

NOTA TÉCNICA n° 001/2022

PRAZO PARA DESCARACTERIZAÇÃO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO CONSTRUÍDAS PELO MÉTODO À MONTANTE

São Paulo, 15 de fevereiro de 2022.

Após os acidentes com barragens de rejeito no Brasil, principalmente o ocorrido em Brumadinho (Barragem B1) em 2019, os legisladores indicaram o banimento de construção de barragens pelo método de montante, além de exigir a descaracterização das barragens à montante existentes no país. Esta nova indicação foi claramente oficializada no artigo 2° da Lei federal n°14.066, de 20 de setembro de 2010 (Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB), conforme transcrito a seguir:

“Art. 2° - A. Fica proibida a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante.

§ 1° Entende-se por alteamento a montante a metodologia construtiva de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado.

§ 2° O empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).”

Segundo a ANM, Agência Nacional de Mineração, barragem descaracterizada é uma estrutura que não recebe, de forma permanente, aporte de rejeitos e/ou sedimentos provenientes de suas atividades e que deixa de possuir ou de exercer a função de barragem.

Essa definição é bem ampla e pode significar desde a remoção total/parcial do maciço e reservatório até a modificação da geometria (berma de reforço, por exemplo) ou combinação de ambas as técnicas. A ANM registrou em 2021 a existência de 63 barragens a serem descaracterizadas no Brasil das quais 45 se situam no estado de Minas Gerais.

A descaracterização foi regulada pelas portarias da ANM, sendo que o texto mais recente está indicado na minuta de resolução ANM N° 3556579, de 01 de fevereiro de 2022 (aprovada em 07/02/2022), em seu Artigo 58, que diz:

“Com vistas a minimizar o risco de rompimento, em especial por liquefação, das barragens alteadas pelo método a montante ou por método declarado como desconhecido, o empreendedor deverá:

- *Possuir projeto técnico executivo de descaracterização da estrutura, o qual deverá contemplar, também, sistemas de estabilização da barragem existente ou a construção de nova estrutura de contenção situada à jusante, ambos conforme definição técnica do projetista, com vistas a minimizar o risco de rompimento por liquefação ou reduzir o dano potencial associado, tendo como balizador a segurança e obedecendo a todos os critérios de segurança descritos nesta Resolução e na norma ABNT NBR 13.028 e ou normativos que venham a sucedê-las;*
- *Executar as obras do sistema de estabilização da barragem existente ou a construção de nova estrutura de contenção situada a jusante, conforme definição técnica do projetista;*
- *Concluir a descaracterização da barragem até 25 de fevereiro de 2022, conforme prazo determinado no §2º, art. 2-A da Lei 12.334/2010, podendo ser prorrogado pela ANM mediante apresentação de justificativa técnica e desde que seja referendada pela autoridade licenciadora do Sisnama.”*

No estado de Minas Gerais, há também a Lei 23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a Política Estadual de Segurança de Barragem - PESB. Para o tema específico de descaracterização de barragens alteadas por montante, foi criado um Termo de Referência (TR) que estabelece os requisitos mínimos de um projeto para esta descaracterização, a ser apresentado à Fundação Estadual de Meio Ambiente. Os requisitos mínimos para descaracterização de barragens à montante mencionado neste TR são:

- *Elaboração de projeto adequado às normas existentes e avaliado por *Peer Review* (revisão por pares);*
- *Os projetos que visam a manutenção do maciço e do reservatório, após o processo de descaracterização, deverão alcançar, no mínimo, o Fator de Segurança de 1,5 para rupturas drenadas; 1,5 não drenadas de pico e 1,1 para residual;*
- *“Trabalho Presencial” só pode ser iniciado com $FS \geq 1,3$ (resistência não drenada de pico) e $FS \geq 1,1$ (resistência não drenada residual) – caso contrário, somente com utilização de equipamentos não-tripulados;*
- *A construção de estruturas de contenção à jusante pode ser indicada pelo projetista, principalmente para estruturas em nível de alerta 2 e 3, para minimizar impactos durante a descaracterização.*

A lei estadual também prevê prazos para conclusão das obras de descaracterização, sendo este de três anos a partir da publicação da referida lei, ou seja, 25/02/2022 conforme o Art. 13 e referendada posteriormente pela própria PNSB, conforme transcrito a seguir:

“Art. 13 § 1º – O empreendedor fica obrigado a promover a descaracterização das barragens inativas de contenção de rejeitos ou resíduos que utilizem ou que tenham utilizado o método de alteamento a montante, na forma do regulamento do órgão ambiental competente.

§ 2º – O empreendedor responsável por barragem alteada pelo método a montante atualmente em operação promoverá, em até três anos contados da data de publicação desta lei, a migração para tecnologia alternativa de acumulação ou disposição de rejeitos e resíduos e a descaracterização da barragem, na forma do regulamento do órgão ambiental competente.”

A questão destes prazos é que será aqui debatida.

Lições Aprendidas com a Ruptura de Barragens à Montante

Lição 1: A combinação de más práticas de projeto, construtivas e operacionais em rejeitos não consolidados, saturados e contráteis resultou nas rupturas das barragens à montante. As causas mais específicas foram discutidas e apresentadas nos diversos relatórios de investigação dos acidentes, como exemplificado a seguir:

Ruptura da Barragem de Fundão (2015) – o comitê liderado pelo Professor Norbert Morgenstern indicou que:

“A concepção do projeto original para a Barragem de Fundão empregou uma zona de areia insaturada como apoio para a zona de lamas fracas. Areia insaturada não é passível de liquefação e, portanto, a concepção original era robusta neste aspecto. No entanto, foram encontradas dificuldades para executar o projeto e um projeto modificado foi apresentado e adotado. Como parte desta modificação, uma mudança na concepção do projeto também foi adotada e permitiu-se que condições saturadas pudessem se desenvolver na areia.”

Três condições eram necessárias para que acontecesse o deslizamento fluido: (1) saturação da areia; (2) areia não compactada e fofa; e (3) um mecanismo de gatilho. O lançamento de rejeitos arenosos por meios hidráulicos resultou em condições de fofas. O crescimento das condições de saturação está bem documentado. Assim sendo, todas as condições prevaleceram para que a liquefação se desenvolvesse, resultando em um deslizamento fluido, desde que houvesse um gatilho.

A iniciação de um deslizamento fluido exige não somente a presença de rejeitos contráteis saturados, mas também um mecanismo de gatilho para iniciar o processo que mobiliza o cisalhamento não drenado e, em consequência, o deslizamento fluido por liquefação. Após a avaliação de possíveis mecanismos de gatilho, o Comitê concluiu que a extrusão lateral iniciou a ruptura. O mecanismo de extrusão lateral se desenvolve à medida que a barragem é alteada, carregando verticalmente a zona rica em lama, que tende a ser expelida ou espalhar lateralmente, como acontece quando se espreme um tubo de pasta de dente. Isso resulta em variações de tensão nas areias subjacentes, o que reduz o seu confinamento, levando ao colapso.”

Na ruptura da Barragem B1 em Brumadinho-MG (2019), dois comitês de investigação elaboraram seus pareceres.

- Para o Professor Peter Robertson e seu grupo, as causas da ruptura foram:

“Em resumo, o descrito abaixo gerou as condições de instabilidade na Barragem I:

- *Um projeto que resultou em um talude íngreme construído a montante;*
- *O controle de água dentro da bacia de rejeitos que às vezes permitia que a água do lago de decantação chegasse perto da crista da barragem, resultando no lançamento de rejeitos fracos perto da crista;*
- *Um recuo de projeto que empurrou as partes superiores do talude para cima dos rejeitos finos mais fracos;*
- *A falta de drenagem interna significativa que resultou em um nível de água persistentemente alto na barragem, principalmente na região do pé da barragem;*
- *Alto teor de ferro, resultando em rejeitos pesados com cimentação entre partículas. Esta cimentação gerou rejeitos rígidos que apresentavam comportamento potencialmente muito frágil se submetidos a um gatilho que ensejasse uma resposta não drenada; e*
- *Precipitação regional alta e intensa na estação chuvosa, o que pode resultar em perda*
- *significativa de sucção, produzindo uma pequena perda de resistência nos materiais não saturados acima do nível da água.*

O Painel concluiu que a súbita perda de resistência e o rompimento resultante da barragem marginalmente estável foram devidos a uma combinação crítica de deformações específicas internas contínuas devido ao creep e uma redução de resistência devida à perda de sucção na zona não-saturada causada pela precipitação intensa no final do ano 2018..... As deformações específicas internas e a redução de resistência na zona não-saturada alcançaram um nível crítico que resultou no rompimento observado no dia 25 de janeiro de 2019.”

- Já para o comitê liderado pela Universidade de Catalunha, Espanha, a ruptura se deu por:

“É incontroverso que o rompimento da Barragem I envolveu o fenômeno do fluxo por liquefação. A liquefação é um processo associado ao aumento da poropressão, pelo qual a resistência ao cisalhamento é reduzida à medida que a tensão efetiva no solo se aproxima de zero. Apenas materiais contráteis estão sujeitos à liquefação. A liquefação está intrinsecamente relacionada ao comportamento frágil não drenado do solo.....

Há uma grande variedade de potenciais gatilhos de liquefação.....

A falha inicial ocorreu através dos rejeitos, sem envolvimento significativo de qualquer outro material, como os solos das fundações. Também é incontroverso que a maioria dos rejeitos da barragem eram fofos, contráteis, saturados e mal drenados e, portanto, altamente suscetíveis à liquefação.....

O conjunto de análises numéricas realizadas permite concluir que a perfuração do furo B1-SM-13 é um potencial gatilho da liquefação que ocasionou o rompimento da barragem. As análises realizadas não foram capazes de identificar outros gatilhos de liquefação. Em particular, os cálculos realizados incorporando apenas os efeitos de aumento da precipitação e do creep, isoladamente ou em combinação, não resultaram em um rompimento geral da barragem.”

Lição 2: Além das práticas mencionadas anteriormente, a estabilidade das barragens à montante foi piorada pelo alto nível de água no interior dos maciços (Figura 1a), que se comportam paralelamente ao talude de jusante e afloram no topo do dique inicial (praticamente sem drenagem vertical). Além disso, normalmente observa-se nestes tipos de barragem a estratificação dos rejeitos no reservatório, criando zonas de elevada poropressão e laminação (Figura 1b). A Figura 1 a seguir ilustra ambos os fenômenos.

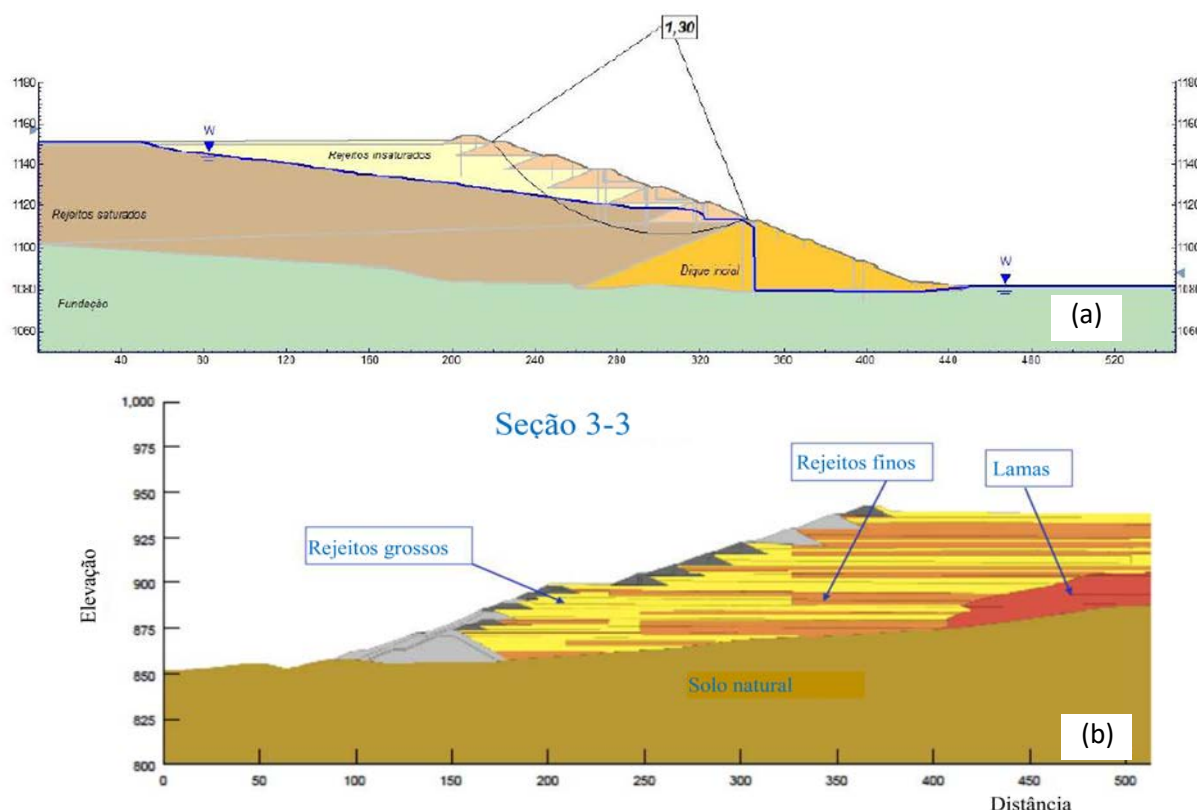


Figura 1: Seções típicas de barragens construídas pelo método à montante. (a) Exemplo da saturação elevada do maciço; (b) Estratificação dos rejeitos criando zonas de elevada poropressão (extraído de Robertson et al, 2019¹)

¹ P.K. Robertson, L. Melo, D.J. Williams, G.W. Wilson. *Report of the Expert Panel on the Technical Causes of the Failure of Feijão Dam I*. December, 2019

Lição 3: Em função dessas características, qualquer gatilho poderá induzir rupturas não drenadas e liquefação associada (*flow liquefaction*).

Portanto, verifica-se que há fragilidades inerentes nas barragens à montante, as quais devem ser objeto de investigação detalhada antes de se iniciar quaisquer trabalhos nestas estruturas, incluindo sua descaracterização. Os próprios investigadores dos acidentes, apontaram causas/condições de contorno bastante complexas, que implicam na necessidade de estudos bastante abrangentes, os quais demandam tempo adequado para sua realização.

Tais investigações, incluem atividades de campo relacionadas a execução de sondagens geológico-geotécnicas, ensaios de campo e até mesmo laboratório visando aumentar o conhecimento da estrutura e propor soluções tecnicamente adequadas. Cabe ressaltar que o acesso de qualquer equipe para proceder tais investigações necessárias ficará prejudicado ou até mesmo proibido quando as barragens se encontram em nível de emergência.

Isto posto, pode se afirmar que os trabalhos de descaracterização podem ser tão perigosos quanto os alteamentos/operação de barragens à montante (a “genética” é a mesma). O conceito do projeto de descaracterização abordará basicamente a remoção do maciço/reservatório, reforço a jusante ou combinação de ambas as soluções.

O primeiro caso requer a eficiência no rebaixamento do nível de água nos rejeitos, bem como velocidades controladas de remoção destes materiais, lembrando ainda que as vibrações impostas pelos equipamentos durante as obras deverão obrigatoriamente ser conhecidas e controladas a fim de evitar que sejam o próprio gatilho à liquefação. O segundo caso poderá impor um carregamento adicional na porção saturada basal, portanto necessitando também um maior controle. Todas as opções tem alto risco associado e não devem ser feitas sem os estudos abrangentes mencionados anteriormente. A necessidade de utilização de equipamentos remotamente operados, por sua vez, implica em baixas produtividades e por consequência, em prazos mais dilatados. Adicionalmente, onde se optou pela construção de ECJs – Estrutura de Contenção à Jusante, esta opção também impõe um prazo ainda mais dilatado pois será necessário primeiramente projetar e construir uma nova estrutura com função apenas de proteger o local a jusante, caso ocorra uma ruptura da barragem a ser descaracterizada durante a implantação do projeto propriamente dito.

Dez razões que podem influenciar diretamente no prazo proposto para a descaracterização de uma barragem à montante, quais sejam:

1. Inexistência de informações construtivas da estrutura (características e comportamento dos rejeitos lançados e do próprio aterro);
2. Instrumentação (piezômetros, medidores de nível de água etc.) deficiente ou inadequada;
3. Avaliação de eventual mudança do estado de tensões da barragem durante as atividades de escavação e rebaixamento do reservatório;

4. Restrições de acesso à estrutura a depender do nível de emergência atual da estrutura;
5. Condições climatológicas adversas do local;
6. Restrição para os tipos de equipamentos a serem utilizados (tripulado ou não, tamanho, capacidade etc.) bem como a necessidade de controle rígido das vibrações geradas por esses equipamentos;
7. Disponibilidade de empresas e profissionais especialistas no assunto para descaracterizar as 63 barragens implantadas no Brasil;
8. Disponibilidade de locais para disposição dos rejeitos escavados e lançamento destes seguindo os critérios rigorosos para evitar problemas futuros;
9. Tempo de elaboração, maturação e revisão dos projetos de descaracterização incluindo os projetos das áreas que receberão os materiais a serem escavados e removidos do reservatório;
10. Necessidade de construção das ECJ em casos específicos.

Tais colocações indicam que não é factível a imposição de prazos específicos e muito curtos quanto este de 25/02/2022.

Além disso, já se encontra em tramitação na Assembleia Legislativa do estado de Minas Gerais, o projeto de Lei nº 3209/2021 na qual propõe associar o prazo de descaracterização das barragens alteadas à montante levando em consideração o volume de rejeito reservado. A redação proposta para o parágrafo segundo do Artigo 13 é transcrita a seguir:

“...2º – O empreendedor responsável por barragem alteada pelo método a montante atualmente em operação promoverá a migração para tecnologia alternativa de cumulação ou disposição de rejeitos e resíduos e a descaracterização da barragem, na forma do regulamento do órgão ambiental competente, nos seguintes prazos:

I – até 15 de setembro de 2025, para barragens com volume até 30 milhões de metros cúbicos, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM; e

II – até 15 de setembro de 2027, para barragens com volume acima de 30 milhões de metros cúbicos, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM.”

Mesmo já havendo sinalização de alteração de prazo, agora associado ao porte da estrutura, não haverá qualquer garantia de que essa proposta seja atendida pelos proprietários de barragens. O mais correto seria indicar prazos para apresentação dos estudos e projetos individualizados por estrutura, juntamente com cronogramas detalhados das obras, de forma a garantir que as especificidades de cada barragem sejam consideradas nos projetos, assegurando que os trabalhos de descaracterização sejam conduzidos com a segurança necessária.

As soluções conceituais para elaboração do projeto de descaracterização já são de conhecimento de todos conforme exposto neste documento. No entanto, a viabilidade

técnica para implantação destas soluções em cada barragem é atualmente o grande desafio da engenharia, devido a característica de cada estrutura. Técnicas já aplicadas com sucesso em alguns das estruturas descomissionadas nem sempre poderão ser utilizadas em outras estruturas. Estabelecer um prazo, sem considerar as particularidades de cada estrutura bem como as condições de contorno do local (por exemplo, o regime hidrológico) não corresponde o melhor caminho a ser seguido, tampouco recomendado pelos maiores especialistas deste tipo de projeto.

Outro ponto a ser observado é que grande parte das estruturas construídas pelo método de montante encontram-se com algum nível de emergência estabelecido, demandando a dedicação exclusiva de equipes para acompanhamento geotécnico diário e emprego de vultosos recursos financeiros até que a estrutura esteja descaracterizada. Sendo assim, há um interesse por parte da indústria em elaborar e implantar de forma rápida, os projetos de descaracterização das barragens de montante que não mais são permitidas no Brasil.

Cabe ainda ressaltar que as iniciativas de construção das ECJ fornecem uma mitigação dos impactos de eventual rompimento durante o processo de descaracterização. Mas a solução para eliminação do risco de ruptura deverá ser cautelosamente avaliada por um grupo de especialistas e eventualmente até referendada por representantes técnicos dos próprios órgãos reguladores. Não obstante, iniciativas de participação de mais entidades na discussão e aprovação de projetos de descaracterização, geram uma extensão do prazo devido os trâmites de discussão entre os vários entes envolvidos.

Há de se levar em consideração que os locais onde serão depositados os materiais a serem escavados, predominantemente rejeitos finos e/ou arenosos, também requerem estudos e projetos específicos que ainda não são triviais na engenharia geotécnica. Além disso, os poucos projetos em implantação já definem que mesmo que os rejeitos estejam drenados, estes não poderão ser lançados sem controles rígidos de compactação e com sistemas de drenagem interna incorporados para garantia da segurança quando empilhados.

É evidente que a sociedade e o próprio legislador requerem a garantia de que estas barragens sejam eliminadas o mais breve possível, independente do recurso que está sendo aplicado nos projetos e obras de descaracterização. Uma alternativa de demonstrar que estudos de descaracterização estão em andamento, seria a verificação de contratos firmados com as empresas de projeto e obra, associados à apresentação contínua dos cronogramas de atividades e justificativas de eventuais atrasos. A observância da existência de limitações no conhecimento técnico-científico atual sobre a descaracterização de barragens deve sobrepor a vontade de se fixar um prazo para solucionar um problema que foi construído ao longo de anos de operação.