

# SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DA MINERAÇÃO

*Pedro Sérgio Landim de Carvalho*

*Pedro Paulo Dias Mesquita*

*Rafael Dirques David Regis*

*Thamyris de Lima Meirellis\**

**Palavras-chave:** Mineração. Sustentabilidade socioambiental. Riscos ambientais. Resíduos sólidos. Barragens de rejeitos. Licenciamento ambiental.

\* Respectivamente, engenheiro, gerente, estagiário de engenharia e estagiária de economia do Departamento de Mineração e Metais da Área de Indústrias de Base do BNDES.

# SOCIAL AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF MINING

*Pedro Sérgio Landim de Carvalho*

*Pedro Paulo Dias Mesquita*

*Rafael Dirques David Regis*

*Thamyris de Lima Meirellis\**

**Keywords:** Mining. Socio-environmental sustainability. Environmental risks. Solid waste. Tailings dams. Environmental licensing.

\* Respectively, engineer, manager, engineering intern and economy intern of the Mining and Metals Department of the Primary Industry Division of BNDES.

## Resumo

A atividade de mineração deverá manter a tendência de aumento da produção, com os consequentes riscos e impactos ambientais, advindos principalmente da elevada geração de resíduos sólidos. O setor não é um grande emissor de gases de efeito estufa (GEE) e o Brasil apresenta baixo potencial de emissões em comparação com os demais países de vocação mineral. No entanto, a movimentação de massa derivada de uma das maiores produções mundiais de minérios é responsável pela geração de elevados volumes de resíduos, grande parte dispostos em barragens de rejeitos. O presente artigo traça um panorama dos desafios associados à gestão dos resíduos da mineração, incluindo medidas com o objetivo de eliminar o risco de acidentes como o de Mariana (Minas Gerais) e pavimentar um caminho mais sustentável para o aproveitamento do potencial mineral brasileiro.

---

## Abstract

The mining activity keeps on increasing production, with the consequent environmental risks and impacts, mainly due to the large volumes of solid waste generated. The sector is not a major responsible for greenhouse gases (GHG) emissions. Compared to other mining countries, Brazil has lower emissions. Otherwise, the large material volumes mined in one of the world's largest ore producer is responsible for the generation of also huge volume of waste, largely disposed in tailings dams. This article presents an overview of the challenges associated with the management of mining waste, including measures to eliminate the risk of accidents such as that of Mariana (Minas Gerais) and to build a more sustainable path for the development of Brazilian mineral potential.



## Introdução

---

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de minérios (ICMM, 2014). Dentre os bens minerais produzidos no país, destacam-se o ferro, o ouro, o nióbio, o cobre, a bauxita e o manganês. A participação do setor mineral foi de 3,9% do produto interno bruto (PIB) brasileiro em 2016 (BRASIL, 2017c) e, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram), o Brasil exportou um volume de mais de 394 milhões de toneladas de bens minerais, gerando divisas de US\$ FOB 21,6 bilhões (IBRAM, 2017). Esse valor correspondeu a 11,6% das exportações totais do país e a 33,8% do saldo da balança comercial, em 2016.

A mineração deverá manter sua importância nos próximos anos, com tendência de aumento da produção mineral e consequentes impactos socioambientais e econômicos gerados por essa atividade.

A maior pressão por sustentabilidade socioambiental e a difusão de novas tecnologias, entre fatores estruturais, e o patamar menor de preços após o superciclo das *commodities* são apontados como os principais vetores de mudança sobre o setor.

O tamanho de algumas operações mineiras, a quantidade de carga movimentada e o volume de resíduos gerados constituem riscos a diversas regiões e populações, que podem ser afetadas por acidentes e mecanismos ineficientes de deposição e de monitoramento de rejeitos. Observa-se que esse é o fator de maior impacto ambiental da mineração, em especial no caso do minério de ferro, que no Brasil representa o maior volume de produção entre os bens minerais beneficiados.

A indústria de mineração deverá, portanto, estar atenta aos seguintes fatores:

- a redução do teor de concentração dos minérios lavrados, com tendência natural de aumento do material movimentado;
- os diversos impactos decorrentes dessa movimentação;
- a elevação dos resíduos na produção; e
- a crise hídrica, com restrições à captação de água para as operações.

Nos próximos anos, além da diminuição de custos operacionais (*opex*) e de capital (*capex*) das minas, a indústria deverá, portanto, prover soluções para:

- minimizar o volume de material movimentado da mina e de resíduos;
- reduzir o consumo de água por tonelada produzida;
- diminuir os riscos decorrentes dos processos de beneficiamento e da deposição de rejeitos;
- minimizar os impactos da mina; e
- maximizar a satisfação social decorrente das operações mineiras, de processos de fechamento de mina e de reabilitação de áreas degradadas.

No tocante aos resíduos da mineração, o Brasil, segundo maior produtor mundial de minério de ferro, além de estar entre os maiores produtores de outros bens minerais, encara, como outros países mineradores, problema concernente à disposição de rejeitos, que deverá demandar soluções tecnológicas adequadas para sua mitigação.

Com relação à reação da indústria ao tema ambiental, pode-se observar, tanto no Brasil quanto em outros países mineradores, um movimento de investimento no desenvolvimento e na difusão de tecnologias e processos com foco em:

- aumento da recuperação dos minérios de interesse, aproveitamento e aglomeração de finos e ultrafinos;
- recuperação e reaproveitamento de resíduos e elementos dispersos, incluindo processos para destinação alternativa de uso;
- tecnologias de baixo risco ambiental para deposição de resíduos;
- recuperação, reutilização, redução ou eliminação de água utilizada nos processos; e
- monitoramento e controle mais eficaz de barragens e riscos ambientais.

No caso do minério de ferro, alguns projetos têm avançado quanto à aplicação de tecnologia de concentração magnética de minérios para maior recuperação de finos e ultrafinos, incluindo processamento de resíduos de pilhas ou barragens. Apesar de essa ser uma solução interessante, em aspectos econômicos e tecnológicos, ela é limitada no que concerne a volume.

Este artigo aborda os principais riscos e impactos ambientais, com foco na gestão de resíduos, em medidas para eliminação do risco de acidentes e no aproveitamento mais sustentável do potencial mineral brasileiro.

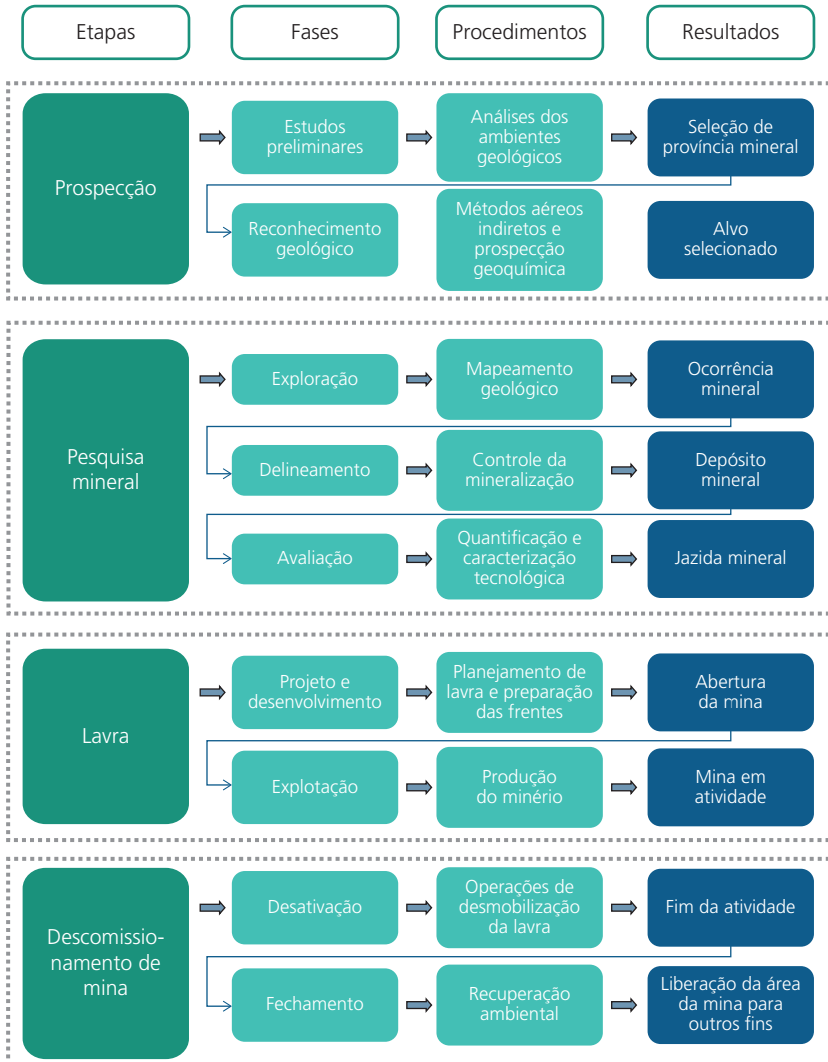
## Etapas da mineração, processos e impactos associados

---

O setor de mineração engloba as etapas de:

- prospecção;
- pesquisa mineral;
- lavra; e
- descomissionamento de mina.

Figura 1 | Etapas da mineração



Fonte: Elaboração própria, com base em NERY, M. A. C. *Notas de aula – pesquisa mineral, lavra e beneficiamento*. Curso de especialização em direito minerário. UNB, 2012.

As três primeiras etapas destinam-se ao mapeamento e processamento dos recursos minerais. Os recursos minerais são concentrações de minério



cujas características fazem sua extração ser técnica e economicamente viável para a produção de bens minerais. A última etapa da mineração diz respeito à recuperação do ambiente impactado.

## Processos por etapa

As etapas e os procedimentos de mineração abrangem o conjunto de processos necessários à obtenção de um produto mineral bruto, de um concentrado ou aglomerado. O beneficiamento mineral, processo final da etapa de lavra que inclui a aglomeração, envolve apenas mudanças físicas no minério.

As alterações químicas estão a jusante, na indústria de transformação mineral, a qual inclui, entre outras, a metalurgia, e são altamente intensivas em emissões de GEE. A transformação mineral não será objeto deste estudo.

A seguir, são apresentados os processos e as atividades associados a cada etapa, com destaque para os da lavra e do descomissionamento de mina, por serem as etapas que mais promovem alterações nos ambientes mineiros.

## Prospecção

Subdividida em estudos preliminares e no reconhecimento geológico, engloba procedimentos como análises dos ambientes geológicos, métodos aéreos indiretos e prospecção geoquímica. Os resultados obtidos nessa etapa são a seleção de província mineral e do alvo a pesquisar.

## Pesquisa mineral

Subdivide-se em exploração, delineamento e avaliação, com procedimentos como mapeamento geológico, controle da mineralização, quantificação e caracterização tecnológica. Nessa etapa, caracterizam-se a ocorrência mineral, o depósito e a jazida, sendo determinada a exequibilidade de seu aproveitamento econômico.

Para início das atividades de pesquisa mineral, o requerente deve solicitar ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) um título de caráter intermediário: o alvará de pesquisa.

Depois do término dessa fase, o titular ou seu sucessor poderá, mediante comunicação prévia, dar continuidade aos trabalhos, até mesmo em campo, com vistas à conversão dos recursos medidos ou indicados em reservas provadas e prováveis, a serem consideradas no Plano de Aproveitamento Econômico (PAE).<sup>1</sup> O PAE servirá para a solicitação do aproveitamento do recurso mineral (lavra) e para o planejamento adequado do empreendimento.

Por envolver atividades com alto impacto ambiental, o início da etapa de lavra depende, em geral, de estudo de impacto ambiental (EIA), e seu respectivo relatório de impacto ambiental (Rima), e da licença ambiental dos órgãos competentes.

---

<sup>1</sup> O PAE é um dos documentos que compõem o Requerimento de Lavra, e sua obrigatoriedade é estabelecida no artigo 38 do Código de Mineração. O PAE corresponde a um projeto que aborda os diversos aspectos envolvidos nos processos de extração, beneficiamento e comercialização da reserva mineral objetivada. Esse documento deve ser elaborado e assinado por um técnico legalmente habilitado e ser acompanhado pela respectiva anotação de responsabilidade técnica (ART), apresentada em original ou cópia autenticada. O projeto constante no PAE deverá estar compatível com todos os dados da aprovação do relatório final de pesquisa.

## Lavra

Conjunto de atividades e operações para o aproveitamento industrial das jazidas, que inclui:

- projeto e desenvolvimento da mina;
- preparação das frentes de lavra;
- abertura da mina;
- extração do minério; e
- beneficiamento.

A lavra é a etapa mais intensiva em geração de efluentes, tanto sólidos quanto líquidos e gasosos.

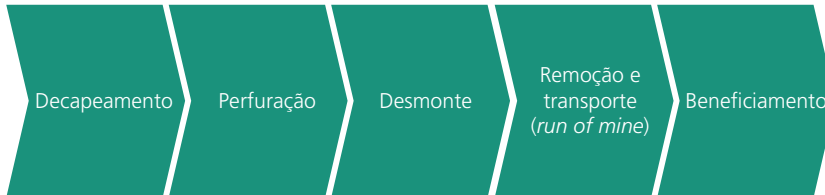
A escolha do método de lavra é o fator que possibilita o desenvolvimento da operação de extração do material. As características físicas do depósito (por exemplo, a profundidade, sua extensão e o mergulho de corpo) limitam as possibilidades de aplicação de alguns métodos de lavra.

Além desses fatores, há outras questões que devem ser analisadas, como: formas de drenagem e bombeamento das águas superficiais e subterrâneas, permeabilidade, deformabilidade e resistência da rocha.

A maior parte das operações mineiras no Brasil é de minas superficiais, portanto, o desenvolvimento das seções a seguir será voltado para esse tipo de operação.

As operações mineiras de lavra consistem basicamente nos processos ilustrados na Figura 2.

Figura 2 | Processos de lavra



Fonte: Elaboração própria.

Os processos são caracterizados da seguinte forma:

- Decapeamento – executado na fase de abertura e desenvolvimento da mina. É nesse processo que se remove material superficial para atingir a rocha. O material removido é denominado de estéril. Em geral, o estéril é utilizado na recomposição do solo, no descomissionamento da mina, ou no preenchimento de cavas ainda na fase operacional.
- Perfuração – nessa fase, a área determinada da frente de lavra é furada, utilizando-se máquinas hidráulicas de perfuração. A perfuração é executada com diâmetro, comprimento e distâncias entre furos pré-calculadas (malha de perfuração), que servirão para o desmorte da rocha. A perfuração tem grande influência no desempenho das demais operações. Os principais possíveis problemas da perfuração são causados por desvios de furação. Esses desvios podem gerar problemas, posteriormente, durante a detonação dos explosivos no desmorte, como excesso de vibrações no terreno e lançamento de material que pode ser perigoso para os empregados, para a vizinhança da mina e até mesmo para as barragens de rejeitos situadas perto da área de detonação, passíveis de sofrer danos estruturais decorrentes do abalo provocado pelas vibrações.

- Desmonte – essa operação pode ser realizada de duas maneiras: mecânica ou utilizando-se a junção perfuração-detonação. Na segunda, os furos pré-executados são preenchidos (ou carregados) com explosivos, procedendo-se então à detonação deles e consequente fragmentação do minério. No desmonte, almejam-se: (i) menores danos ao maciço remanescente; (ii) minimização de impactos ambientais; e (iii) otimização dos custos, incluindo nos processos subsequentes.
- Remoção e transporte – o minério fragmentado pela detonação ou por meio mecânico, com conteúdo econômico, chamado de *run of mine* (ROM), é levado em caminhões, vagonetas, esteiras rolantes ou em outro meio de transporte até à unidade de beneficiamento, geralmente próxima à mina, para o processamento.
- Beneficiamento – é o tratamento dado ao ROM, visando preparar granulometricamente o mineral, concentrar ou purificar os minérios. Consiste em uma série de processos cuja finalidade é a separação física dos minerais úteis da ganga (a parte do minério que não tem interesse econômico e que é rejeitada) para a obtenção final de um concentrado com teor mais elevado do mineral ou dos minerais de interesse. Os métodos utilizados no beneficiamento podem ser físicos ou químicos e são divididos de forma sumariada sequencial em:
  - fragmentação primária;
  - granulação (fragmentação secundária e terciária);
  - moagem;
  - classificação (pode estar incluída entre os vários tipos de fragmentação e concentração); e
  - concentração.

Em decorrência dessa etapa, são gerados grandes volumes e massas de resíduos misturados à água, material a que se dá o nome de rejeito (DNPM, 2012).

## Descomissionamento de mina

O descomissionamento de mina consiste no conjunto de operações necessárias para sua desativação, incluindo a desmobilização da lavra, o fechamento e a recuperação ambiental, visando devolver o local para outros usos pela comunidade.

Essa etapa envolve também o acompanhamento dos efeitos posteriores sobre o ambiente, depois do encerramento da mina, mesmo tendo havido a reabilitação da área. Os efeitos decorrentes de seu fechamento envolvem impactos econômicos e socioambientais.

- Impactos socioeconômicos – se a mineração é a principal atividade econômica no município, o fechamento da mina pode conduzir à sucumbência da cidade. O desemprego decorrente do encerramento da atividade afeta diretamente a população.
- Impactos ambientais – se não forem adotadas as medidas preventivas ou de reabilitação tempestiva da área degradada, o impacto pode nunca vir a ser solucionado e a área pode não ser plenamente recuperável. Uma barragem de rejeito pode trazer repercussões ao meio ambiente de forma permanente, como a não recuperação de vegetação e dos *habitats* da fauna, reduzindo de forma definitiva a biodiversidade em sua área de influência. Além disso, destaca-se o risco às populações em vales a jusante.

Os procedimentos de fechamento da mina devem seguir as diretrizes das Normas Regulamentadoras de Mineração (NRM) do DNPM.

O plano de fechamento é apresentado no PAE, quando da solicitação de autorização de lavra, e deverá ser atualizado periodicamente, caso necessário.

## Produção mineral brasileira: balanço recente

---

A produção mineral brasileira apresentou uma elevação expressiva desde 2001, quando era de R\$ 14,7 bilhões, passando para R\$ 52,3 bilhões, em 2009, conforme os últimos dados divulgados pelo DNPM, no anuário mineral de 2010. No período, houve aumento de cerca de 70% no volume de produção dos principais bens minerais.

Os bens minerais são divididos em duas grandes categorias: os minerais não metálicos e os metálicos. De acordo com os dados do anuário para substâncias metálicas (DNPM, 2016a), os minerais metálicos responderam por 76% do valor da produção mineral brasileira em 2015.

Os bens minerais não metálicos, que representaram 24% do valor da produção mineral em 2015, subdividem-se em:

- rochas e minerais industriais, como grafita, magnesita, crisotila, calcário, areia industrial, barita, bentonita e fluorita;
- rochas ornamentais e de revestimento, como granitos, mármore, ardósias e quartzitos;
- materiais para construção civil, como areia, brita e argila;
- agrominerais, como as rochas fosfáticas e o calcário agrícola;
- minerais energéticos, como o carvão mineral;

- pedras preciosas e semipreciosas; e
- água mineral.

Os minerais metálicos distribuem-se em três categorias principais: (i) metais ferrosos, entre os quais ferro, nióbio, manganês e cromo; (ii) metais não ferrosos, como alumínio, cobalto, cobre, chumbo, estanho, metais do grupo da platina, tálio, tântalo, terras-raras, titânio, vanádio, molibdênio e zinco; e (iii) metais preciosos, como ouro e prata.

A produção dos principais minerais metálicos no Brasil está indicada na Tabela 1.

**Tabela 1 | Produção dos principais minerais metálicos no Brasil, em 2015**

Substância mineral	Quantidade bruta (ROM) (t)	Quantidade beneficiada (t)	Valor (R\$)
Ferro	595.606.203	430.836.327	41.940.186.664
Ouro	144.409.249	84	9.534.622.685
Cobre	80.176.949	1.171.669	7.066.721.092
Alumínio (bauxita)	50.105.016	35.715.432	3.500.399.263
Níquel	16.001.454	335.603	3.190.297.818
Nióbio	22.010.703	174.683	660.282.042
Manganês	4.402.738	2.816.675	617.131.403
Estanho (cassiterita)	22.048.167	29.222.194	594.011.281

Fonte: Elaboração própria, com base em DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL.

*Anuário Mineral Brasileiro – principais substâncias metálicas. Ano-base 2015. Brasília, 2016.*

Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>>. Acesso em: 19 out. 2017.

O minério de ferro é o mineral metálico com maior volume de produção. Já entre os minerais não metálicos, os agregados para construção civil (brita, cascalho, areias e calcário) respondem pelo maior volume – acima



de quatrocentos milhões de toneladas em 2015 (DNPM, 2016a). Enquanto os agregados para construção são consumidos quase em sua forma bruta, a produção de minério de ferro demanda processo de concentração, que faz esse minério gerar o maior volume de rejeitos<sup>2</sup> minerais do país.

O minério de ferro responde também pela maioria das minas de grande porte no Brasil – 41 das 67 grandes minas mapeadas em 2015, conforme Tabela 2.

**Tabela 2 | Porte e modalidade de lavra das minas brasileiras dos principais minerais metálicos em 2015**

Substância	Grandes			Médias			Pequenas			Subtotal			Total
	CA	M	S	CA	M	S	CA	M	S	CA	M	S	
<b>Brasil</b>	<b>64</b>	<b>-</b>	<b>3</b>	<b>49</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>49</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>162</b>	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>189</b>
Alumínio (bauxita)	4	-	-	7	-	-	13	-	-	24	-	-	24
Cobre	3	-	1	2	-	-	1	-	-	6	-	1	7
Estanho	4	-	-	18	-	-	8	-	-	30	-	-	30
Ferro	41	-	-	15	-	-	10	-	-	66	-	-	66
Manganês	1	-	-	1	-	1	5	-	-	7	-	1	8
Nióbio	3	-	-	2	-	-	1	-	-	6	-	-	6
Níquel	4	-	-	1	-	-	2	-	-	7	-	-	7
Ouro	4	-	2	3	2	16	9	-	5	16	2	23	41

Fonte: Elaboração própria, com base em DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Anuário Mineral Brasileiro – principais substâncias metálicas*. Ano-base 2015. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>>. Acesso em: 19 out. 2017.

Nota: CA: céu aberto; M: mista; e S: subterrânea.

<sup>2</sup> Na mineração, destaca-se a existência de: resíduos sólidos de extração, em geral deixados na área da própria mina, o chamado estéril; e resíduos do tratamento/beneficiamento, chamados de rejeito.

Com maior número de minas e maior produção de metálicos do Brasil, o minério de ferro é o principal mineral da pauta de exportação brasileira (US\$ FOB 13,3 bilhões, em 2016). Figurou como principal produto brasileiro exportado nos anos de 2005 a 2014, com valor superior a US\$ FOB 200 bilhões, 11,2% das exportações totais no período (BRASIL, 2017a). Mais de 90% de sua aplicação é na produção de aço (CARVALHO *et al.*, 2014). O Brasil é o segundo maior fornecedor mundial, atrás apenas da Austrália. Na Tabela 3, são apresentados os dados da U.S. Geological Survey (USGS) para a produção de minério de ferro em 2015 e 2016, bem como a reserva lavrável e o conteúdo de ferro dos principais produtores mundiais.

**Tabela 3 | Produção e reservas mundiais de minério de ferro (milhões de t)**

	Produção mineral (milhões de t)				Reservas (milhões de t)		
	Minério		Conteúdo de ferro		Minério bruto	Conteúdo de ferro	Fe (%)
	2015	2016	2015	2016			
Austrália	817	825	486	491	52.000	23.000	44
Brasil	397	391	257	254	23.000	12.000	52
China	375	353	232	219	21.000	7.200	34
Índia	156	160	96	98	8.100	5.200	64
Rússia	101	100	61	60	25.000	14.000	56
África do Sul	73	60	46	38	1.200	770	64
Ucrânia	67	58	40	35	6.500	2.300	35
Estados Unidos da América	46	41	29	26	3.000	790	26
Canadá	46	48	28	29	6.000	2.300	38
Irã	27	26	13	11	2.700	1.500	56

*continua*

continuação

	Produção mineral (milhões de t)				Reservas (milhões de t)		
	Minério		Conteúdo de ferro		Minério bruto	Conteúdo de ferro	Fe(%)
	2015	2016	2015	2016			
Suécia	25	25	15	15	3.500	2.200	63
Cazaquistão	21	21	12	12	2.500	900	36
Outros países	132	120	82	75	18.000	9.500	53
<b>Total mundo</b>	<b>2.280</b>	<b>2.230</b>	<b>1.400</b>	<b>1.360</b>	<b>170.000</b>	<b>82.000</b>	<b>48</b>

Fonte: USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral Commodity Summaries*. Iron ore. Jan. 2017. Disponível em: <[https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron\\_ore/mcs-2017-feore.pdf](https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/mcs-2017-feore.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2017.

De acordo com a Tabela 3, em 2016 foram produzidas 2.230 milhões de toneladas de minério de ferro. Segundo CRU International (2017), estima-se uma produção mundial de cerca de 2.304 milhões de toneladas, em 2021.

No Brasil, houve um aumento de 114% da produção beneficiada de minério de ferro, de 2001 a 2015. Essa elevação expressiva da produção mineral no período traz consigo o aumento dos rejeitos, dos riscos e dos potenciais impactos socioambientais associados.

## Riscos e impactos socioambientais

Na indústria de mineração, as atividades são complexas e variadas e, se não gerenciadas adequadamente, podem impactar o meio ambiente e comunidades do entorno. De modo geral, identificam-se riscos e impactos socioambientais relacionados a:

- Saúde e segurança do trabalhador e da comunidade: incidentes causados por eventos maiores, como rompimento de barragens, colapso da mina, explosões e equipamentos defeituosos; uso indevido ou não uso de equipamentos de segurança; problemas respiratórios ou de pele pela exposição à poeira, a químicos ou a outras partículas no ar; e disseminação de doenças transmissíveis.
- Direitos humanos: ocorrência de trabalho infantil ou forçado; condições inadequadas de vida e trabalho para a mão de obra migrante e imigrante; e tratamento inadequado de grupos indígenas e comunidades locais, incluindo destruição arbitrária de sua identidade e estilo de vida, compensações injustas no caso de remoções ou uso desproporcional de força perante grupos de resistência.
- Impactos socioeconômicos na área de influência da mina: questões associadas à migração massiva de população (incluindo os impactos sobre os aparelhos públicos de saúde, educação, habitação, transporte e saneamento) e ao gênero; e efeitos sociais e econômicos danosos decorrentes do planejamento inadequado do encerramento das atividades mineradoras.
- Meio ambiente: alteração do espaço, com degradação da biodiversidade, do solo, do relevo, de florestas, de atividades econômicas existentes e do estilo de vida local; poluição de águas superficiais e subterrâneas, do ar e do solo; e emissões de GEE e os impactos associados à mudança climática.

A presente seção concentra-se em dois dos principais impactos ambientais relacionados à atividade mineral: (i) o potencial de emissões de GEE, derivado do consumo energético; e (ii) a grande movimentação de carga e consequente geração de resíduos.

## Consumo energético e emissões de GEE

Pelas características de suas minas e de sua matriz energética, as emissões do Brasil são mais baixas que as de outros países mineradores.

No II Inventário de Gases Estufa do Setor Mineral, realizado pelo Ibram (2014) com base no inventário brasileiro de 2011, foram medidas as emissões de 16 bens minerais e da pelotização (minério de ferro), que representaram 90% da produção mineral em relação a valor, com emissões totais de 11,3 milhões tCO<sub>2</sub>eq.<sup>3</sup> Esse segmento foi responsável por 0,9% das emissões brasileiras, em um total de 1,3 bilhão tCO<sub>2</sub>eq, em 2011.

As principais fontes de emissões de GEE da mineração são: (i) o consumo de energia no beneficiamento; e (ii) o consumo de combustível utilizado no transporte de minério dentro da mina. Segundo Ibram (2014), 90% das emissões de GEE na mineração resultam dessas atividades.

Assim, é importante analisar o consumo de óleo diesel, nas fases de extração (decapeamento, desmonte e transporte do ROM até o britador primário), e de energia elétrica, no beneficiamento.

Na extração, incluindo o transporte interno, a média mundial de consumo de óleo diesel por tonelada produzida de ROM e levada até a britagem primária foi de 1,37 l/t, em 2016 (CRU INTERNATIONAL,

---

<sup>3</sup> Equivalência em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>eq) é uma medida internacionalmente aceita que expressa a quantidade de GEE em equivalência à quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A equivalência leva em conta o potencial de aquecimento global dos gases envolvidos e calcula quanto de CO<sub>2</sub> seria emitido se todos os GEE fossem emitidos como esse gás. A medida CO<sub>2</sub>eq é usada para comparar as emissões de diversos GEE com base na quantidade de dióxido de carbono que teria o mesmo potencial de aquecimento global (PAG), medido em um período especificado (geralmente cem anos). Por exemplo, o PAG do metano é 28 e o do óxido nitroso é 265. Isso significa que a emissão de um milhão de toneladas métricas de metano e óxido nitroso é equivalente a emissões de 28 milhões e 265 milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono, respectivamente.

2017). Nas minas brasileiras, o consumo médio foi de 1,14 l/t de minério, no mesmo período. A mina de menor consumo apresentou valor de 0,23 l/t, enquanto a de maior consumo, de 5,11 l/t – consideradas as minas com produção acima de duzentas mil toneladas. Na Austrália, maior produtor mundial, o consumo médio, em 2016, foi de 1,37 l/t de minério. A mina de menor consumo apresentou valor de 0,39 l/t, enquanto a de maior consumo, de 3,86 l/t (CRU INTERNATIONAL, 2017). A variância no consumo de óleo diesel nas minas de ferro deve-se a diversos fatores, entre os quais podem ser citados: a *stripping ratio* (relação estéril/ROM); o tipo de ROM; a distância da mina à unidade de beneficiamento; o uso ou não de correias transportadoras; o porte do equipamento de transporte; e a idade da frota de transporte.

A Tabela 4 compara o consumo médio ponderado de óleo diesel na mineração (da extração e transporte até a britagem primária).

**Tabela 4 | Consumo médio de óleo diesel dos principais países produtores de minério de ferro (l/t)**

País	2015	2016	2017*	2018*	2019*
Austrália	1,45	1,37	1,55	1,58	1,58
Brasil	1,11	1,14	1,09	1,04	0,99
China	1,27	1,21	1,10	1,09	1,10
Índia	0,92	1,23	1,23	1,35	1,31
Mundo	1,37	1,37	1,41	1,41	1,39

Fonte: Elaboração própria, com base em CRU INTERNATIONAL. *Iron Ore Cost Model 2017*. CRU International, 2017 (acesso restrito a assinantes).

\* Valores estimados.

Conforme Tabela 4, o menor consumo médio ponderado em 2016 foi o do Brasil e a tendência é de consumo progressivamente menor até

2019, com o *ramp up* da mina S11D, que representa o menor valor de consumo de óleo diesel entre todas as minas do mundo.

No que concerne ao uso de energia elétrica – parâmetro determinante das emissões de GEE no beneficiamento mineral –, segundo CRU International (2017), o consumo médio brasileiro foi de 14,67 kwh/t, enquanto na Austrália esse valor foi de 7,54 kwh/t e na Índia, 7,45 kwh/t. O valor superior observado no Brasil é justificado pelo maior número de unidades que incorporam processos de concentração e/ou aglomeração mineral (70%). Já na Austrália, a participação é de apenas 27% (CRU INTERNATIONAL, 2017). Essa diferença, por sua vez, pode ser explicada pela baixa idade média de minas australianas, derivada da elevada expansão recente de sua produção.

Em que pese o maior consumo de eletricidade no Brasil, o país dispõe de uma das matrizes de geração mais limpas do mundo. De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia (MME), em 2015 a matriz elétrica brasileira contou com uma participação de 74% de renováveis (BRASIL, 2017b), enquanto, na Austrália, essa participação é de apenas 14% e, na Índia, de cerca de 15%. Dessa forma, se considerada a eletricidade derivada do consumo de fósseis, o Brasil desponta novamente como o menor consumo, com aproximadamente 3,81 kwh/t, diante de 6,48 kwh/t na Austrália e de 5,22 kwh/t na Índia.

As médias do consumo energético na fase de beneficiamento, para o minério de ferro, no Brasil, na Austrália, na Índia, na China e no mundo, estão na Tabela 5.

Com base nos dados da Tabela 5 e considerada a baixa participação da geração por fósseis da matriz energética brasileira, a produção do país de minério de ferro é de baixo potencial de emissões de GEE comparativamente aos principais produtores mundiais.

**Tabela 5 | Consumo médio de eletricidade no beneficiamento (incluindo britagem e peneiramento) de minério de ferro dos principais países produtores (kwh/t)**

País	2015	2016	2017*	2018*	2019*
Austrália	7,02	7,54	7,96	7,8	7,63
Brasil	14,11	14,67	14,44	14,14	13,68
China	38,54	37,82	37,13	36,49	36,48
Índia	8,77	7,45	7,64	6,93	7,12
Mundo	17,62	16,37	16,34	15,66	15,48

Fonte: Elaboração própria, com base em CRU INTERNATIONAL. *Iron Ore Cost Model 2017*. CRU International, 2017 (acesso restrito a assinantes).

\* Valores estimados.

## Gestão de resíduos sólidos da mineração

Na mineração, destaca-se como principal fator de riscos e impactos ambientais a existência de: (i) resíduos sólidos de extração, em geral deixados na área da própria mina, o chamado estéril; e (ii) resíduos do tratamento/beneficiamento, chamados de rejeito. A gestão desses resíduos inclui o planejamento e a destinação dos resíduos gerados, seja a adequada disposição, seja a recuperação ou o reaproveitamento, além do monitoramento das estruturas de deposição e dos resíduos depositados.

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem decorrentes de suas atividades são encontradas nas aberturas das cavas, disposição de material estéril (ou inerte ou não aproveitável) proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento (IBRAM, 2016).

Outros resíduos resultantes da operação das plantas de mineração são efluentes das estações de tratamento, pneus, baterias utilizadas nos veículos e maquinários, além de sucatas e resíduos de óleo em geral, cuja disposição se dá em locais e na forma adequados. Trata-se de resíduos industriais de menor impacto, comparativamente ao estéril e ao rejeito; portanto, não são tema deste trabalho.



A Tabela 6 calcula a geração de estéril e rejeitos da produção de minério de ferro no Brasil, com base nos relatórios anuais de lavra apresentados ao DNPM e em estimativas de produção futura.

**Tabela 6 | Produção beneficiada de minério de ferro, volume de rejeito e de estéril (milhões de t)**

Ano	Produção beneficiada Brasil	Produção MG	Produção PA	Rejeito MG	Rejeito PA	Rejeito unidades federativas	Rejeito Brasil	Estéril Brasil
2010	298	207	86	82,8	6,9	2,5	92,2	255,0
2011	372	260	101	104,0	8,1	5,5	117,6	321,5
2012	398	275	110	110,0	8,8	6,5	125,3	343,0
2013	401	277	107	110,8	8,6	8,5	127,9	347,5
2014	386	265	105	106,0	8,4	8,0	122,4	333,5
2015*	420	275	128	110,0	10,2	8,5	128,7	356,0
2016*	430	283	140	127,4	11,2	3,5	142,1	360,0
2017*	470	280	180	126,0	14,4	5,0	145,4	380,0
2018*	520	280	230	126,0	18,4	5,0	149,4	405,0
2019*	530	290	230	130,5	18,4	5,0	153,9	415,0
2020*	540	300	230	150,0	18,4	5,0	173,4	425,0
2021*	540	300	230	150,0	18,4	5,0	173,4	425,0
2022*	550	310	230	155,0	18,4	5,0	178,4	435,0
2023*	550	310	230	155,0	18,4	5,0	178,4	435,0
2024*	560	320	230	160,0	18,4	5,0	183,4	445,0
2025*	560	320	230	160,0	18,4	5,0	183,4	445,0
2026*	560	320	230	160,0	18,4	5,0	183,4	445,0
2027*	570	330	230	165,0	18,4	5,0	188,4	455,0
2028*	570	330	230	165,0	18,4	5,0	188,4	455,0
2029*	580	340	230	170,0	18,4	5,0	193,4	465,0
2030*	580	340	230	170,0	18,4	5,0	193,4	465,0
<b>Soma 2016-2030</b>	<b>8.110,0</b>	<b>4.653,0</b>	<b>3.310,0</b>	<b>2.269,9</b>	<b>264,8</b>	<b>73,5</b>	<b>2.608,2</b>	<b>6.455,0</b>

Fonte: SANTOS, A. A.; HEIDER, M. *Aproveitamento dos resíduos da mineração de ferro*.

In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO MINERÁRIO. Brasília, 10 maio 2017. *Anais eletrônicos* (acesso restrito).

\* Estimativa.

De acordo com os dados projetados, há uma pequena redução da geração de rejeito por volume de produção beneficiado, com o *ramp up* da mina de S11D, representado pelo aumento da produção paraense de 2016 a 2018. Caso a produção cresça, majoritariamente, por novas minas em regiões com elevado teor contido de ferro, como o caso de Carajás, pode haver uma redução gradual na relação rejeito/produção beneficiada.

## Resíduos sólidos de extração – estéril

Estéreis são materiais inertes provenientes do decapeamento superficial da lavra, mantidos na própria mina, em geral em pilhas, ou utilizados no preenchimento de cavas exauridas. O volume de estéril gerado depende das características geológicas da região da lavra e é determinado pela *stripping ratio*, que representa a relação entre o número de unidades de estéril a remover para cada unidade de minério bruto lavrado (ROM). Essa relação, além de ser utilizada para o cálculo do volume de estéril das frentes de lavra, serve ao planejamento da área e dos parâmetros de disposição desse resíduo.

Um dos principais impactos decorrentes do volume de estéril gerado diz respeito à alteração física da paisagem na mina. Segundo Ibram (2016), na operação dos depósitos ou pilhas de estéril, tem avançado a adoção de critérios geotécnicos de controle, incluindo sua recuperação na fase de fechamento.

De acordo com dados de CRU International (2017), a *stripping ratio* média das minas brasileiras de minério de ferro foi de 1,2, em 2016. Esse valor está abaixo da média mundial (1,44) e da Austrália (1,72), que eleva a média mundial. A baixa relação estéril/ROM observada no Brasil reflete as vantagens das formações geológicas brasileiras, que permitiriam maior participação de minas com aflorações de minério próximas à superfície. Já a alta relação evidenciada na Austrália pode

ser em parte explicada por vantagens competitivas de logística, por exemplo, que compensariam custos maiores associados à operação de minas com *stripping ratio* mais elevada.

O Brasil, portanto, tem uma baixa taxa de geração de estéril quando comparado aos demais países produtores. Apesar disso, os altos volumes de produção de minério de ferro foram responsáveis por um volume de estéril superior a trezentos milhões de toneladas em 2014, conforme dados compilados dos relatórios anuais de lavra apresentados ao DNPM.

Apenas como exercício de representação, se considerada uma densidade do estéril de  $1,3 \text{ t/m}^3$ , isso corresponderia a um volume de cerca de 230 milhões de  $\text{m}^3$ , superior a 150 estádios iguais ao Maracanã, localizado na cidade do Rio de Janeiro.

## Resíduos sólidos de beneficiamento – rejeito

O rejeito é definido como a fração desprezada do mineral bruto no beneficiamento de minérios para a obtenção do concentrado, por meio de processos mecânicos e/ou químicos. O rejeito é um material que não será aproveitado economicamente, pelo menos sob as condições vigentes no momento de sua geração. Em que pese o valor econômico proporcionado pelo aproveitamento futuro dos rejeitos, esse material deve ser devidamente armazenado por questões ambientais.

As características dos rejeitos variam de acordo com o tipo de mineral e de seu tratamento na planta de beneficiamento. Os rejeitos podem ser finos – compostos de siltes<sup>4</sup> e argilas, depositados sob a forma de

---

<sup>4</sup> Chama-se silte todo fragmento de mineral ou rocha menor do que areia fina e maior do que argila e que, na escala de Wentworth, de amplo uso em geologia, corresponde a diâmetro maior que  $4 \mu\text{m}$  e menor que  $64 \mu\text{m}$  ( $1/256 = 0,004 \text{ mm}$  a  $1/16 = 0,064 \text{ mm}$ ). De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 6502, sobre rochas e solos, define-se silte como solo com baixa ou nenhuma plasticidade e que exibe baixa resistência quando seco ao ar. As propriedades dominantes de um determinado solo são devidas às partes constituídas pela fração de silte.

lama (polpa) – ou formados por materiais arenosos, que apresentam granulometria mais grossa, denominados rejeitos granulares.

Os rejeitos granulares são altamente permeáveis e contam com uma boa resistência ao cisalhamento e boa sedimentação, características que facilitam sua estabilização em depósitos, enquanto os rejeitos de granulometria fina, as lamas, são de difícil sedimentação.

O rejeito em forma de polpa (lama) passa por três fases de comportamento: (i) de lâmina líquida; (ii) de sedimentação, apresentando-se pastoso e semiviscoso; e (iii) de adensamento, com características típicas de um solo.

O rejeito não é propriamente um solo, embora seu comportamento seja considerado equivalente a esse, porém, com baixa resistência ao cisalhamento, o que permite sua liquefação, quando submetido a agentes externos, como vibrações associadas à movimentação do material, a explosões na própria mina ou a movimentos sísmicos.

No processo de disposição de rejeitos, normalmente, o intervalo de tempo entre o lançamento de camadas consecutivas é suficiente para permitir o ressecamento da camada anteriormente lançada, aumentando, desse modo, a resistência do material. Caso a velocidade de disposição seja muito grande, isso pode alterar as características do depósito, em razão do ressecamento parcial, e facilitar eventual liquefação do rejeito, tornando-o menos resistente ao cisalhamento e mais suscetível a rupturas.

Com base na Tabela 6, o Brasil produziu cerca de 120 milhões de toneladas de rejeitos da produção de minério de ferro em 2014. Os rejeitos são, na maior parte, oriundos de processos de concentração com adição de água e saem na forma de polpa, geralmente depositados em barragens.

## Métodos de disposição de rejeitos

A seleção de um método para a disposição dos rejeitos depende basicamente (IBRAM, 2016):

- da natureza do processo de mineração;
- das condições geológicas e topográficas da região;
- das propriedades mecânicas dos materiais;
- da presença de contaminantes perigosos nos rejeitos; e
- das condições climáticas da região.

O armazenamento de rejeitos pode ser feito a céu aberto, de forma subterrânea ou subaquática.

A forma mais comum de armazenamento é a céu aberto. Nela, os rejeitos ficam em pilhas controladas, em cavas exauridas ou em estruturas de concentração localizadas em bacias ou vales, as quais, em geral, necessitam de barreiras de contenção, denominadas barragens de rejeitos, cujos métodos de construção estão descritos no item seguinte.

Os rejeitos costumam ser transportados em forma de polpa, alguns casos por gravidade através de canais ou por meio de tubulações, com ou sem sistemas de bombeamento, dependendo das elevações relativas entre a planta de beneficiamento e o local onde será descartado (em geral, em barragens).

A ampla utilização de barragens para a deposição de rejeitos provoca os seguintes aspectos negativos relevantes no fator socioambiental:

- supressão de vegetação;
- destruição de *habitats* da fauna;

- redução da biodiversidade;
- elevado uso de água;
- poluição de recursos hídricos; e
- riscos para as comunidades situadas a jusante.

## Barragens de rejeitos: métodos construtivos

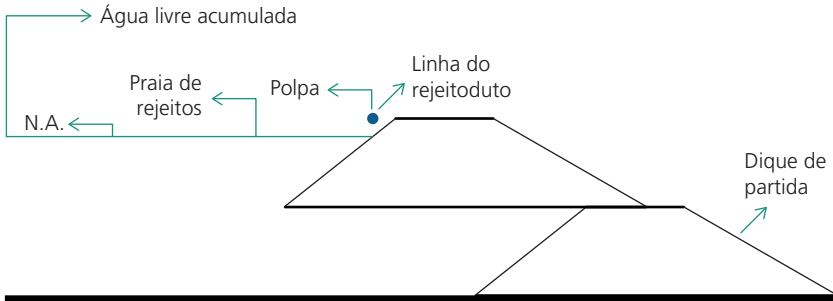
As estruturas de contenção de rejeitos são construídas levantando-se, inicialmente, um dique de partida. As construções posteriores à barreira inicial são chamadas de alteamentos. O dique de partida geralmente é construído com solo de empréstimo, enquanto os alteamentos podem ser construídos com solo de empréstimo e/ou com rejeitos da própria mina. A construção de alteamentos permite aumentar o volume útil de deposição da bacia de rejeitos.

Os alteamentos podem ser feitos de acordo com os seguintes métodos construtivos: (i) método a montante; (ii) método a jusante; e (iii) método da linha de centro. Esses métodos estão descritos, a seguir, de forma sumariada.

### Método a montante

O método a montante, em sua etapa inicial, consiste na construção de um dique de partida, formado geralmente de materiais argilosos compactados. Depois dessa etapa, os rejeitos são depositados a partir da crista do dique inicial, por meio de um rejeitoduto, formando uma espécie de lago de rejeito, que, com o tempo, adensará e servirá de fundação para futuros diques de alteamento, a serem executados com o próprio material de rejeito (Figura 3). O processo é repetido até atingir a cota máxima prevista para o reservatório.

**Figura 3 | Representação esquemática de barragem por método a montante**



Fonte: IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (org.). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

O método a montante tem como vantagens a simplicidade e o baixo custo de construção, porém está associado à maioria das rupturas em barragens de rejeitos em todo o mundo.

Esse tipo de barragem pode apresentar rupturas por percolação<sup>5</sup> e por erosão, muitas vezes associadas à distância entre o lago de decantação e o talude interno da barragem, que, quando não é suficientemente grande, propicia a ocorrência de gradientes hidráulicos elevados, aumentando a pressão sobre a estrutura.

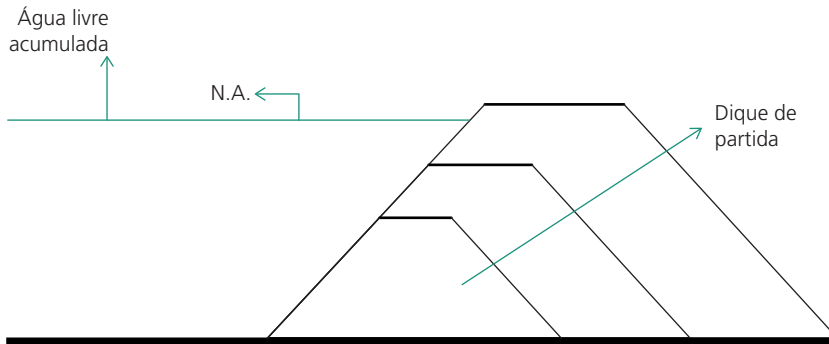
A melhor forma de diminuir o risco de rompimento desse tipo de bacia de rejeito é ter uma grande distância entre a crista da barragem e o lago de decantação, além de contar com um sistema de drenagem interno eficiente.

### Método a jusante

Nesse método, depois da construção do dique de partida, os alteamentos subsequentes são realizados a jusante, até atingir a cota de projeto, conforme Figura 4.

<sup>5</sup> Em física, química e ciência dos materiais, percolação (do latim *percolare*, filtrar) refere-se ao movimento e filtragem de fluidos por materiais porosos. Em geotecnia, percolação refere-se ao fenômeno de deslocamento da água através do solo.

Figura 4 | Representação esquemática de barragem por método a jusante



Fonte: IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (org.). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

O método a jusante é mais conservador que o método a montante e foi desenvolvido para reduzir os riscos de rompimento de barragens pelo efeito da liquefação, em zonas de atividade sísmica ou de movimentos decorrentes de explosões na área da mineração.

Cada alteamento é estruturalmente independente da disposição do rejeito, melhorando, assim, a estabilidade da estrutura. Todo o alteamento da barragem pode ser construído com o mesmo material do dique de partida, assim como os sistemas de drenagem internos podem ser também instalados durante o alteamento, permitindo melhor controle da superfície de contato com o rejeito.

A principal desvantagem desse método é o custo de sua implantação, em razão do grande volume de aterro de que necessita e da grande área que sua construção ocupa.

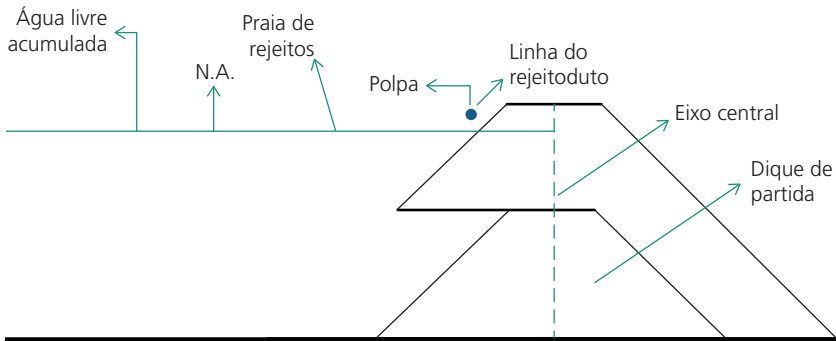
### Método da linha de centro

Esse método é uma solução intermediária entre os dois métodos descritos anteriormente. Tem maior estabilidade que a barragem alteada com o método a montante e não requer, porém, um volume de materiais



tão grande como no alteamento com o método a jusante. O sistema de disposição é similar ao método a montante, com rejeitos lançados a partir da crista do dique de partida, com alteamentos sucessivos, porém permanecendo o eixo de simetria da barragem constante (Figura 5). Se a parte superior do talude perder, eventualmente, o confinamento, podem aparecer fissuras, causando problemas de erosão.

**Figura 5 | Representação esquemática de barragem por método de linha de centro**



Fonte: IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (org.). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

## Barragens de rejeitos: realidade brasileira

De acordo com o Cadastro Nacional de Barragens do DNPM, o Brasil contava, no fim de 2016, com um total de 839 barragens de rejeitos para a mineração.

Com o intuito de reduzir as chances de ocorrerem acidentes e suas drásticas consequências, foi estabelecida a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), pela Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, para regulamentar ações e padrões de segurança. Em seu artigo 1º, a lei, além

de estabelecer tal política, criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (Snisb). Conforme parágrafo único, a lei é aplicada a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

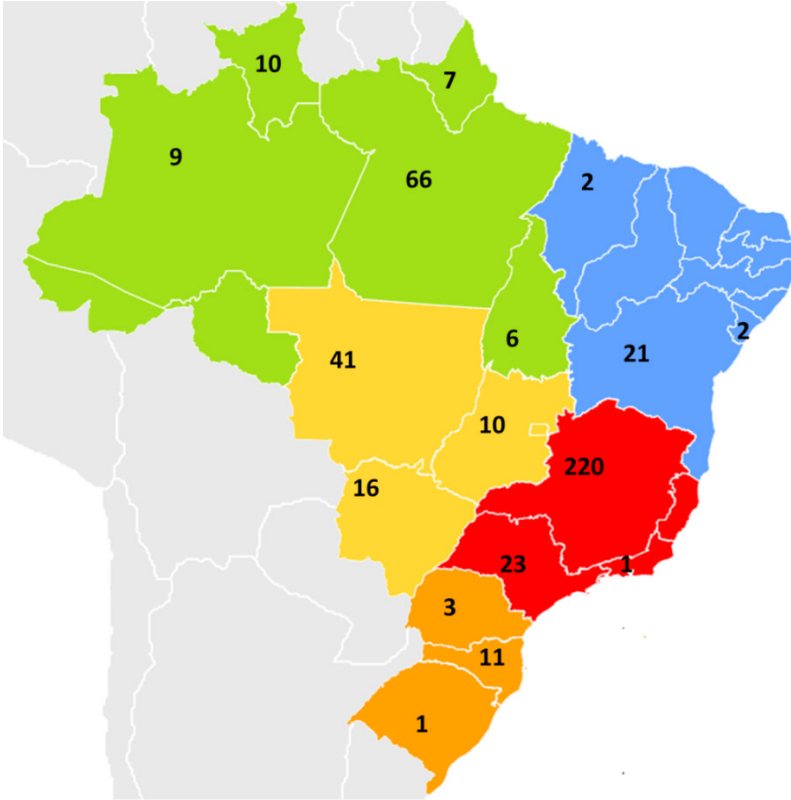
- altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 metros;
- capacidade total do reservatório maior ou igual a três milhões de metros cúbicos;
- reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; e
- categoria de dano potencial associado, médio ou alto, econômico, social, ambiental ou de perda de vidas humanas.

A política tem como objetivo precípua que padrões de segurança de barragens sejam seguidos por meio de um plano de segurança de barragens, cuja implantação é obrigatória pelo empreendedor. Hoje, no Brasil, de acordo com DNPM (2016b), das 839 barragens de rejeitos para a mineração, 449 têm pelo menos uma dessas características e, portanto, estão incluídas na PNSB. Os itens seguintes apresentam a distribuição por localização e tipo de minério, bem como a classificação e definições por classe de risco das 449 barragens incluídas na Política Nacional de Segurança de Barragens.

### Localização e tipo de minério

O maior número de barragens de rejeitos, refletindo suas vocações mineradoras, está concentrado nos estados de Minas Gerais (49%) e do Pará (15%).

**Figura 6 | Mapa de distribuição estadual das barragens de rejeitos incluídas na Política Nacional de Segurança de Barragens**



Fonte: Elaboração própria, com base em dados de DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Diretoria de fiscalização. *Classificação das barragens de mineração*. Data-base dezembro de 2016. 2016. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS\\_2016%20\\_FINAL%2006-01-2017.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2017.

A representatividade do estado e o acidente recente ocorrido em Mariana fazem Minas Gerais ser o estado pioneiro em ações de controle e aprimoramento de regulações aplicadas às barragens e aos resíduos de mineração.

Quanto à distribuição por minério, é possível constatar, na Tabela 7, a predominância das minas de minério de ferro e de ouro, refletindo a

participação na quantidade de minas e a diferença entre produção bruta e beneficiada desses minerais.

**Tabela 7 | Barragens brasileiras incluídas na Política Nacional de Segurança de Barragens – por minérios mais representativos**

<b>Minério</b>	<b>Número de barragens</b>	<b>(%)</b>
Minério de ferro	163	36,30
Minério de ouro primário	71	15,81
Argila + argila arenosa	52	11,58
Caulim	16	3,56
Areia	10	2,23
Minério de estanho primário	9	2,00
Minério de cobre	9	2,00

Fonte: Elaboração própria, com base em dados disponibilizados pelo DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Diretoria de fiscalização. Classificação das barragens de mineração*. Data-base dezembro de 2016. 2016. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS\\_2016%20\\_FINAL%2006-01-2017.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2017.

## Classificação por risco

A PNSB estabelece que as barragens sejam classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e por seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Ao observar a necessidade de diferenciar todo o universo de barragens, quanto à abrangência e à frequência das ações de segurança, a Agência Nacional de Águas (ANA) elaborou uma matriz associando o dano potencial à categoria de risco das barragens, agrupando-as em cinco classes de risco (A, B, C, D e E), representada no Quadro 1.

**Quadro 1 | Matriz de categoria de risco e dano potencial associado**

Categoria de risco	Dano potencial associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	C	E

Fonte: ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Resolução 91, de 2 de abril de 2012. Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem, conforme art. 8º, 10 e 19 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2012/91-2012.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

De acordo com a Resolução 91, de 2 de abril de 2012, da ANA, as barragens qualificadas nas classes iniciais da matriz de categoria de risco e dano potencial associado necessitam elaborar Plano de Segurança da Barragem mais abrangente, além de realizar com mais frequência a Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

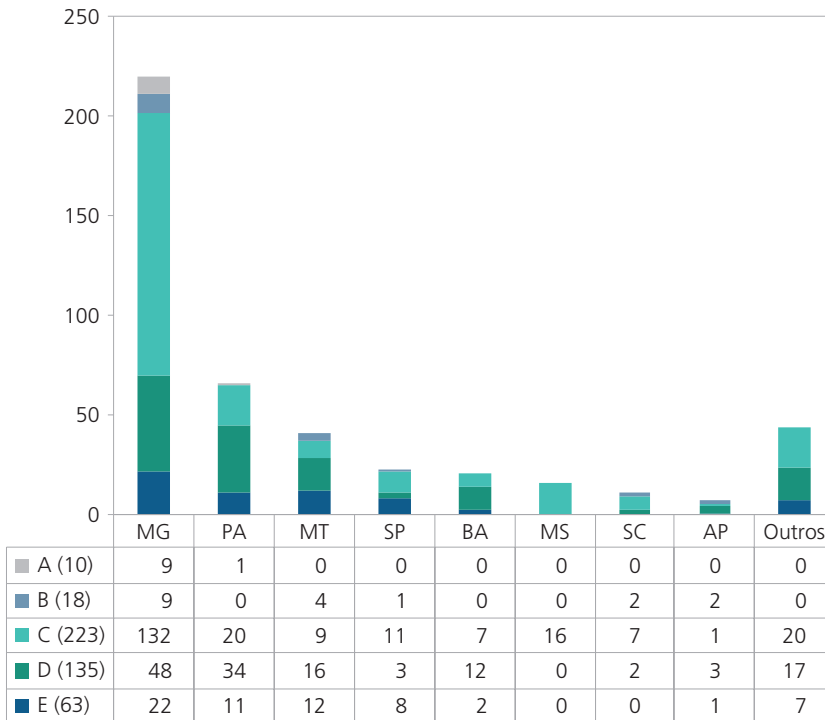
Para as classificações de categoria de risco e dano potencial de barragens, é usada uma metodologia baseada em um somatório de pontos de aspectos relevantes pré-selecionados. O cálculo para a categoria de risco é feito com base nas características técnicas, no estado de conservação e no Plano de Segurança das Barragens. Já o dano potencial envolve o volume total do reservatório, a existência de população a jusante e o impacto ambiental e socioeconômico.

No Gráfico 1, mostra-se a distribuição por classes (A, B, C, D e E) e pelos principais estados das 449 barragens incluídas na PNSB.

O Gráfico 1 demonstra a concentração das barragens classe A em Minas Gerais. A única exceção é a cava do garimpo de ouro de Serra Pelada, no Pará. Essa concentração é determinada tanto pela altura

elevada de barragens mais antigas quanto pela maior proximidade de regiões mais populosas.

**Gráfico 1 | Distribuição de barragens por classe de risco e estado**



Fonte: Elaboração própria, com base em DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Diretoria de fiscalização. *Classificação das barragens de mineração*. Data-base dezembro de 2016. 2016.

Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS\\_2016%20\\_FINAL%2006-01-2017.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2017.

As barragens de classes A e B concentram-se na mineração de ferro e ouro, o que seria explicado principalmente pela localização das minas, próximas a populações em vales a jusante ou a leitos de rio, no caso do ouro.

Por fim, a classificação por risco permite identificar as barragens de maior risco e com alto dano potencial, facilitando o monitoramento

das diversas partes interessadas. Fica evidenciada a responsabilidade do estado de Minas Gerais quanto a normas reguladoras de barragens. O estado também concentra 11 das 17 barragens com volume maior que cinquenta milhões de toneladas, todas consideradas de alto dano potencial.

## Legislação aplicável à segurança de barragens

Este item tem o objetivo de indicar as principais leis e regulamentos federais relacionados a gestão e segurança de barragens de rejeitos no Brasil:

- Lei Federal 12.334, de 20 de setembro de 2010: estabelece as PNSBs destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Snisb, entre outras medidas.
- Resolução 91 da ANA, de 2 de abril de 2012: estabelece periodicidade, qualificação do responsável técnico, conteúdo mínimo e nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem, conforme artigos 8º, 10 e 19 da Lei 12.334/2010.
- Resolução 143 do CNRH do Ministério do Meio Ambiente, de 10 de julho de 2012: estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e seu volume, em atendimento ao artigo 7º da Lei 12.334/2010.
- Resolução 144 do CNRH do Ministério do Meio Ambiente, de 10 de julho de 2012: estabelece diretrizes para implantação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Snisb, em atendimento ao art. 20 da Lei 12.334/2010.

- Portaria DNPM 416, de 3 de setembro de 2012: cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração, conforme a Lei 12.334/2010.
- Portaria DNPM 526, de 11 de dezembro de 2013: estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM), conforme artigos 8º, 11 e 12 da Lei 12.334/2010.

## Tecnologias de baixo impacto para deposição de resíduos

Existem, atualmente, tecnologias sendo pesquisadas para solucionar o problema da disposição de grandes volumes de rejeitos, como é o caso da mineração de ferro. Uma dessas tecnologias é a técnica de filtragem para obtenção de tortas derivadas das lamas, que poderiam ser misturadas à torta de rejeitos granulados, gerando um material com mais baixa umidade. Isso permitiria seu empilhamento, em vez da deposição em reservatórios na forma de polpa, como é feito tradicionalmente.

Frisa-se, mais uma vez, que a metodologia tradicional de disposição de rejeitos em forma de polpa requer grandes áreas para disposição e gera grande impacto ambiental e, por conseguinte, dificuldades para a obtenção de novos licenciamentos, atualmente. A Austrália, desde 2014, é mais rigorosa na liberação de licenciamentos ambientais para projetos de mineração, exigindo tecnologias alternativas de disposição de rejeitos, como a do empilhamento citada.



## Recuperação e reaproveitamento de resíduos

O entendimento de que o rejeito de hoje pode ser o minério de amanhã é uma importante rota para o melhor aproveitamento da geração de rejeitos do setor. Cabe atentar à necessidade de pesquisa e desenvolvimento relacionados ao ciclo de vida dos resíduos, tanto para reduzir sua geração quanto para identificar novos usos para os resíduos gerados (IBRAM, 2016).

Uma abordagem que já vem sendo empregada pela indústria da mineração trata do aproveitamento dos rejeitos para outros usos econômicos, desde que atendam às normas propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Exemplos viáveis e já em prática no setor são o emprego de finos na construção civil e o uso no preenchimento de cavas exauridas de minas e na agricultura.

Pesquisadores da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) já detêm tecnologia para transformação de rejeitos e estéreis de minerações de ferro, bauxita, fosfato e calcário em produtos como cimento (para construção de blocos, vigas, passeios e estradas), areia (que pode alimentar a indústria de vidros e de *chips* de computador) e pigmentos (para a produção de tintas). Embora a iniciativa seja interessante, por limitações de mercado – entre outros motivos, pela rigidez locacional da mina – e pelo baixo preço desses insumos derivados, a utilização restringe-se a um mercado próximo. Portanto, tem um volume muito pouco representativo em relação ao grande volume de estéreis e rejeitos da mineração, principalmente da mineração de ferro, muito intensiva em resíduos.

## Licenciamento ambiental

---

Como efetiva ou potencial degradadora do meio ambiente, a atividade mineral está sujeita a estudo prévio de impacto e ao licenciamento ambiental pelos órgãos competentes, conforme determina a Constituição Federal, em seu artigo 225. Com fundamento nesse artigo e nas obrigações constitucionais de “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas” e “preservar as florestas, a fauna e a flora”, a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, visando, entre outros objetivos, “à compatibilização do desenvolvimento econômico social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico”. No artigo 10, a lei estabelece que atividades utilizadoras de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidoras, ou capazes de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento ambiental, como é o caso da atividade de mineração.

A licença ambiental, antes de serem iniciadas as atividades, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor. Ela dependerá de prévio EIA e respectivo RIMA, no caso da mineração e das demais atividades efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio ambiente.

O EIA deverá demonstrar que: (i) os impactos a serem gerados estão dentro dos limites regulatórios; (ii) está sendo adotada a tecnologia mais eficiente para a operação; e (iii) os impactos serão passíveis de reabilitação. Como critério para a concessão do licenciamento, consideram-se também impactos positivos gerados pelo empreendimento, que contemplam, em muitos casos, a geração de emprego e renda em regiões carentes.

A competência do licenciamento ambiental é compartilhada entre órgão federal, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), órgãos ambientais estaduais e órgãos ambientais municipais. Os empreendimentos e atividades serão licenciados em um único nível de competência. A Resolução 237, de 19 de dezembro de 1997, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), define os empreendimentos e as atividades que serão avaliados por cada nível de competência.

O procedimento de licenciamento ambiental inicia-se com a definição dos documentos, projetos e estudos ambientais necessários pelo órgão licenciador competente. A depender das características do empreendimento e da região inserida, esses estudos podem ser bastante custosos e demorados, impondo uma complexidade elevada ao processo de licenciamento.

O licenciamento ambiental tem sido reconhecido como uma etapa bastante custosa para a viabilização de empreendimentos minerais, em função principalmente da demora e da incerteza dos processos. Entre as principais críticas apontadas pelo setor, está a falta de uma política clara e objetiva, capaz de reduzir o grau de discricionariedade dos técnicos dos diferentes órgãos licenciadores. Uma crítica comum é a exigência de compensações voltadas mais ao suprimento de carências governamentais não atendidas pelo poder público do que à reparação de impactos ambientais. A ausência de regulação que trate das questões sociais envolvidas e a frequente judicialização de conflitos ambientais também são reclamações recorrentes do setor.

Se, por um lado, a regulação atual parece carecer de maior objetividade e definições mais claras para delinear um processo com menores incertezas, por outro lado, a condução inadequada do licenciamento por parte das

empresas é outra dificuldade imposta aos processos. Diagnósticos sem a abordagem adequada dos vetores ambientais (hidrogeologia, cavidades, unidades de conservação, comunidades tradicionais, bioma, entre outros) e a falta de conexão entre os impactos e as medidas mitigadoras propostas imprimiriam maior morosidade ao processo. Além disso, a ineficiência das empresas na comunicação e a falta de transparência com as comunidades afetadas tendem a dificultar a etapa de audiências públicas, principal momento de participação social no procedimento de licenciamento ambiental.

Adicionalmente, o grande volume de processos e a possibilidade de punição criminal dos técnicos dos órgãos licenciadores contribuem para um processo por vezes excessivamente conservador e incerto. A elevada incerteza associada aos processos de licenciamento ambiental afeta negativamente as decisões de investimento, de forma significativa no caso da mineração, dado o caráter cíclico dos investimentos e das condições de mercado. Em face dessas dificuldades, ações têm sido encampadas, com o objetivo de simplificação dos processos.

A Lei 21.972, de 21 de janeiro de 2016 (Lei do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), de Minas Gerais, prevê, por exemplo, a expedição concomitante das licenças: licença prévia e licença de instalação, sendo a licença de operação expedida posteriormente; licença de instalação e licença de operação, sendo a licença prévia expedida previamente; ou licença prévia, licença de instalação e licença de operação. A lei estabelece também prazos de análise para cada modalidade de licenciamento.

Destaca-se também a tramitação da Lei Geral do Licenciamento Ambiental, Projeto de Lei 3.729, de 2004, atualmente na Comissão de Finanças e Tributação (CFT), com parecer favorável do relator

apresentado em agosto de 2017, cujo texto inclui dispositivos para simplificação dos processos de licenciamento e redução dos prazos de análise. As proposições têm sido amplamente debatidas com vistas a assegurar o adequado cumprimento do papel dos órgãos ambientais licenciadores, a exemplo de análise publicada pelo Ibama logo depois da apresentação do parecer.

Por fim, o longo período de tramitação e diversos apensos ao referido projeto refletem o desafio da condução de propostas de revisão dos marcos de licenciamento ambiental, que deve compatibilizar necessidades e características por vezes antagônicas, tais como amplo escopo de abrangência, rigor metodológico e agilidade processual.

## Licenciamento ambiental de barragens pós-acidente de Mariana

O trágico acidente ocorrido em Mariana impulsionou diversos esforços emergenciais com o objetivo de evitar a possibilidade de um novo rompimento de barragem no futuro. Diante da gravidade do acidente e da concentração de barragens no estado, foi constituída, em 12 de novembro de 2015, a Comissão Extraordinária das Barragens da Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG). A referida comissão nasceu com a finalidade de tratar dos impactos e desdobramentos das ações de recuperação em relação ao rompimento das barragens, bem como de discutir a situação de outras barragens existentes no estado. Dentre os trabalhos da comissão, destaca-se a realização de duas audiências públicas e dez visitas técnicas.

Os resultados dos trabalhos realizados pela comissão abrangem recomendações às diversas partes interessadas, encaminhamento do projeto de lei sobre o licenciamento ambiental e a fiscalização de barragens no

estado (Projeto de Lei 3.676, de 5 de julho de 2016) e manifestação de apoio ao Projeto de Lei 3.312, de 2016, de autoria do governador de Minas Gerais, que institui a Política Estadual dos Atingidos por Barragens e Outros Empreendimentos.

Dentre as constatações e recomendações exaradas no relatório da comissão aprovado em 7 de julho de 2016, foram destacadas: (i) a busca de alternativas tecnológicas que não utilizem barragens para a disposição final de rejeitos e resíduos dos empreendimentos minerários; e (ii) o desenvolvimento progressivo e contínuo de tecnologia para o aproveitamento econômico de resíduos minerários. A busca de alternativas tecnológicas às barragens foi também matéria da Lei 21.972, de 21 de janeiro de 2016 (Lei Estadual de Meio Ambiente). Em seu artigo 30, atribui ao Poder Executivo a obrigação de fomentar, por todos os meios, alternativas à implantação de barragens, com a finalidade de promover a preservação do meio ambiente e a redução dos impactos ambientais gerados por empreendimentos de mineração.

No mesmo ano, foi publicado o Decreto 46.993, de 2 de maio de 2016, que instituiu a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem. A auditoria deverá ser realizada em todos os empreendimentos que fazem a disposição final ou temporária de rejeitos de mineração em barragens que utilizem ou tenham utilizado o método de alteamento para montante. Ressalta-se que o decreto suspendeu temporariamente o licenciamento de novas barragens e a ampliação de barragens já existentes que pretendam utilizar ou utilizem o método de alteamento a montante.

A proposta de um novo marco regulatório para o licenciamento ambiental e a fiscalização de barragens no estado de Minas Gerais (Projeto de Lei 3.676/2016) confere maior rigor em relação à legislação ora vigente (Lei 15.056, de 31 de março de 2004) e pretende ser um divisor de águas

na prevenção de novos desastres. Desde sua proposição até o estágio atual, em tramitação na Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, o projeto anexou várias proposições relacionadas, entre as quais uma de iniciativa popular.

Importantes destaques desse projeto de lei são:

- a obrigatoriedade de busca de alternativas técnicas às barragens;
- a proibição de novas barragens com o método conhecido por alteamento a montante;
- o fim das licenças concomitantes para as várias fases do licenciamento ambiental, com exigência de realização de audiência pública antes da análise do pedido de licença prévia; e
- o condicionamento da licença de operação à implantação do Plano de Segurança de Barragem, que deverá ser apresentado para a análise do pedido e incluir o PAE.

Cabe destacar a fala do relator da redação atual em tramitação, considerando a concentração de barragens de rejeitos no estado de Minas Gerais: “Temos o dever de promover técnicas mais modernas de construção de barramentos e alternativas viáveis e mais benéficas ambientalmente para tal” (MINAS GERAIS, 2016b).

O acidente de Mariana recobrou a responsabilidade das diversas partes envolvidas na gestão de barragens, em relação a seus riscos e danos potenciais associados, que podem significar desastres com perda de vidas humanas. Por isso, ganham força tanto medidas objetivas de maior rigor para o licenciamento quanto a participação das comunidades efetiva e potencialmente afetadas. As empresas mineradoras deverão ser cada vez mais capazes de assegurar ações efetivas de gestão de riscos e impactos e de geração de benefícios e legados, de forma a conquistar a confiança

e obter a aceitação e o apoio dos diferentes públicos. Essa aceitação social e o reconhecimento pelas empresas de que a sociedade pode dar ou recusar apoio a um empreendimento conformam o conceito de Licença Social para Operar (LSO), aplicado à discussão sobre a sustentabilidade de empreendimentos minerais.

Um exemplo atual desse movimento é a dificuldade enfrentada pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) para licenciar o alteamento da barragem de Congonhas, localizada em região central de Minas Gerais. Depois de aguardar aprovação, desde 2014, o plano de alteamento da barragem acima da cota atual de 933 metros teria sido rejeitado pela população da cidade. De acordo com notícia da revista *Mineração & Sustentabilidade*, publicada em 4 de outubro de 2017,

durante a audiência pública na Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG), representantes de associações de moradores e de entidades de classe do município entregaram à Comissão de Direitos Humanos da ALMG um abaixo-assinado exigindo que o alteamento não ocorra (VIEIRA, 2017).

A barragem está localizada a trezentos metros do perímetro urbano e, segundo o plano de gestão de risco da própria CSN, um eventual rompimento da barragem atingiria, de imediato, 350 casas, com 1.500 vítimas. Conforme dados do Cadastro Nacional de Barragens de dezembro de 2016 (DNPM, 2016b), a barragem de Casa de Pedra tem altura de 84 metros, é considerada de médio porte e classifica-se como de alto dano potencial.

## Atuação do BNDES

---

A mobilização para o desenvolvimento das potencialidades do setor mineral brasileiro envolveu, em 2015, um esforço de identificação de



oportunidades em tecnologia e inovação. O trabalho contou com a participação de importantes instituições de governo e uma rodada de debates com entidades privadas, com o objetivo de elencar ações de apoio a desenvolvimento, sustentabilidade e inovação no setor de mineração e transformação mineral. Como resultado desse esforço, o BNDES e a Finep – Empresa Brasileira de Inovação e Pesquisa lançaram o Inova Mineral, plano de fomento estruturado que permite acesso unificado aos diversos instrumentos de apoio de ambas as instituições.

Entre as potenciais oportunidades de investimentos em inovação para desenvolvimento e promoção de sustentabilidade ambiental, cinco grandes temas compõem o Inova Mineral. Esses temas são relacionados à produção e agregação de valor em minerais abundantes no país e/ou de elevado impacto atual e esperado na balança comercial, a processos mais eficientes e socioambientalmente sustentáveis e a bens e serviços ofertados ao setor de mineração e transformação mineral.

Os temas mais intrinsecamente ligados à questão ambiental subsidiaram a definição de duas linhas temáticas no âmbito do Inova Mineral.

- Tecnologias e processos mais eficientes de mineração: oportunidades em tecnologias para superação de problemas técnicos atuais e com objetivo de elevar a produtividade e a sustentabilidade ambiental do setor de mineração e transformação mineral.
- Tecnologias e processos para redução e mitigação de riscos e impactos ambientais:
  - recuperação e reaproveitamento de resíduos;
  - recuperação, reutilização, redução ou eliminação de água utilizada nos processos da mineração;
  - redução ou eliminação do uso de elementos contaminantes na produção e no beneficiamento de minérios;

- sistemas e tecnologias de baixo risco ambiental para deposição de resíduos;
- novos sistemas e tecnologias de construção de barragens e monitoramento e controle de riscos ambientais; e
- mecanismos inovadores de fechamento de mina e reabilitação de áreas degradadas.

O plano Inova Mineral encontra-se em fase de avaliação e análise dos projetos para contratação. Destaca-se a expressiva parcela de planos de negócios relacionados à questão ambiental, que contou com o maior número de projetos submetidos e selecionados nas duas chamadas já realizadas. Na primeira, foram selecionados dez planos de negócios para redução e mitigação de riscos e impactos ambientais – quatro voltados ao desenvolvimento de sistemas e tecnologias para monitoramento de barragens e seis para recuperação e transformação de resíduos em coprodutos. Na segunda chamada, foram selecionados sete planos de negócios com apelo ambiental, entre projetos para recuperação de resíduos, processos mais eficientes de recuperação e modelos de otimização de processos e manutenção inteligente de equipamentos de mineração.

Para apoio à inovação e à sustentabilidade ambiental, o Banco oferece linhas de financiamento com condições diferenciadas: concessão de prazos mais longos de carência e amortização e maior percentual de participação nos investimentos.

As novas políticas operacionais do BNDES contemplam linhas específicas com condições diferenciadas para projetos de mineração que empreguem novas tecnologias ligadas à questão ambiental. Nelas, destaca-se o apoio a investimentos em mineração que envolvam:

- novas tecnologias para recuperação e reaproveitamento de resíduos e elementos dispersos;
- tecnologias para recuperação, reutilização, redução ou eliminação de água utilizada nos processos;
- tecnologias para eliminação do uso de elementos contaminantes na produção e no beneficiamento de minérios;
- novos sistemas e tecnologias de baixo risco ambiental para deposição de resíduos da mineração;
- novos sistemas e tecnologias de construção, monitoramento e controle de barragens e de riscos ambientais;
- mecanismos inovadores de fechamento de mina e reabilitação de áreas degradadas;
- uso das chamadas bactérias mineradoras, para a oxidação dos minerais sulfetados presentes nos rejeitos, de forma acelerada, controlada e segura, diminuindo o impacto da drenagem ácida de minas (DAM); e
- uso de *softwares* de planejamento de lavra que incorporam a melhora da modelagem das cavas e da eficiência da mineração.

No que se refere à sustentabilidade social, o setor de mineração, por contemplar um universo de grandes projetos, é um dos setores com maior volume de investimentos sociais no entorno dos projetos, os quais foram financiados pelas melhores condições financeiras do BNDES. De 2006 a 2016, foram contratados com o BNDES investimentos sociais da ordem de R\$ 270 milhões, de acordo com critérios que buscam maximizar o impacto transformador desses investimentos sobre a vida de pessoas em situação de vulnerabilidade social.

## Conclusões

---

O Brasil se destaca como um dos maiores fornecedores mundiais de bens minerais. A expressiva elevação da produção nos últimos anos traz consigo um aumento dos riscos e impactos, associados ao alto volume de resíduos gerados e às emissões de GEE, impondo ao setor o desafio de compatibilizar seus processos e volumes de operação às exigências ambientais crescentes.

Em que pese o maior impacto derivado do volume crescente da produção, o presente estudo demonstrou aspectos positivos da mineração brasileira, a exemplo do baixo potencial de emissões de GEE em comparação aos principais produtores mundiais, por apresentar o menor consumo de óleo diesel na extração mineral e consumo moderado de eletricidade no beneficiamento, associado à baixa participação da geração por fósseis da matriz energética do país.

O volume crescente de resíduos gerados na mineração constitui o maior fator de risco e impactos, demandando aprimoramentos nos mecanismos de gestão e desenvolvimento de tecnologias alternativas para deposição de baixo risco e para a recuperação desses resíduos.

O país conta com um grande conjunto de barragens de rejeitos da mineração, concentradas principalmente em Minas Gerais. O estado, depois de sofrer o desastre de Mariana em novembro de 2015, demonstrou esforços efetivos de regulamentação com o objetivo de reduzir o risco de mais um rompimento de barragem no futuro. Esses esforços culminaram com a proposta de um novo marco regulatório para o licenciamento ambiental e a fiscalização de barragens no estado, o qual confere maior rigor em relação à legislação ora vigente. Nesse contexto, há perspectiva

de aumento da importância da chamada LSO para a sustentabilidade dos empreendimentos mineiros.

Por fim, os agentes do setor deverão ser capazes de enfrentar o grande desafio de obter e manter suas licenças ambiental e social para operar. Para isso, fazem-se fundamentais a busca e o desenvolvimento progressivo e contínuo de tecnologias mais benéficas ambientalmente e também a busca por maior transparência e ampliação do diálogo com a sociedade, com vistas a ampliar e transmitir efetivamente impactos positivos capazes de promover a aceitação social, apesar dos riscos e impactos derivados sobretudo da elevada geração de resíduos.

Para isso, o BNDES vem apoiando as mineradoras brasileiras em seus planos de investimentos voltados ao desenvolvimento e à adoção de tecnologias mais sustentáveis, bem como nos de investimentos sociais realizados nas comunidades afetadas, com objetivo de promover a sustentabilidade de médio e longo prazo dos empreendimentos da mineração.

Segundo Ian Thomson, um dos principais divulgadores do conceito da LSO, “estamos operando em uma era em que a licença social é tão importante – se não mais importante – do que o potencial econômico do empreendimento” (SUA EMPRESA..., 2013).

## Referências

---

BRASIL. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 5 out. 2017.

\_\_\_\_\_. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 237, de 19 de dezembro de 1997. Define os empreendimentos e atividades que serão avaliados por cada nível de competência para o licenciamento ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei 3.729, de 2004. Oferece um instrumento legal que regule o licenciamento ambiental e a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA de empreendimentos utilizadores de recurso ambiental ou potencialmente causadores de degradação do meio ambiente, além da criação de simplificadores no processo de licenciamento ambiental. Disponível em: <[http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=635365&filename=Tramitacao-PL+3729/2004](http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=635365&filename=Tramitacao-PL+3729/2004)>. Acesso em: 2 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm)>. Acesso em: 5 out. 2017.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução 143, de 10 de julho de 2012a. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/semarh/DOC/DOC000000000020854.PDF>>. Acesso em: 20 out. 2017.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução 144, de 10 de julho de 2012b. Estabelece diretrizes para implantação da Política Nacional de Segurança de Barragens. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=1636](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1636) PDF>. Acesso em: 5 out. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. *Estatísticas de Comércio Exterior – séries históricas: fator agregado e produtos*. 2017a. Disponível em: <[http://www.mdic.gov.br/balanca/SH/FAT\\_PPE\\_PPI.xlsx](http://www.mdic.gov.br/balanca/SH/FAT_PPE_PPI.xlsx)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. *Energia no mundo – matrizes e indicadores – anos ref. 2015-16*. 2017b. Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=3jo5qv\\_hj0VSqEWmqjyeo\\_UFNDYLx3GfBg41n4UpEF0,&dl](http://www.mme.gov.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=3jo5qv_hj0VSqEWmqjyeo_UFNDYLx3GfBg41n4UpEF0,&dl)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. *Boletim informativo do setor mineral*. 2017c. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/2674215/Boletim+Informativo+do+Setor+Mineral+2017+%28PDF%29/416c7c4c-6046-4ab6-bfbb-92251f87b656?version=1.2>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

CARVALHO, P. L. *et al.* Minério de ferro. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 39, p. 197-234, mar. 2014.

CRU INTERNATIONAL. *Iron Ore Cost Model 2017*. (Acesso restrito a assinantes). CRU International, 2017.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Portaria 416, de 3 de setembro de 2012. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-416-em-03-09-2012-do-diretor-geral-do-dnpm>>. Acesso em: 5 out. 2017.

\_\_\_\_\_. Portaria 526, de 9 de dezembro de 2013. Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM). Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-526-em-09-12-2013-do-diretor-geral-do-dnpm>>. Acesso em: 9 out. 2017.

\_\_\_\_\_. *Anuário Mineral Brasileiro – principais substâncias metálicas*. Ano-base 2015. Brasília, 2016a. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>>. Acesso em: 19 out. 2017.

\_\_\_\_\_. Diretoria de Fiscalização. *Classificação das barragens de mineração*. Data-base dezembro de 2016. 2016b. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS\\_2016%20\\_FINAL%2006-01-2017.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf)>. Acesso em: 4 out. 2017.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *II Inventário de Gases Estufa do Setor Mineral*. Brasília, 2014. Disponível em:

<<https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2017/06/00005153.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. (org.). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. *Relatório anual de atividades – junho 2016 a junho 2017*. 2017. Disponível em: <[http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2017/08/WEB\\_REL\\_IBRAM\\_2017.pdf](http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2017/08/WEB_REL_IBRAM_2017.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2017.

ICMM – INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. *The role of mining in national economies*. 2. ed. London, 2014.

MINAS GERAIS. Lei 15.056, de 31 de março de 2004. Estabelece diretrizes para a verificação da segurança de barragem e de depósito de resíduos tóxicos industriais e dá outras providências. Disponível em: <[http://sou.plamps.com.br/peixevivo/wp-content/uploads/2010/02/images\\_arquivos\\_legislacaoambiental\\_RESIDUOSSOLIDOS\\_lei%20estadual%20n%2015.056-2004.pdf](http://sou.plamps.com.br/peixevivo/wp-content/uploads/2010/02/images_arquivos_legislacaoambiental_RESIDUOSSOLIDOS_lei%20estadual%20n%2015.056-2004.pdf)>. Acesso em: 6 nov. em: 10 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Assembleia Legislativa de Minas Gerais. Projeto de Lei 3.312, de 2016a. Institui a Política Estadual dos Atingidos por Barragens e Outros Empreendimentos e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.almg.gov.br/atividade\\_parlamentar/tramitacao\\_projetos/texto.html?a=2016&n=3312&t=PL](https://www.almg.gov.br/atividade_parlamentar/tramitacao_projetos/texto.html?a=2016&n=3312&t=PL)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Assembleia Legislativa de Minas Gerais. Projeto de Lei 3.676, de 5 de julho de 2016b. Dispõe sobre o licenciamento ambiental e a fiscalização de barragens no Estado. Disponível em: <[https://www.almg.gov.br/atividade\\_parlamentar/tramitacao\\_projetos/documento.html?a=2016&n=3676&tipoProjeto=PROJETO%20DE%20LEI&s=PL&link=%2Fproposicoes%2Fpesquisa%2Favancada%3Fexpr%3D%28PL.20160367604799%5Bcodi%5D%29%5Btxm-t%5D%26pesqProp%3Dtrue](https://www.almg.gov.br/atividade_parlamentar/tramitacao_projetos/documento.html?a=2016&n=3676&tipoProjeto=PROJETO%20DE%20LEI&s=PL&link=%2Fproposicoes%2Fpesquisa%2Favancada%3Fexpr%3D%28PL.20160367604799%5Bcodi%5D%29%5Btxm-t%5D%26pesqProp%3Dtrue)>. Acesso em: 27 out. 2017.

\_\_\_\_\_. Decreto 46.993, de 2 de maio de 2016c. Institui a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=41216>>. Acesso

\_\_\_\_\_. Lei 21.972, de 21 de janeiro de 2016d. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, jan. 2016. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=40095>>. Acesso em: 6 nov. 2017.



SUA EMPRESA tem licença social para operar? *Revista Digital*, 17 out. 2013. Disponível em: <<http://www.revistadigital.com.br/2013/10/sua-empresa-tem-licenca-social-para-operar/>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

VIEIRA, A. C. Moradores de Congonhas rejeitam alteamento de barragem da CSN. *Mineração & Sustentabilidade*, 4 out. 2017. Disponível em: <<http://revistamineracao.com.br/2017/10/04/moradores-de-congonhas-rejeitam-alteamento-de-barragem-da-csn/>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

