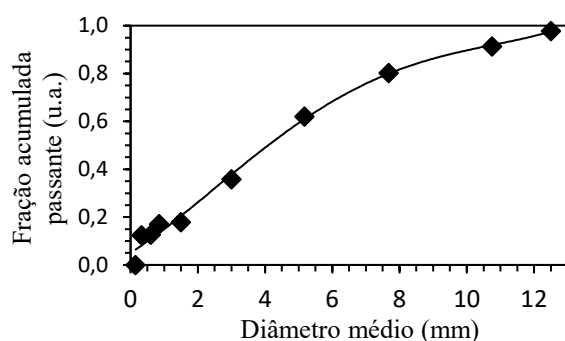
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A) Características granulométrica do sinter feed fora de especificação

A Figura 1 explicita as granulometrias médias extraídas do histórico de geração de descarte. Ressalta-se que a rota atual de produção não possui processo capaz de realizar a concentração deste minério com granulometria concentrada entre +0,150 mm e -12,5 mm.

Na rota atual, somente 13% da massa possui fração passante em 0,6 mm, diâmetro esse capaz de ser concentrado na separação magnética de alto campo para produção de Pellet Feed na instalação de tratamento de minério desta unidade.

Figura 1. Granulometria do sinter feed fora de especificação



As matrizes da separação magnética alta intensidade do processo atual, possuem uma abertura com diâmetro médio de 2,0 mm, o que permite a alimentação de material com top size aproximado de 0,6 mm. A Tabela 1 apresenta as características do ROM existente na jazida, cuja fração predominante, em média 70%, possui granulometria inferior a 0,150 mm.

Tabela 1. Granulometria média do ROM para avaliação da fração fina menor que -0,15 mm

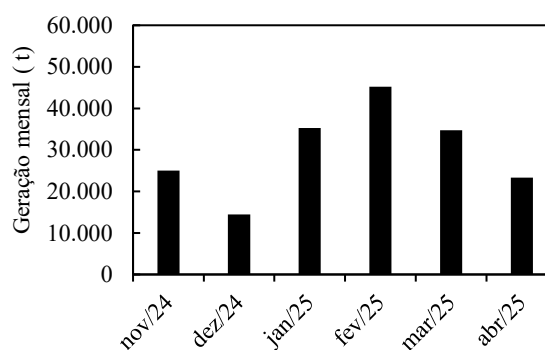
Ano	Global	+6,3 mm	+1,0 mm	+0,15 mm	-0,15 mm
2023	100,00	6,98	9,97	6,30	76,75
2024	100,00	6,83	9,42	7,41	76,34
2025	100,00	9,22	8,92	8,50	73,36
2026	100,00	13,26	8,98	8,31	69,46
2027	100,00	13,01	11,42	8,21	67,36
2028	100,00	14,08	11,50	7,32	67,11

Considerando essa distribuição do ROM, a hipótese de realizar a abertura do diâmetro médio das matrizes para aumento da fração de top size de alimentação e redução do volume mensal de sinter feed fora de especificação foi descartada, visto que ocasionaria uma queda de produção por menor recuperação de massa. O aumento do gap das matrizes reduziria a atuação do campo magnético nas frações de menor granulometria, tal modificação implicaria em queda de produtividade devido à menor recuperação mássica. Isso ocorre porque o aumento do gap nas matrizes reduz a eficácia do campo magnético sobre as frações mais finas, justamente as mais abundantes neste ROM. Pinto (2020) reforça essa tendência, destacando que o aumento do gap nas matrizes resulta em queda na recuperação mássica.

B) Armazenamento do minério fora de faixa e geração mensal

O volume médio de minério fora de especificação gerado mensalmente ultrapassa a média de 29.000 toneladas como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2. Geração mensal do sinter feed fora de especificação



Diante do volume médio mensal aproximando de 29.000 toneladas, o armazenamento deste material em 12 meses demandaria a formação de uma pilha destacada com capacidade para armazenar uma massa aproximada de 350.000 toneladas. Essa pilha seria necessária para evitar o descarte de um material com alto teor metálico junto aos estéreis e ao rejeito final, o que resultaria em perdas significativas de recursos. No entanto, esse armazenamento de forma separada impacta diretamente no ROM a ser lavrado. À medida que a lavra avança e exige a abertura do fundo da cava, esse material precisará ser removido e realocado, gerando um custo de R\$6,08 por tonelada transportada, desembolso aproximado de R\$2.128.000, conforme dados da empresa. Considerando que a mina requer a abertura constante de novos bancos para aprofundamento da cava, a cada movimentação desse material para um novo local, esse custo se repete. Além disso, existe o risco de não haver área disponível no momento, o que poderia levar à disposição do material junto aos estéreis e rejeitos, contrariando o objetivo inicial de preservação do recurso.

Face ao exposto, destaca-se que o tempo estimado para implantação de uma rota para concentração gravítica, segundo informações da empresa pode variar de 180 a 280 dias. No entanto, o reaproveitamento deste material na unidade atual, mesmo após uma possível implantação dessa rota é considerado inviável. Conforme demonstrado na Tabela 1, esta unidade opera com um ROM de granulometria fina, característica que favorece a produção de pellet feed. Dessa forma, descarta-se a hipótese de reaproveitamento do material fora de especificação, uma vez que, poderia gerar uma concorrência indesejada na rota de processo atual. O blend do material fora de faixa com o ROM desta unidade poderia resultar em um engrossamento granulométrico da massa alimentada, reduzindo a eficiência na produção de pellet feed, que é o principal produto desta unidade.



C) Reaproveitamento do minério fora de faixa em outra unidade

O reaproveitamento do material fora de faixa foi viabilizado por meio da combinação de uma rota de processamento alternativa disponível em outra unidade do mesmo grupo empresarial, alinhada à estratégia de logística de transporte de otimizada. As etapas adotadas no processamento do minério de ferro são:

- Britagem primária no britador de mandíbula;
- Britagem secundária no britador cônico;
- Concentração gravítica por espirais e jígues;
- Circuito de cominuição prensa por Roller Press;
- Circuito de separação magnética de baixa intensidade (WDRE);
- Circuito de separação magnética de alta intensidade (WHIMS), divididos para concentração de materiais de menor granulometria e de maior granulometria.

Destaca-se que existe rota capaz de concentrar o minério na fração +0,150 mm e -12,5 mm, uma vez que, as etapas de concentração gravítica são realizadas utilizando jígues e espirais.

A concentração gravítica por meio de jigagem é composta por dois jígues pneumáticos para realizar a concentração da fração grossa do sinter feed que está compreendida entre as frações +2 mm e -12,50 mm. O concentrado é direcionado para um silo, e posteriormente ao pátio de produtos. Já o rejeito é transportado por correias para cominuição utilizando equipamento Roller Press modelo Metso HCR- 800, seguido de peneiramento em 2,4 mm. O material retido (oversize) retorna ao circuito fechado da prensa, o passante (undersize) é bombeado para as espirais.

A concentração gravítica por meio de espirais é composta por noventa e seis espirais modelos WW6 7 voltas duplas no estágio rougher e 48 espirais modelo WW6 5 voltas duplas no estágio cleaner para concentração da fração fina do sinter feed que está compreendida entre as frações +0,150 mm e - 2,00 mm.

Além dos processos de concentração gravítica, a planta possui circuitos de separação magnética de baixo (WDRE) e alto campo (WHIMS), permitindo o reaproveitamento máximo do material e aumentando a recuperação metalúrgica. Dessa forma, considerou-se a rota como uma excelente oportunidade para o reaproveitamento do material fora de faixa, pois a maior parte do material fora de faixa está concentrada justamente nas faixas granulométricas compatíveis com os processos existentes nesta unidade.

D) Análise da logística necessária para transporte do minério fora de faixa

Os transportes de produtos das empresas A (geradora do material fora de especificação) e B (unidade que possui rota de concentração gravítica por jígues e espirais) são realizados por empresas terceirizadas especializadas, com o processo iniciando-se a partir de um carregamento interno em uma área específica e devidamente designada dentro da planta industrial. Nessa área, são concentrados todos os produtos acabados, provenientes do processo de beneficiamento, prontos para serem transportados.

A fim de utilizar o mesmo conceito de transporte e não ser necessário aquisição de caminhões rodoviários para execução do transporte da empresa A para B, o transporte do transporte de material fora de especificação foi cotado a um preço de R\$43,50 por tonelada, para uma distância de 90 quilômetros.

Esse valor tornou inviável a logística para realização do transporte direto, pois, de acordo com a empresa B, o custo para extrair o ROM (minério bruto) é de R\$18,50 por tonelada alimentada. Diante disso, foi proposta a criação de uma rota fechada otimizando o uso dos caminhões aproveitando ao máximo os caminhões rodoviários em um único fluxo de transporte. Nesse modelo, o caminhão sai da empresa A carregado e percorre 90 km até a empresa B, onde realiza a descarga na empresa A e é carregado novamente com produtos acabados. Após o carregamento de produtos acabado na empresa A, o caminhão segue por 63 km até o terminal de cargas, onde descarrega o material. Em seguida, o caminhão sai vazio do terminal e percorre 50 km do terminal de cargas até a empresa A para iniciar um novo ciclo. Seguindo esse fluxo o custo para realizar o transporte da empresa A até empresa B foi para R\$16,47, viabilizando o envio do material e que este ainda tenha menor custo que a extração de ROM da empresa B.

Ressalta-se que esse processo desenvolvido possui uma restrição, o máximo de volume a ser transportado da empresa A até a empresa B está limitado à produção da empresa B, ou seja, para que a rota de transporte seja contínua e siga os parâmetros estabelecidos de preços/custo o volume a escoado da empresa A não pode ultrapassar a capacidade de expedição de produtos acabados da empresa B.

E) Análise dos ganhos industriais com o reaproveitamento do minério fora de faixa

A partir do volume mensal disponível para transporte do material fora de faixa, o mesmo passou a compor a alimentação da unidade que possui rota capaz de realizar a concentração deste material. A Figura 5 demonstra os ganhos na taxa de alimentação e no rendimento mássico, além de não haver perda de qualidade no produto gerado anteriormente conforme demonstram as Tabela 2, 3 e 4. Qualidade esta que não deve ter teor de Ferro inferior a 60% e nem teor de sílica superior a 10%.

Figura 5. Taxa de alimentação e rendimento mássico

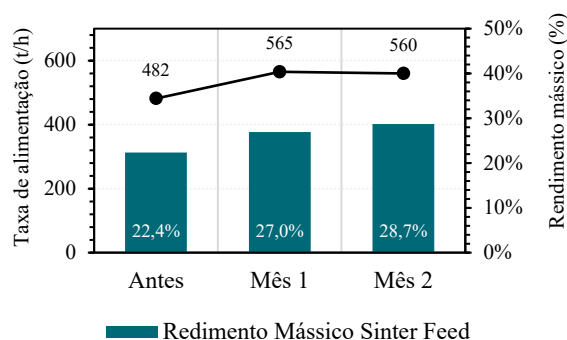


Tabela 2. Qualidade dos materiais antes da melhoria obtidos pelo Raio-X Zetium

QUALIDADE SINTER FEED - ANTES						
MATERIAL / ELEMENTO	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	PPC
ROM	28,93	48,20	4,45	0,055	0,253	3,70
CONCENTRADO ESPIRAIS	61,43	9,14	1,16	0,039	0,214	1,08
CONCENTRADO JIGUES	60,93	9,43	1,73	0,045	0,179	1,50
SINTER FEED	61,32	9,21	1,29	0,040	0,206	1,18

Tabela 3. Qualidade dos materiais após melhorias obtidos pelo Raio-X Zetium

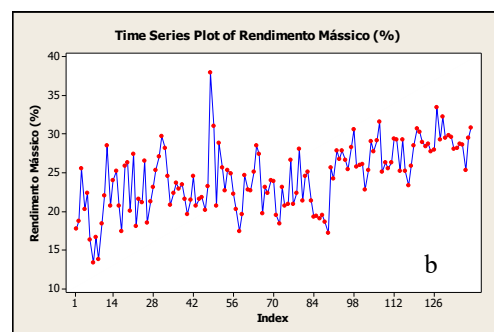
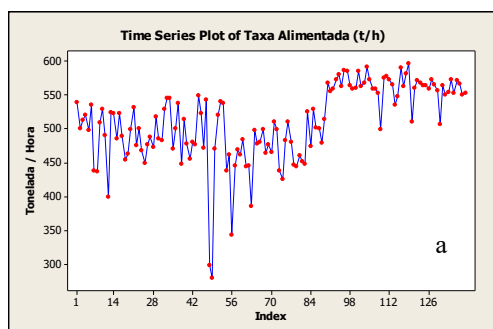
QUALIDADE SINTER FEED - RESULTADOS MÊS 1						
MATERIAL / ELEMENTO	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	PPC
ROM + FORA DE FAIXA	32,29	45,27	3,22	0,044	0,245	2,83
CONCENTRADO ESPIRAIS	61,97	8,70	1,08	0,030	0,210	0,68
CONCENTRADO JIGUES	60,81	9,97	1,63	0,031	0,117	0,45
SINTER FEED	61,72	8,97	1,20	0,030	0,190	0,63

Tabela 4. Qualidade dos materiais após melhorias obtidos pelo Raio-X Zetium

QUALIDADE SINTER FEED - RESULTADOS MÊS 2						
MATERIAL / ELEMENTO	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	Mn	PPC
ROM + FORA DE FAIXA	34,15	41,65	3,45	0,055	0,425	3,17
CONCENTRADO ESPIRAIS	61,85	8,65	1,08	0,035	0,287	0,89
CONCENTRADO JIGUES	59,71	11,45	1,47	0,033	0,145	0,34
SINTER FEED	61,57	9,02	1,13	0,035	0,268	0,82

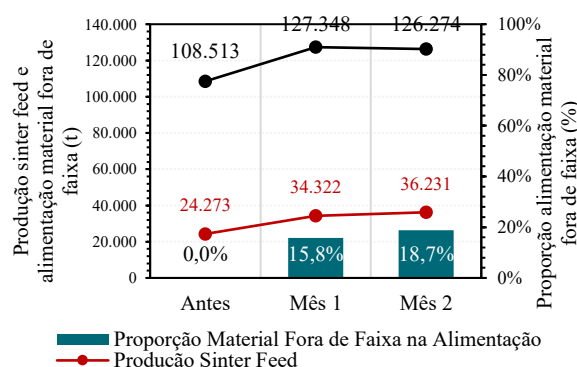
Os ganhos mostraram-se estáveis diariamente durante o processo produtivo conforme pode ser constatado na Figura 3a partir do ponto 90.

Figura 3. (a) Taxa de alimentação em toneladas por hora trabalhada e (b) Rendimento mássico do sinter feed



A estabilidade operacional proporcionada na taxa de alimentação e no rendimento mássico trouxe um aumento mensal da produção de 41% no primeiro mês e de 49% no segundo mês conforme Figura 4. A medida que aumentou a proporção do material fora de faixa na alimentação da usina, gerou-se um aumento na produção, porém conforme mencionado anteriormente não é possível realizar o transporte de uma empresa para outra em volume superior a massa produzida por esta, pois o custo de logística inviabiliza o processo.

Figura 4. Massa alimentada, produção de sinter feed e proporção alimentado do material fora de faixa



CONCLUSÃO

Por meio de uma abordagem técnico-econômica, foram analisadas as possibilidades de armazenamento temporário, envio para concentração magnética e reaproveitamento em outra unidade industrial da empresa. A análise da rota de concentração da unidade atual demonstrou que o minério fora de especificação não atende aos requisitos granulométricos para alimentação eficiente dos separadores de alto campo, o que inviabiliza sua concentração local. Além disso, a tentativa de ajuste das matrizes para aumentar o gap resultaria em queda significativa da recuperação mássica, conforme demonstrado por dados operacionais e referencial teórico.



Com relação ao armazenamento, embora tecnicamente possível, essa solução apresentou alto custo logístico e risco de impacto direto nas atividades de lavra, uma vez que o empilhamento comprometeria a abertura da cava. O custo estimado para movimentação desse material foi de R\$2.128.000, apenas na primeira movimentação, sem considerar eventuais realocações futuras.

A alternativa mais viável identificada foi o envio do minério fora de faixa para uma segunda unidade da empresa, dotada de circuito de concentração gravítica com espirais e jígues. A implementação de uma rota logística otimizada, com reaproveitamento do fluxo de caminhões, permitiu reduzir o custo de transporte para R\$16,47 por tonelada, abaixo do custo de extração de ROM na unidade recebedora (R\$18,50 por tonelada).

A introdução do material fora de faixa na alimentação dessa planta resultou em ganhos industriais significativos. Houve aumento na taxa de alimentação e no rendimento mássico, com crescimento da produção mensal de 41% no primeiro mês e 49% no segundo, sem comprometer a qualidade do produto final, que manteve teor de ferro acima de 60% e sílica abaixo de 10%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário pelo incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. L. **Redução do Impacto Ambiental Através da Recuperação dos Ultrafinos de Minério de Ferro – Uma Revisão**. Belo Horizonte. Curso de pós-graduação em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.73p. (Dissertação de Mestrado).

ARENARE, Diego de Souza et al. **Espirais concentradoras no tratamento de minérios de ferro: uma breve revisão**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Minerais, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 224-228, abr.-jun. 2009.

CHAVES, Arthur Pinto et al. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil**. Ed. Maria Laura Barreto. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14001: **Sistemas da gestão ambiental**: Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, J. C. S. de; LISBÔA, Rodrigo Cesar de Oliveira. **Lavra de minas à céu aberto**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1995.

BRAGA, P.F.A.; SAMPAIO A.J. **Ensaaios em Espirais Concentradoras**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1061/1/Cap%2016%20Espirais.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

CARVALHO, P.S.L., SILVA, M.M., ROCIO, M.A.R., MOSZKOWICZ, J. **Minério de Ferro**. 2014. BNDES Setorial, 39, 197-234. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4802>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

DALLIRE, R.; LAPLANTE, A.R.; ELBROND, L. Humphreys Spiral Tolerance to feed variations. **Bulletin of Canadian Institute of Mining and Metallurgy**, v. 71, n. 797, p. 123-34, Sept. 1978.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Consultado em arquivo digital e extraído do endereço:< <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral#:~:text=A%20minera%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20uma%20atividade,no%20solo%20e%20no%20subsolo.>>. Acesso em: 07 mar. 2025

ENRÍQUEZ, M. A. R. D. S.; DRUMMOND, J. A. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável-Dimensões, Critérios e Propostas de Instrumentos**. CETEM/MCT, 2007

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016. Disponível em: <<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Gestao-e-Manejo-de-Rejeitos-da-Mineracao-2016.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; SAMPAIO, J. A. (ed.). **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

LUZ, A. B.; LINS, F.A. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

MAIA, E.S. **Pelotização e Redução de Concentrado Magnetítico**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2011. Disponível em:<<https://www.maxwell.vrac.pucRio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=18544&idi=1>>. Acesso em: 04 mar. 2025.



MESQUITA, P.P.D. et al. **Sustentabilidade Socioambiental da Mineração**. 2018. BNDES. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15361>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

PINTO, P. H. F. **Aproveitamento de lamaz de minério de ferro do quadrilátero ferrífero por concentração magnética de alta intensidade de campo magnético**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-24082020-134547/en.php>>. Acesso em: 09 mar. 2025.

QUEIROZ, L.A. e BRANDÃO, P.R.G. **Aspectos Mineralógicos Relacionados à Concentração Magnética de Minério de Ferro Itabirítico**. Metalurgia & Materiais, Volume 65, p. 148-151, abr. 2009.

QUEVEDO, J. M. G. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. PUC-Rio. Rio de Janeiro. Outubro de 2009. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0712516_09_cap_04.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

VASCONCELOS, S. A. **O uso do território do município de pedra lavrada – PB pela mineração: elementos de inserção como lugar do fazer no contexto atual da globalização**. 2006. 216 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6845/1/arquivo6889_1.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 584 p.

Autor(es) do livro. Título do livro. (Nome do editor(es)). Editora, Lugar da publicação, Ano.

Autor(es) da revista. Título do artigo. Nome da revista, volume, número das páginas, Ano.