

Descaracterização de barragens de contenção de rejeitos de mineração: marcos regulatórios, técnico-normativos e procedimentos

Mischaracterization of mining tailings containment dams: regulatory frameworks, technical normative and proceedings

¹ João Carlos Jânio Gigolotti  

² Fábio Luis França de Faria 

³ Francisco Jácome Gurgel Júnior 

1 Doutor em Engenharia de Materiais (EEL/USP). FAT/UERJ.

2 Professor Mestre do Instituto Militar de Engenharia.

3 Doutor em Ciências Ambientais e Florestais (UFRRJ). Professor na SEEDUC-RJ. Professor no Centro Universitário de Volta Redonda-UniFOA.

RESUMO

Este artigo visa ao estudo dos aspectos legais, regulatórios e técnico-normativos da descaracterização de barragens de contenção de rejeitos de mineração, tendo por base pesquisa bibliográfica e documental. Além disso, discute-se a eficácia desses marcos regulatórios na orientação de profissionais e gestores de barragens, tentando apresentar sugestões de procedimentos. Está estruturado em introdução voltada para o histórico da construção de barragens no Brasil e no mundo. No desenvolvimento, é apresentada uma visão geral dos tipos de barragens de contenção de rejeitos de mineração. A seguir, é apresentado o arcabouço legal que enquadra a gestão dessas barragens e as normas técnicas atinentes a essas obras de engenharia e sua descaracterização adequada à recuperação ambiental. Conclui-se que, nos últimos anos, de uma forma geral, ocorreu paulatina evolução dos marcos regulatórios para a descaracterização dessas barragens. Contudo, há necessidade de maior detalhamento, especialmente nos aspectos técnico-normativos, que defina ações e oriente os profissionais envolvidos no projeto e execução de obras de descaracterização que ofereçam segurança pública e recuperação dos ambientes degradados.

Palavras-chave:

Barragens. Descaracterização. Rejeitos. Mineração.

ABSTRACT

This article aims to study the legal, regulatory and technical-normative aspects of the mischaracterization of mining tailings containment dams, based on bibliographic and documentary research. In addition, it discusses the effectiveness of these regulatory frameworks in guiding professionals and dam managers, trying to present suggestions for procedures. It is structured in an introduction focused on the history of dam construction in Brazil and in the world. In the development, an overview of the types of mining tailings containment dams is presented. Next, the legal framework that frames the management of these dams and the technical standards relating to these engineering works and their appropriate mischaracterization for environmental recovery is presented. It is concluded that, in recent years, in general, there has been a gradual evolution of the regulatory frameworks for the mischaracterization of these dams. However, there is a need for greater detail, especially in the technical-normative aspects, which define actions and guide the professionals involved in the design and execution of mischaracterization works, which offer public safety and recovery of degraded environments.

Keywords:

Dams. Mischaracterization. Waste. Mining.

Como você deve citar?

GIGIOTTI, J. C. J. ; FRANÇA DE FARIA, F. L.; GURGEL JÚNIOR, F. J. Descaracterização de barragens de contenção de rejeitos de mineração: marcos regulatórios, técnico-normativos e procedimentos. *Cadernos UniFOA*, Volta Redonda, v. 17, n. 49, p. 29–47, 2022. DOI: 10.47385/cadunifoa.v17.n49.3911. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/3911>. Acesso em:

1 INTRODUÇÃO

As barragens estão entre as mais antigas obras de engenharia no mundo [1,2] e, como tal, também fazem parte da história e evolução do Brasil. As secas no Nordeste, especialmente no Polígono das Secas, motivaram a construção de grandes barragens para suprimento de água e irrigação, como o açude Apicucos, no Século XVI, e no reinado de D. Pedro II, no século XIX. [3]

No início do século XX, no Sul e Sudeste, as maiores barragens foram direcionadas para a produção de energia elétrica, como a hidrelétrica Edgard de Sousa, no rio Tietê, cuja barragem ultrapassava 15 metros de altura. Entrou em operação em 1901 e atendia a cidade de São Paulo. [3] Algumas décadas depois, a construção da usina hidrelétrica de Itaipu, uma das maiores do mundo [4], tornou o país referência mundial em construção, segurança de barragens e estudos de concreto [5].

No âmago da evolução das diversificadas atividades econômicas no Brasil, a exploração mineral, que tomou forma a partir do século XVII, apresentou contínua expansão até a atualidade, acompanhada, na mesma proporção, da construção de grande número de barragens de rejeitos de mineração.

Contudo, apesar da longa tradição da engenharia brasileira na construção de barragens, os anos de 2015 e 2019 foram marcantes para o país e, especialmente, para Minas Gerais, no que tange à segurança de barragens. O sucessivo rompimento das barragens de rejeitos de mineração do Fundão, em Mariana, e de Brumadinho, resultaram em centenas de pessoas mortas, desaparecidas e desabrigadas e ocasionaram extensos danos ambientais, particularmente à bacia do rio Doce e ao litoral do Espírito Santo. [6,7] O desastre de Brumadinho, considerado de alta gravidade, segundo critério da Organização das Nações Unidas (ONU) [8], figura entre os maiores dessa natureza no mundo.

Esses desastres tornaram patente a necessidade de mudanças nos marcos regulatórios, no tocante à construção, à operação, à segurança e à descaracterização de barragens de rejeitos de mineração no país, o que inclui uma determinação para a completa desativação de todas as barragens construídas por alteamento a montante, dado ao risco que oferecem à segurança das pessoas, do patrimônio e do meio ambiente. Isso significa que dezenas de barragens terão que ser desativadas, o que justifica estudos pormenorizados para sua descaracterização.

Assim sendo, este trabalho tem por objetivos apresentar e discutir os aspectos legais, regulatórios e técnico-normativos relativos à descaracterização de barragens de rejeitos de mineração no Brasil, bem como o detalhamento das ações de recuperação ambiental decorrentes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Barragens de contenção de rejeitos de mineração

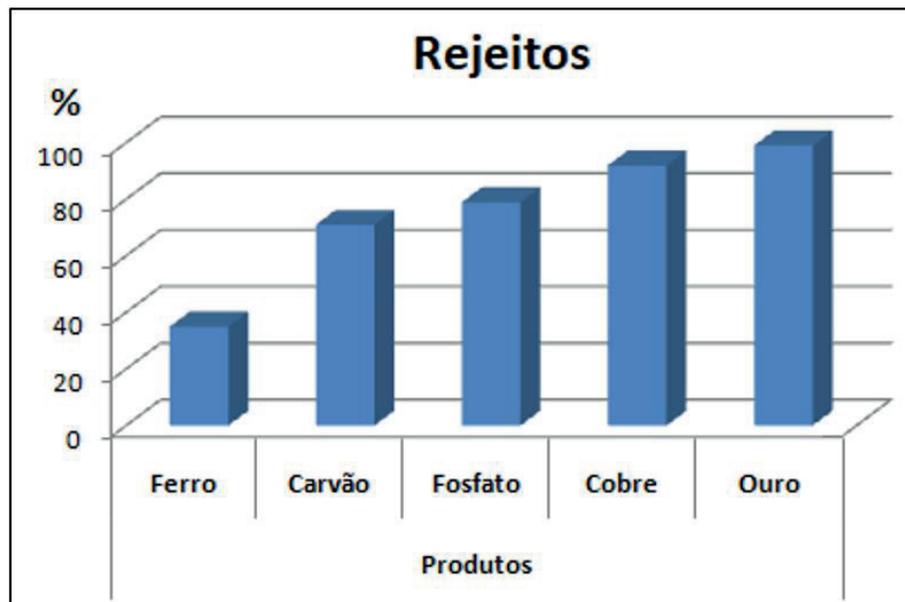
De uma forma geral, barragens são estruturas construídas em vales e destinadas a fechá-las transversalmente para represamento de água [9], e podem ser construídas com concreto, terra e rochas [10]. A escolha do tipo de barragem a ser construída depende de muitos fatores, destacando-se os geológico-geotécnicos, pois os locais onde são implantadas, vales de rios, normalmente, representam “uma linha de maior fraqueza do terreno”. [11]

Segundo a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB ou ICOLD – *International Committee on Large Dams*), há no mundo cerca de 50 mil grandes barragens em operação, menos de 5% destinados ao depósito de rejeitos de mineração, sendo “de terra” o tipo predominante. Predominante também é a quanti-

dade de acidentes envolvendo barragens de terra, 70% do total [10,12], cujas causas são atribuídas a falhas no projeto, investigações hidrológicas e geológico-geotécnicas inadequadas e deficiências construtivas.

As barragens de rejeitos de mineração são necessárias, porque, no processo de lavra e beneficiamento do minério bruto, são produzidas grandes quantidades de rejeitos descartados, na maior parte, constituídos pelos “minerais de ganga”, como nos exemplos do Gráfico 1 [13].

Gráfico 1 - Percentual médio de rejeitos gerados nos processos de beneficiamento de alguns tipos de minérios.

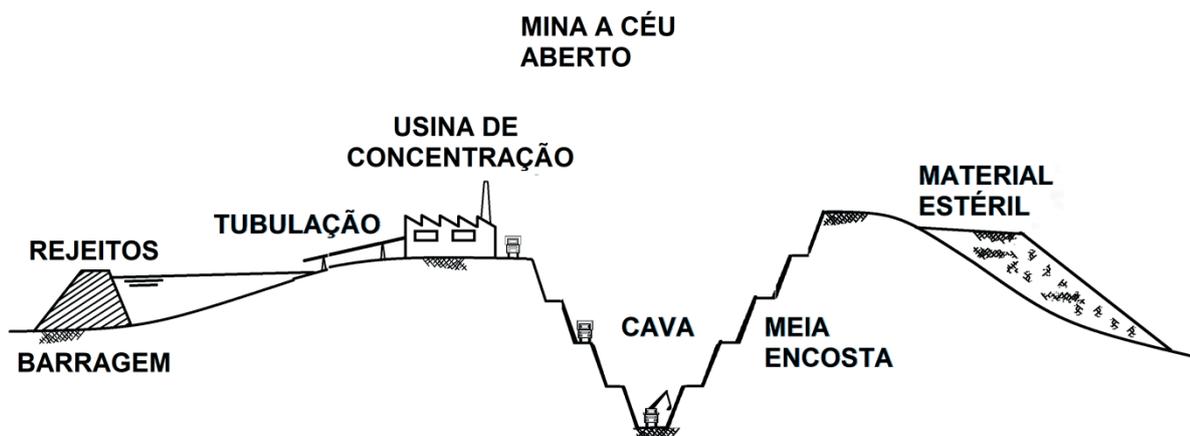


Fonte: Adaptado. [13]

Os rejeitos possuem características variáveis, dependendo das propriedades físico-químicas do minério, dos processos de mineração e de beneficiamento que determinam o poder de impacto ambiental. São denominados lama, quando sua granulometria é fina ou granular, quando os grãos têm mais que 0,074 mm. [13,14]. Essas características, além das condições geológicas, geotécnicas e topográficas da região, têm implicação na escolha do método para a sua disposição. [15]

Os rejeitos são transportados para o local de disposição a granel, em caminhões ou correias transportadoras ou como polpa, constituída por uma fração líquida, em geral, água e sólidos, transportada por meio de tubulações. [15,16,17] Podem ser dispostos em minas subterrâneas, em cavas exauridas de minas ou em barragens de contenção (Figura 1). A última forma é a mais utilizada para a acumulação ou decantação dos rejeitos ou descarga de sedimentos de mineração, com ou sem água associada. [18] Contudo, permite com maior facilidade a contaminação do meio ambiente, tanto do solo quanto da água subterrânea, pela infiltração para o lençol freático ou superficial, a jusante da barragem. [15]

Figura 1 - Esquema de atividade de mineração a céu aberto.



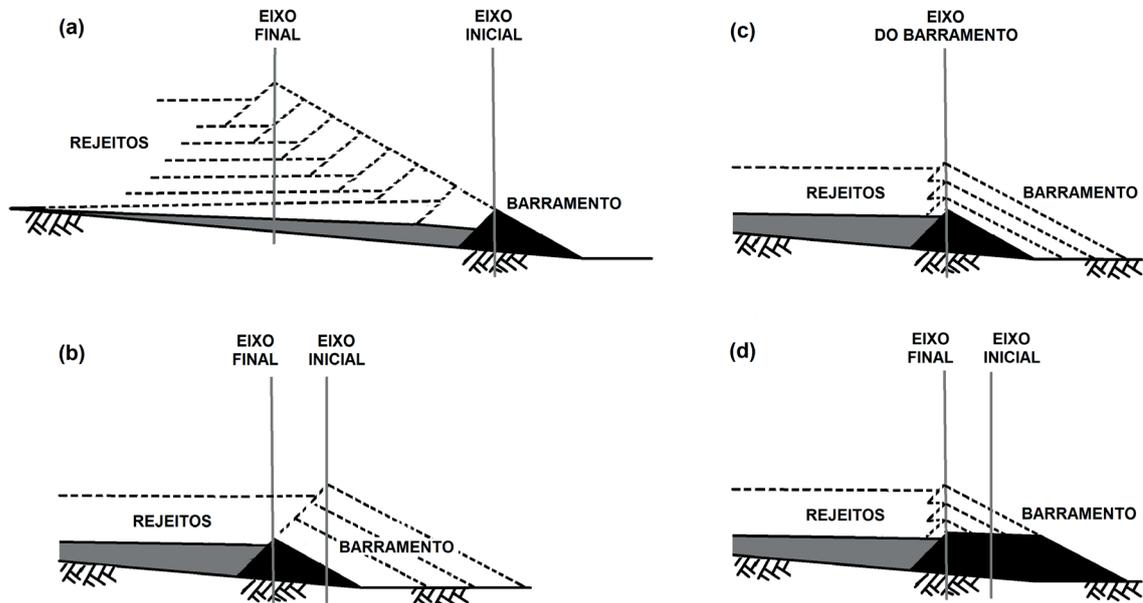
Fonte: Adaptado. [17]

Barragens de rejeitos de mineração podem ser consideradas obras de terra, “estrutura construída com solo ou blocos de rocha” [10], pois sua construção utiliza processos de compactação do próprio rejeito ou do material estéril [13]. Podem, ainda, ser classificadas, conforme o método de alteamento (Figura 2), em alteamento a montante, a jusante, em linha de centro e em linha de centro modificada [16,18], que mescla o método de linha a jusante com o de montante [16,19], cabendo variações em métodos mistos que associam os convencionais [16,20].

Comparativamente, as barragens de alteamento a montante são mais baratas, porém mais instáveis, enquanto o alteamento a jusante é mais seguro, mas tem custo mais elevado, ao passo que as barragens de linha de centro exigem maior tempo e quantidade de compactação. [13]

No Brasil, como em muitos países, as barragens de rejeitos são classificadas quanto ao risco à segurança e aos potenciais impactos ambientais. [15]. Essas classificações determinam as exigências mínimas e critérios para sua gestão ao longo do ciclo de vida e, até mesmo, orientam o projeto de descaracterização quanto à sua manutenção e ao monitoramento de seus efeitos ambientais em longo prazo. [15,19]

Figura 2 – Métodos de construção de barragens de contenção de rejeitos de mineração, baseados em enchimento hidráulico utilizando os próprios resíduos de mineração: (a) linha a montante; (b) linha a jusante; (c) linha de centro; (d) linha de centro modificada.



Fonte: Adaptado. [16]

2.2 Marcos regulatórios para a gestão das barragens de contenção de rejeitos de mineração

Os marcos regulatórios que abrangem as barragens de rejeitos de mineração estão fundamentados na Constituição Federal (CF), que incorporou o espírito da Conferência de Estocolmo sobre o meio ambiente, de 1972, tida como um marco na história da preservação do meio ambiente. Nela se estabelece a competência comum da União, dos Estados e dos Municípios para a proteção ambiental, o combate à poluição e o acompanhamento e fiscalização das “concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais”. [20]

O arcabouço legal inclui a Lei Federal (LF) n.º 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), cujos objetivos e princípios são “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida”. [21]

As barragens se enquadram na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), LF N.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997 [22], dentro do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), para “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos”. [22] Nesse sentido, existem diversas Resoluções do CONAMA, a respeito da classificação dos corpos hídricos e diretrizes para a qualidade da água e dos solos, resumidos na Tabela 1 [23-26].

Tabela 1 – Resoluções do CONAMA a respeito da classificação dos corpos hídricos e diretrizes para a qualidade da água e dos solos.

Resolução (n.º/ano)	Resumo	Destaque	Ref.
357/2005	Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.	Art. 8º § 1º e 2º - monitoramento dos parâmetros de qualidade de água. Art. 14. I - condições de qualidade de água doce.	[23]
396/2008	Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.	Art. 29. - enquadramento das águas subterrâneas - caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica.	[24]
420/2009	Critérios e valores orientadores de qualidade do solo em decorrência de atividades antrópicas.	Art. 14. I - implantação de programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento	[25]
430/2011	Condições e padrões de lançamento de efluentes.	-	[26]

Fonte: CONAMA. [23-26]

Os rejeitos de mineração em si estão inseridos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), já que, “esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação”, não apresentam “outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”. [27]

No que tange à segurança, a LF n.º 12.334/2010 [28], que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), definiu as responsabilidades de fiscalização das barragens de mineração que apresentam “categoria de dano potencial associado médio ou alto” ao, então, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atualmente Agência Nacional de Mineração (ANM) e aos integrantes do SISNAMA. [28] Determinou, ainda, ao DNPM, que criasse um cadastro de barragens de mineração, a ser atualizado com informações fornecidas pelos gestores de barragens, o que se materializou no Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM). [29]

Os acidentes em Minas Gerais [6-8] catalisaram a adoção de um conjunto de medidas e exigências, como o nível mínimo de detalhamento dos planos para segurança e ações de emergência para barragens, e a criação do Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM) [30], o qual mantém atualizado o CNBM (Tabela 2) [31], a proibição da construção pelo método de alteamento a montante em todo o território nacional, a determinação para que as empresas realizem a descaracterização dessas barragens [32] e medidas regulatórias, objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração. [33]

Tabela 2 – Quantitativo da situação de barragens no Cadastro Nacional de Barragens de Mineração.

Indicador	Classificação	Quantitativo (unid.)	Porcentagem do total	
Quantitativo geral – PNSB	Inseridas	482	53,14	
	Não inseridas	425	46,86	
Categoria de risco – CRI	Alto	82	17,01	
	Médio	93	19,29	
	Baixo	307	63,69	
Dano potencial associado – DPA	Alto	266	55,19	
	Médio	155	32,16	
	Baixo	61	12,66	
Porte (volume – mil m ³)	muito pequeno (≤ 500)	572	63,00	
	pequeno (500 – 5000)	200	22,03	
	médio (5000 – 25000)	72	7,93	
	grande (25000 – 50000)	12	1,32	
	muito grande (≥ 50000)	16	1,76	
	Sem dados	36	3,96	
Altura máxima atual (m)	≤ 15	572	63,00	
	30 – 60	91	10,02	
	15,01 – 29,99	175	19,27	
	$\geq 60,01$	39	4,30	
	Sem dados	31	3,41	
Método construtivo	Etapa única	510	56,17	
	Alteamento	Jusante	189	20,81
		Linha de centro	107	11,78
		Montante	67	7,38
	Sem dados	35	3,85	
Nível de emergência	Sem emergência	842	92,73	
	Alerta	-	-	
	1	52	5,73	
	2	10	1,10	
	3	4	0,44	

Fonte: ANM. [31]

Dado que, no Brasil, a maior parte da mineração é desenvolvida a céu aberto, com a disposição de rejeitos em barragens, a contaminação ambiental deve suscitar maiores cuidados. Os solos agem como drenos e tampões naturais que controlam o transporte de contaminantes para o meio ambiente. O controle de qualidade do solo e da água é regulado pelos Estados da Federação, tendo por base, normalmente, o Índice de Qualidade das Águas (IQA), calcado em listas de referência internacionais, especialmente a Lista Holandesa [34], e incluem metais pesados, como o arsênio, o cromo, o cádmio e o mercúrio, que apresentam toxicidade em concentrações elevadas. [35-38]

Os projetos de descaracterização [15] devem ser condicionados à recuperação ambiental da área degradada, da estabilidade física, química e biológica e da biodiversidade, em que “o restabelecimento da vegetação pode ser considerado ponto chave” [19]. Devem ser lastrados por um adequado diagnóstico ambiental, não somente voltado para os meios físico e biótico, mas também o antrópico, tendo em vista, também, a adequação paisagística e a definição de uso futuro [19,39,40]. Nesse sentido, as Normas Reguladoras de Mineração [39] e a NBR 13030:1999 [40] definem os procedimentos.

2.3 Aspectos técnicos do projeto de descaracterização e de sua execução

As etapas para a descaracterização de uma barragem de rejeitos, estabelecidas pela ANM [33], oferecem uma direção geral a um projeto de Engenharia, a saber: (1) o descomissionamento, que corresponde ao “encerramento das operações com a remoção das infraestruturas associadas”; (2) o controle hidrológico e hidrogeológico com a “adoção de medidas efetivas para reduzir ou eliminar o aporte de águas superficiais e subterrâneas para o reservatório”; (3) a estabilização, ou seja, “execução de medidas tomadas para garantir a estabilidade física e química de longo prazo das estruturas que permanecerem no local”; e (4) o monitoramento “pelo período necessário para verificar a eficácia das medidas de estabilização”. [33]

Todavia, a inexistência de uma norma técnica destinada diretamente à descaracterização de barragens conduz um engenheiro envolvido num projeto dessa natureza a ter que se valer de normas técnicas relativas a outros trabalhos de engenharia, tais como, construção de barragens e obras de terra em geral, proteção de taludes, construção de rodovias, sondagem e compactação do solo, drenagem, dentre outros.

A NBR 13028:2017 [18] é uma referência, por apresentar as premissas e os critérios técnicos aplicáveis à caracterização física e química dos rejeitos, aos estudos hidrológicos, hidráulicos, geológico-geotécnicos e sísmicos, ao tratamento das fundações, à drenagem superficial e interna do maciço, à impermeabilização da barragem, às estruturas auxiliares e à instrumentação de controle. Por outro lado, considerando as exigências relacionadas às questões ambientais, um engenheiro ambiental deverá elaborar um projeto específico.

Para a elaboração do projeto de descaracterização, a obtenção de informações pré-existentes sobre a barragem terá importância fundamental para facilitar o trabalho, para a economia de tempo e de recursos. Contudo, mesmo com tais informações, será indispensável a realização de estudos preliminares detalhados: sondagem a percussão do subsolo (*standard penetration test* - SPT), ensaios de permeabilidade e caracterização da massa de rejeitos, avaliação das condições hídricas, levantamento topográfico planialtimétrico e determinação de jazida (caixa de empréstimo) para obtenção de material para construção de aterro.

2.3.1 Estudos preliminares

A sondagem SPT [41,42] visa à determinação dos tipos, estados e capacidade de suporte dos solos constituintes da massa de rejeitos, com o intuito de se obter subsídios para o projeto de terraplenagem de tamponamento, tais como, a cota média em que o solo apresente, no mínimo, compatibilidade/consistência média. [41] Ocorrendo solos compressíveis, devem ser determinadas as espessuras médias das camadas moles e os valores preliminares da coesão e do coeficiente de adensamento. [43]

Os ensaios de permeabilidade e caracterização fornecem informações sobre o nível da água subterrânea, que pode ser encontrado a profundidades variáveis em diversos pontos da massa de rejeitos [41], para o cálculo de vazões e do gradiente hidráulico do solo, para análise da percolação de

água na estrutura e para análise da estabilidade do barramento, com o fito de dimensionar a drenagem da massa de rejeitos. Podem ser executados de diversas formas, sendo que as características do solo e as condições do local determinarão a escolha do método adequado. [44-49]

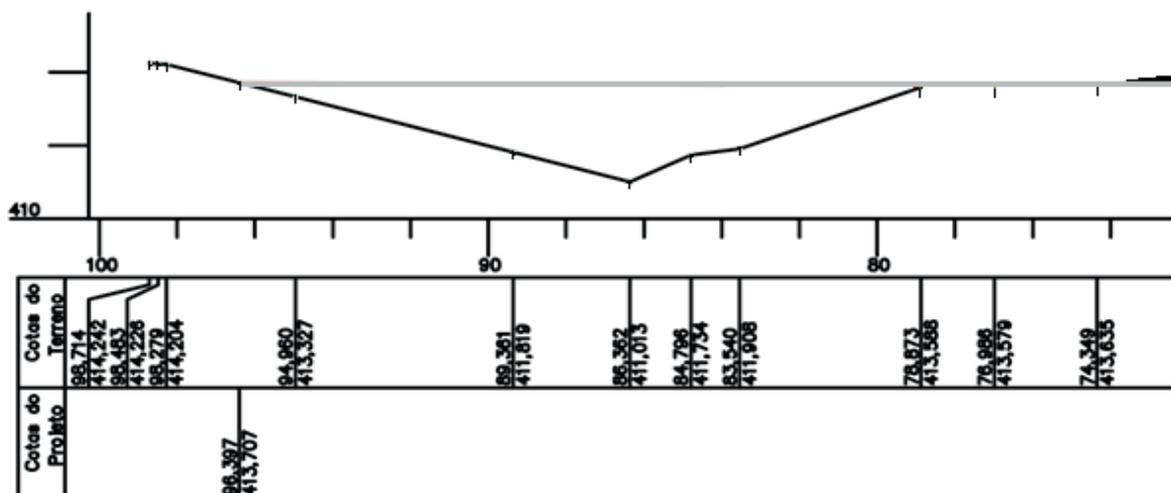
A avaliação das condições hídricas tem por finalidade identificar o grau de segurança hidráulica da barragem. Dados climatológicos podem ser obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [50], com o objetivo de identificar os índices pluviométricos nos diversos períodos do ano. Para o cálculo da intensidade máxima de chuvas, pode-se empregar a “equação geral de chuvas intensas no Brasil”, de Otto Pfafstetter [51], com a utilização dos parâmetros meteorológicos regionais.

Quanto à segurança hidráulica, deve-se fazer o levantamento dos dados de projeto do sistema de drenagem existente, o que, aliado a reconhecimentos em campo, permitirá avaliar suas condições de conservação, sua eficiência e se a vazão suportada está adequada à categoria de risco da barragem.

Assim, para o menor grau de risco, considera-se uma vazão de projeto para cheia máxima provável (CMP) ou tempo de recorrência (Tr) decamilenar. [52]

O levantamento topográfico planialtimétrico [54] da superfície da massa de rejeitos permite determinar os quantitativos de terraplanagem, para a elaboração do projeto de tamponamento (Figura 3). Por sua vez, a escolha de jazida para obtenção de material adequado para o aterro de tamponamento depende dos ensaios de caracterização do solo para compactação. [43,55-61]

Figura 3 – Visão parcial do projeto de uma seção transversal de um aterro de tamponamento de barragem de rejeitos (simulação). A linha preta corresponde à superfície de rejeitos; a linha cinza corresponde ao greide do aterro.



Fonte: Autor.

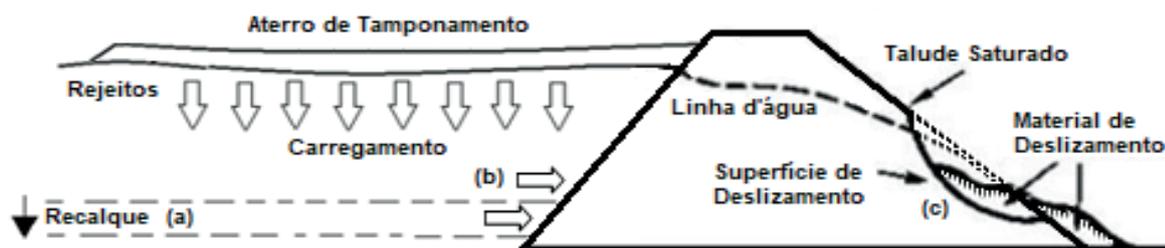
2.3.2 Projeto e execução

Dentre as ações previstas no projeto de descaracterização, inicialmente, deve-se realizar o descomissionamento da barragem de rejeitos [33], quando é feita a remoção de todas as estruturas de interligação da mina com a barragem (espigotes, tubulações, etc.).

Para o tamponamento, o projeto deve prever a possível ocorrência de recalques na massa de rejeitos após a construção do aterro (Figura 4). No caso de aterros construídos sobre argilas moles saturadas, os recalques ocorrem por adensamento, exceto nas bordas, onde as deformações são imediatas ou não drenadas. Se o aterro tiver espessura uniforme, nas regiões afastadas das bordas as deformações serão apenas verticais e o adensamento unidimensional. Todavia, cargas verticais assimétricas junto ao maciço e à fundação podem provocar o efeito Tschebotarioff (Figura 4) [62] no qual, esforços transversais ocasionam um deslocamento do maciço e da fundação, com o aparecimento de fissuras.

O material do aterro, após transportado e espalhado sobre a massa de rejeitos, deverá ser adequadamente compactado, com controle tecnológico de laboratório de solos, pois o aterro deve apresentar boas propriedades de resistência à deformação e estabilidade [56,57,61,63-66].

Figura 4 – Visão esquemática dos efeitos ocasionados pela carga do aterro de tamponamento e pela percolação da água no maciço de uma barragem de contenção de rejeitos de mineração: (a) recalque por adensamento na camada de argila mole da massa de rejeitos; (b) efeito Tschebotarioff; (c) ruptura do maciço por fratura hidráulica.



Fonte: Autor.

Os taludes do maciço, das estruturas das ombreiras e dos canais de aproximação e de cintura deverão ser verificados quanto à sua segurança, comparando-se a tensão de cisalhamento desenvolvida ao longo da superfície de ruptura mais provável com a resistência do solo ao cisalhamento, que é afetada pela percolação de água (Figura 4). O fator de segurança (F_s) previsto para taludes é 1,5, nas condições de carregamento de percolação permanente com o reservatório na cota máxima [67,68].

Fissuramentos no maciço da barragem, além de poderem ser causados por recalques diferenciais ou arqueamento, também podem ocorrer devido ao fraturamento hidráulico relacionado à deficiência de drenagem [67,69]. As fissuras podem ocasionar fluxos de percolação concentrados, que provocam erosão interna regressiva (*piping*) e, por fim, a própria ruptura da barragem [67,69]. Assim, a estabilidade do conjunto é obtida com sistemas de drenagem, “para que não haja erosão interna tanto no maciço quanto na fundação da barragem” [18].

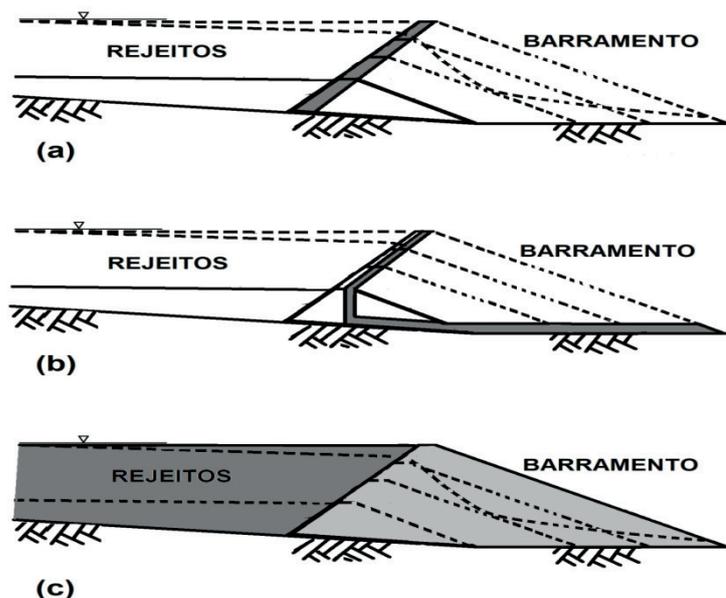
No projeto de proteção hidráulica da barragem, as estruturas de drenagem existentes poderão ser aproveitadas e, se necessário, ampliadas. Na proteção do maciço, a drenagem de fundação é utilizada para reduzir a subpressão que atua na base do barramento, consistindo de tapetes drenantes e drenos a jusante, enquanto filtros são colocados ao longo do interior do barramento (Figura 5). A vazão de filtros e drenos deve evitar a erosão interna regressiva, rebaixar o nível do lençol d'água, dos gradientes hidráulicos e manter as subpressões em níveis aceitáveis no maciço, nas fundações e nas zonas de filtro, nas ombreiras, e ao longo dos condutos [67,69].

Dentre as formas mais usuais de rebaixamento do lençol d'água, bombeamento direto, de poços profundos e ponteiros filtrantes, os drenos sub-horizontais profundos (DHP) são muito utilizados em taludes e obras de contenção de encostas, geralmente posicionados individualmente, para surtir efeito localizado, ou dispostos em arranjos com espaçamento variável [70-73].

Na drenagem externa, canais de aproximação a montante e de cintura evitam que a bacia de disposição dos rejeitos receba a água pluvial que precipita fora dessa área. Devem ser estáveis, de modo a não sofrerem restrições à vazão por assoreamento e movimentação de rochas [67], suportar a vazão afluyente e descarregar as vazões de projeto [67,69].

Com o intuito de se evitar que a água precipitada dentro da bacia se infiltre e que a água de lençóis subterrâneos cause o efeito de "franja capilar", o projeto deve prever a instalação de drenos profundos e/ou superficiais do tipo espinha de peixe no aterro de tamponamento e na massa de rejeitos [72-74], e extravasores que evitem o transbordamento da água em excesso, escoando-a para canais a jusante do conjunto.

Figura 5 – Visão esquemática do sistema de drenagem interna de barragens de contenção de rejeitos de mineração com alteamento a jusante (linha curva interrompida - superfície freática): (a) barragem com núcleo de baixa permeabilidade; (b) barragem com drenagem interna com dreno inclinado e tape-te drenante; (c) barragem com drenagem interna de rejeitos.



Fonte: Adaptado. [53]

2.3.3 Revegetação

O plano de revegetação deve ser pautado pela avaliação do cenário e das condicionantes ambientais, a fim de se restabelecer as espécies nativas [40,75-81] e evitar erosão na área aterrada.

2.3.4 Monitoramento

Incluso no projeto de descaracterização, deve estar um plano de monitoramento da eficácia das medidas de estabilização, da revegetação, das obras civis, das condições hídricas e do solo. A frequência e

os métodos de monitoramento da revegetação devem variar conforme o cenário de cada área recuperada e com o plano proposto [76]. Inspeções periódicas do aterro de tamponamento, sistema de drenagem, taludes e bermas da estrutura, constantes desse plano, devem ser conduzidas e registradas. A leitura mensal dos piezômetros, com o registro dos dados referentes à pressão da água no lençol freático e seu fluxo no local em que foram instalados, e sua comparação com o histórico dos parâmetros medidos, permitirá avaliar a resistência da massa do solo e a necessidade de eventuais ações corretivas. Medições topográficas semestrais deverão ser conduzidas em marcos de deslocamento previamente instalados.

2.3.5 Aproveitamento econômico

Como medidas finais, a empresa mineradora deverá apresentar à ANM uma revisão do Plano de Aproveitamento Econômico do empreendimento, com a nova forma de operação, em função das alterações no processo devido ao tamponamento da barragem, e oficializar a descaracterização [30], atestada por profissional legalmente habilitado. Com isso, a barragem passará à condição de “barragem de mineração descaracterizada”. [29,33]

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os últimos anos foram caracterizados por alterações significativas nos marcos regulatórios da descaracterização de barragens de contenção de rejeitos de mineração, notadamente, mais exigências com relação aos planos para segurança e ações de emergência para barragens e a criação do Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM) [29] e do Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM). [30]

Entretanto, das 907 barragens cadastradas no CNBM, somente metade está inserida na PNSB, e um décimo delas tem as informações sobre seu método de construção ou porte e altura desconhecidos [31], ou seja, os números indicam que o sistema de gestão ainda carece de muitas informações para formar um retrato fiel da situação das barragens no país (Tabela 2). Por outro lado, a proibição de construção pelo método de alteamento a montante e a determinação para que se realize a descaracterização das 67 barragens existentes [32] mostrou ser uma medida positiva e necessária.

A obrigação de recuperar o meio ambiente degradado [20], de desativar ou recuperar barragens que não atendam aos requisitos de segurança [28] e de facilitar à ANM a inspeção de instalações e o acesso a informações sobre o controle ambiental [31] estimulou o fechamento seguro de minas improdutivas. Ressalta-se, porém, que essas exigências são relativamente novas e requerem normas técnicas e regulamentações específicas para os planos de descaracterização de barragens e a reabilitação de áreas degradadas. [19]

Detalhes significativos, como a definição de barragem descaracterizada, que sofreu alterações ao longo dos anos [28, 30, 32], chegou à atual forma somente em 2020, ou seja, “aquela que não opera como estrutura de contenção de sedimentos ou rejeitos, não possuindo características de barragem, e que se destina a outra finalidade” [32].

A Resolução ANM nº 13 [33], de 2019, relaciona as etapas necessárias para a descaracterização de uma barragem de rejeitos, entretanto é preciso destacar que, por não as delimitar, ao apresentar a expressão “mas não se limitando (a essas etapas)” [33] e, por deixar indefinido o período necessário para o monitoramento da barragem descaracterizada, mostra lacunas que podem suscitar insegurança técnica e jurídica.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho visou ao estudo e à avaliação dos aspectos legais e regulatórios, técnicos e ambientais da descaracterização de barragens de contenção de rejeitos de mineração.

É preciso reconhecer que, nos últimos anos, ocorreu significativa evolução dos marcos regulatórios referentes a esse tipo de trabalho de engenharia. Notadamente, no final da década anterior, a legislação federal e a ANM deram um bom passo nessa direção, ao imporem a descaracterização de todas as barragens de rejeito construídas pelo método de alteamento a montante.

Todavia, observa-se que o arcabouço legal apresenta pontos vagos e lacunas importantes, o que pode suscitar insegurança técnica e jurídica aos gestores e aos profissionais encarregados de projetar e executar esses trabalhos.

Normatização técnica específica, que detalhe as ações de descaracterização, no tocante às obras civis, é inexistente, levando os profissionais responsáveis a valer-se de normas atinentes à construção de barragens, aterros, drenagens e afins. O mesmo ocorre no que tange à recuperação ambiental de áreas afetadas por barragens de rejeitos, apesar de existirem muitos estudos atinentes à revegetação, na forma de manuais. Daí a necessidade de contínuo aperfeiçoamento legal e técnico-normativo, que defina ações e oriente o projeto e a execução dessas obras.

Sugere-se que projetos dessa natureza sejam elaborados e conduzidos por equipes multidisciplinares, dependendo da dimensão da barragem e dos potenciais impactos ao meio ambiente biótico, abiótico e antrópico, compostas basicamente por engenheiros civis, engenheiros ambientais, biólogos, geólogos, técnicos nessas áreas, assistentes sociais e outros profissionais necessários.

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Civil e Professor Me. José Marcos Rodrigues Filho, Coordenador do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA.

REFERÊNCIAS

- [1] THOMAS, H.H. The Engineering of Large dams. In: MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- [2] SÓRIA, M.A.Z. (Org.). **As Barragens e a Água do Mundo**: Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo. Paraná: Núcleo Regional do Paraná do Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB, 2008. Disponível em: http://www.cbdb.org.br/publicacoes/DAMS_AND_THE_WORLDS_WATER_traducao.pdf. Acesso em: 29 ago. 2019.
- [3] MELLO, F.M. de (Org.), PIASENTIN, C. (Ed.). **A História das Barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI**: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB, 2011, 524 p. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/3864077/livro-a-historia-das-barragens-no-brasil>. Acesso em: 2 set. 2019.

- [4] URBIM, E. Qual é a maior hidrelétrica do mundo? **Revista Superinteressante**. São Paulo: Abril Comunicações S.A., 22 fev. 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/tecnologia/qual-e-a-maior-hidreletrica-do-mundo/>. Acesso em: 2 set. 2019.
- [5] BRASIL. República Federativa do Brasil; PARAGUAI. República do Paraguai. **Itaipu Binacional - Barragem. Brasil/Paraguai: Itaipu Binacional**, 1974. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/barragem>. Acesso em: 2 set. 2019.
- [6] FUNDAÇÃO RENOVA. A Fundação: **O Rompimento da Barragem**. Belo Horizonte: Fundação Renova. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/a-fundacao/>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- [7] ESTADÃO. Diário de Brumadinho: a cidade um ano depois da tragédia. São Paulo: **O Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,diario-de-brumadinho-a-cidade-um-ano-depois-da-tragedia,70003157973>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- [8] PASSARINHO, N. **Tragédia com barragem da Vale em Brumadinho pode ser a pior no mundo em 3 décadas**. Londres: BBC News Brasil, 29 / 01 / 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47034499>. Acesso em: 4 set. 2019.
- [9] CAPUTO, H.P.; CAPUTO, A.N.; RODRIGUES, J.M.A. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Mecânica das Rochas, Fundações e Obras de Terra**. 7 ed. São Paulo: LTC, vol. 2, 2015.
- [10] MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- [11] MELLO, V.F.B. de. **Acidentes em Barragens**. Belo Horizonte: III Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, v. 1, 5ª Sec., p. v-54-v-73, 1966. Disponível em: <http://victorfbdemello.com.br/arquivos/Publicacoes/034.2%20-%20ACIDENTES%20EM%20BARRAGENS.pdf>. Acesso em: 22 set. 2019.
- [12] ICOLD. International Committe on Large Dams. Lessons from Dam Incidents. In: MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- [13] SOARES, L. Barragem de Rejeitos – Comunicação Técnica. In: LUZ, A.U.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. (Orgs). **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, cap. 19, p. 831-896, 2010.
- [14] ESPÓSITO, T.J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. Tese (Doutorado em Geotecnia). Brasília: Universidade Federal de Brasília, 363 f., 2000.
- [15] DUARTE, A.P. **Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais em Relação ao Potencial de Risco**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 114 f., 2008.
- [16] SOUZA JÚNIOR, T.F.; MOREIRA, E.B.; HEINECK, K.S. **Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração no Brasil** – Holos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio grande do Sul, Ano 34, v. 5, p. 1-39, 2018.
- [17] ADONES R. **Curso de Especialização em Lavra de Minas a Céu Aberto - Métodos de Lavra a Céu Aberto**. Belém: Universidade Federal Do Pará - Instituto de Geociências, Ano 34, v. 5, p. 1-39, 2018.

[18] ABNT. NBR 13028:2017. Mineração - **Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água** - Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017, p.1-16.

[19] SCHAPER, D. do V.; ARAGÃO, G.A.S.; QUEIROZ, A.C.; SANTOS, L. **Instrumentos Regulatórios Aplicáveis a Barragens – da Concepção ao Fechamento**. Belo Horizonte: Comitê Brasileiro De Barragens - II Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos, 2017.

[20] BRASIL. Presidência da República. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Casa Civil, 1988.

[21] BRASIL. Congresso Nacional. **Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981** - dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Brasília: Câmara dos Deputados, 1981.

[22] BRASIL. **Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997** - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1997.

[23] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n.º 357/2005** - dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005.

[24] BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 396/2008** - dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2008.

[25] BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 420/2009** - dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2009.

[26] BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 430/2011** - dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011.

[27] BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010** - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Brasília: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2010.

[28] BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010** - Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Brasília: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2010.

[29] BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria Nº 416, de 03 de setembro de 2012** - Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração. Brasília: DNPM, 2012.

[30] BRASIL. **Portaria Nº 70.389, de 17 de maio de 2017** - Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração. Brasília: DNPM, 2017.

[31] BRASIL. SIGBM - **Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração – Relatório Quantitativo**. Brasília: ANM, 2021. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/>. Acesso em: 16 mar. 2022.

- [32] BRASIL. **Lei n.º 14.066, de 30 de setembro de 2020** - Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Brasília: Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2010.
- [33] BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019**, estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração. Brasília: ANM, 2019.
- [34] CASARINI, D.C.P., DIAS, C.L. (Coord. Tec.) **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 2001.
- [35] MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. **Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente**. Brasília: UNICEUB – Centro Universitário de Brasília, Universitas: Ciências da Saúde, v. 4, n. 1/2, p. 83-100, 2006.
- [36] SANTOS, T.C.C.S., CÂMARA, J.B.D. GEO-BRASIL: perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: Edições **IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**, 31 p., 2002.
- [37] PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J.T.; VANCE, G.F. Soils and Environmental Quality. Boca Raton, **Lewis Publishers**, 1994. 313p.
- [38] GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M.L.; MARCHI, J. Elementos-Traço em Solos e Sistemas Aquáticos. **Tópicos em Ciências do Solo**, v. 4, p. 345-390, 2005.
- [39] GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M.L.; MARCHI, J.. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Portaria Nº 237, de 18 de outubro de 2001**, Aprova as Normas Reguladoras de Mineração – NRM. Brasília: DNPM, 2001.
- [40] ABNT. **NBR 13030:1999**. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1999, p.1-5.
- [41] ABNT. **NBR 6484:2020**. Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020, p.1-17.
- [42] ABNT. **NBR 8036:1983**. Programação de sondagens de simples reconhecimento do solo para fundações de edifícios - Procedimento. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983, p.1-3.
- [43] BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Implantação Básica de Rodovia (IPR - 742)**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2010.
- [44] ABGE. DELATIM, I.J.; OLIVEIRA, E.; MONTICELI, J.J.; VAZ, L.F. (Coord.). **Manual de sondagens**. 5. ed. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2013, 202 p.
- [45] GOMES, T.A.T.; COSTA, K.S. da. ESTUDO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE EM ENSAIOS DE POÇO PELO PADRÃO ABGE: COMPLEXO ALCALINO CARBONATÍTICO DO BARREIRO (CACB), ARAXÁ-MG. São Paulo: Águas Subterrâneas, Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas – Suplemento, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.28762>. Acesso em: 18 abr. 2021.
- [46] BANTON, O. Field and laboratory-determined hydraulic conductivities considering anisotropy ad core surface area. Madison: **Soil Science Society of America Journal**, 1993, v. 57 (1), p. 10-15.

- [47] ABGE. AZEVEDO, A.A.; ALBUQUERQUE. FILHO, J.L. **Ensaaios de Permeabilidade em Solos**: orientações para a sua execução no campo. 4.ed. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 2013, 80 p.
- [48] MEDEIROS FERRAZ, F. de; MIYASHIRO, N.J.; RIYIS, M.T.; ARAUJO CUNHA, R.C. de. **Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo**: infiltração em sondagens e *slug test* em poços de monitoramento. InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. São Paulo: Centro Universitário SENAC, vol. 10 (1), 2015.
- [49] SOUZA PINTO, C. de. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo. Oficina de textos, 2006, 367 p.
- [50] BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos (1931-1960/1961-1990/1981-2010)**. Brasília: INMET, 2021. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br>. Acesso em 19 abr. 2021.
- [51] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (IPR - 715)**. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2005.
- [52] BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 143 de 10 de julho de 2012**. Brasília: MMA/CNRH, 2012.
- [53] VICK, S.G. 1983. **Planning, design and analysis of tailings dams**. New York: Wiley International. Disponível em: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubccommunityandpartnerspublicati/52387/items/1.0394902>. Acesso em 18 jun. 2020.
- [54] VICK, S.G. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 1. ed. Brasília: INCRA, 37 p., 2013.
- [55] ABNT. **NBR 5681:2015**. Controle tecnológico da execução de aterros em obras de edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015, p.1-2.
- [56] ABNT. **NBR 6457:2016**. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016, p.1-8
- [57] ABNT. **NBR 7182:2016**. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016, p.1-9.
- [58] ABNT. **NBR 7181:2018**. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018, p.1-12.
- [59] ABNT. **NBR 6459:2016**. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016, p. 1-5.
- [60] ABNT. **NBR 7180:2016**. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016, p.1-3.
- [61] ABNT. **NBR 7185:2016**. Solo - Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016, p.1-8.

- [62] DOS SANTOS, G.V. **Patologias Devido ao Recalque Diferencial em Fundações** (TCC). Brasília: Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, 2014, 111 p.
- [63] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviços** (Norma DNIT 108/2009 - ES). Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2009.
- [64] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Terraplenagem – Empréstimos – Especificação de Serviços (Norma DNIT 107/2009 - ES)**. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2009.
- [65] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio (Norma DNIT 164/2013 - ME)**. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2013.
- [66] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio (Norma DNIT 172/2016 - ME)**. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2016.
- [67] CBDB. **Guia Básico de Segurança de Barragens**. São Paulo: Comitê Brasileiro de Barragens – Núcleo Regional de São Paulo, 2001, 77 p.
- [68] ABNT. **NBR 11682:2009**. Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009, p.12.
- [69] BRASIL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Infra-Estrutura **Hídrica, 148p., 2002**.
- [70] DOBEREINER, L.; VAZ, L. F. **Tratamento de Maciços Naturais**. In: MARIANO, M. C. A., Trabalho de Conclusão de Curso, Araxá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG - Curso de Engenharia de Minas, 81 p., 2017.
- [71] BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Drenagem - dreno sub-horizontal - Especificação de Serviço DNER-ES 295/97**. Rio de Janeiro: DNER/IPR, 1997.
- [72] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de Rodovias**. 2. ed. (IPR, Publicação, 724). Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 333 p., 2006.
- [73] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Álbum de projetos – tipo de dispositivos de drenagem – Drenos Sub-horizontais e Detalhes Complementares – DSH01 (IPR, Publicação, 725:2006)**. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2006.
- [74] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2006 **NORMA DNIT 015/2006 - ES DNIT Drenagem - Drenos subterrâneos - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2006.
- [75] ABNT. **NBR 13030:1999**. Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 5 p., 1999.
- [76] SCHAPER, D.V., ARAGÃO, G.A.S., de ÁVILA, J. P. **Considerações Gerais sobre Ações de Revegetação no Fechamento de Barragens de Rejeito**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 4 p., 2011.

[77] BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990, 96 p.

[78] de MORAES, L.F.D., ASSUMPÇÃO, J.M., PEREIRA, T.S., LUCHIARI, C. **Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013, 84 p.

[79] BARBOSA, L.M. (coord.) **Manual para Recuperação de Áreas Degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

[80] CORRÊA, R.S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado** - Manual para revegetação. Brasília: Universa, 187 p., 2006.

[81] SARTORI, R.A. **Guia Prático para Elaboração de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) em APP** - Nota Técnica n.º 03/2015 - IBAM-PQGA. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM Programa de Qualificação da Gestão Ambiental – Municípios do Bioma Amazônia – PQGA, 6 p., 2015.