

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Utilização De Ferramentas De Processos Aos Desafios De Projetos De Descaracterização De Barragens De Rejeito.

Ludimila P. de S. Lima 1

Engenheira de Minas, Instituto Minere, Belo Horizonte, Brasil, ludimilapsouza@hotmail.com

Márcio F. Leão

Geólogo, Instituto Minere, Belo Horizonte, Brasil, marciotriton@hotmail.com

RESUMO: O Brasil, em destaque o Estado de Minas Gerais, ficou marcado por três trágicos eventos de rompimento de barragens, sendo em Itabirito - 2014, Mariana - 2015 e Brumadinho - 2019. Todos os rompimentos envolviam barragens alteadas pelo método construtivo a montante. Essa sequência de eventos motivou a elaboração da Resolução nº13 de 2019 pela Agência Nacional de Mineração (ANM), proibindo a continuidade construtiva por este método. Além dessa ação, a mesma resolução menciona a necessidade que estruturas concebidas pelo método de alteamento de montante fossem desativadas ou removidas, promovendo assim a descaracterização dessas estruturas. Considerando que o método construtivo de montante é um dos mais antigos e praticados no Brasil, as empresas projetistas bem como as gestoras dessas barragens enfrentam um enorme desafio. Diante do exposto, o objetivo do artigo é melhorar processos em projetos de descaracterização, por meio de ferramentas de gestão como, por exemplo, fluxogramas e Matriz GxUxT. a partir do gerenciamento de processos.

PALAVRAS-CHAVE: Descaracterização, Barragem de Rejeito, Mineração, Gestão, Processos.

ABSTRACT: Brazil, in particular the state of Minas Gerais, was marked by three tragic events of dam bursting, in Itabirito - 2014, Mariana - 2015 and Brumadinho - 2019. All ruptures involved dams built using the upstream construction method. This sequence of events motivated the drafting of Resolution nº13 of 2019 by the National Mining Agency (ANM), prohibiting the constructive continuity by this method. In addition to this action, the same resolution mentions the need for structures designed by the upstream elevation method to be deactivated or removed, thus promoting the decharacterization of these structures. Considering that the upstream construction method is one of the oldest and most practiced in Brazil, the design companies as well as the managers of these dams face a huge challenge. In view of the above, the objective of this paper is to improve processes in decommissioning projects, through management tools such as flowcharts and GxUxT Matrix from process management.

KEYWORDS: De characterization, Tailings Dam, Mining, Manegement, Process.

1 Introdução

Os marcos históricos com acidentes de barragens de rejeitos recentes podemos citar os anos de 2014 em Itabirito, 2015 em Mariana e 2019 em Brumadinho. Esses casos levaram profissionais, pesquisadores, empresas e legisladores a repensarem a forma de conceituar, projetar e executar barragem de rejeitos. A decisão de impacto imediato foi a proibição da construção de novas barragens de rejeito e prazos estabelecidos pela Agência Nacional de Mineração (ANM) para a descaracterização das barragens em especial de método de alteamento a montante.

Diante desse novo cenário, houve uma crescente demanda dos profissionais diretamente envolvidos com a atividade em adequar a situação atual das barragens com as novas exigências. A resolução Nº13 de 2019 da ANM descreve e orienta as novas medidas que devem ser seguidas para a garantia da estabilidade tanto das



barragens pelo método de alteamento a montante como também daquelas de método não caracterizado e assim possibilitar a continuidade das atividades de mineração de forma mais segura em termos técnicos e sócioambientais.

O objetivo do presente artigo busca identificar e contribuir com a melhora dos processos em projetos de descaracterização de barragens. Para isso, foram utilizadas ferramentas de gestão de processos.

2 Metodologia

Na tentativa de ordenar o pensamento técnico para o início de um projeto de descaracterização de barragem esse artigo propõe um fluxo de processo e sugere ferramentas que auxiliem nas decisões de importantes premissas para projetos com esse foco e assim melhorar a qualidade das entregas dos mesmos. A tabela 1 apresentam as normas e legislações que orientam os projetos de descaracterização no Brasil.

Tabela 1. Principais Norma e legislação que deverão ser atendidas em projetos de descaracterização.

ABNT	Nome/Nº	Descrição
	13.028/2017	Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e preservação de água – Requisitos.
	13.029/2017	Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha.
Legislações	Lei Federal 6.938/1981.	Política Nacional do Meio Ambiente.
	Portaria DNPM nº 70.389/2017.	Segurança de barragens de mineração.
	Portaria DNPM nº 237/2001 NRM 20.	Suspensão, fechamento e mina e retomada das operações minerais.
	Portaria DNPM nº 237/2001 NRM 21.	Reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas.
	Lei nº 14.066/2020.	Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).
	Resolução ANM nº 13/2019.	Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências.

Quando da oportunidade em iniciar um projeto de descaracterização de barragem uns dos pontos mais importantes é o entendimento entre as partes técnica (especializada) e o cliente no processo. Um bom projeto se baseia em três sólidos fatores : pessoas, processos e ferramentas. Alguns fundamentos também devem ser aplicados como: integração entre as partes envolvidas, escopo bem definido, qualidade das etapas, distribuir etapas e prazos de atendimento (cronograma), levantar custos e desenvolver as atividades dentro do orçamento e avaliar e gerenciar os riscos envolvidos. Dessa forma, as chances do não atendimento aos requisitos mínimos necessários é evitada e a qualidade de um bom trabalho é presente.

Abaixo, estão listados e exemplificados importantes assuntos que devem ser observados e inseridos num projeto.

Premissas legais:



- Os dimensionamentos/verificações das estruturas hidráulicas do maciço de reforço deverão seguir os padrões estabelecidos na norma ABNT/NBR 13.028/2017;
- Será apresentada a demarcação da área de supressão vegetação natural nas áreas do entorno do dique;
- Projeto elaborado a partir das bases topográficas disponibilizadas pelo Cliente;
- A solução de descaracterização do dique está de acordo com as leis vigentes;
- Será realizado o levantamento e caracterização das possíveis interferências;
- Local a ser disposto o rejeito oriundo da descaracterização da estrutura será definido/confirmado pelo Cliente, quando da elaboração do projeto básico.

Dados topográficos

- Atentar para as diversas bases topográficas existentes, bem como o DATUM a qual estão referenciadas as bases;
- Quanto maior a idade construtiva da barragem e seus alteamentos, maior será a possibilidade de desencontros entre as bases topográficas. Não é uma regra!;
- Ao confrontar as bases topográficas verificar o histórico da barragem. Exemplo: Houve deposição de material? Houve escavação? Etc.

Premissas geotécnicas

- Nível freático do reservatório definido com base nas leituras registradas durante as campanhas de sondagem, devido aos medidores de nível d'água se apresentarem secos;
- Carga mínima de jusante correspondente ao nível d'água;
- Análises de estabilidade realizadas por meio da metodologia de Morgenstern-Price e critério de ruptura de Mohr-Coulomb;
- Materiais isotrópicos e homogêneos quanto à suas características de resistência;
- Parâmetros geotécnicos dos materiais definidos a partir de resultados de ensaios de campo realizados ou adotados a partir do último relatório de inspeção de segurança regular;
- Para a definição dos parâmetros não drenados do rejeito foi utilizado o ensaio de CPTu executado;
- Será utilizada metodologia específica para avaliação da susceptibilidade do rejeito a liquefação;
- Na análise de estabilidade considerando atividade sísmica, será utilizado aceleração de pico igual a 0,1g na horizontal e -0,06g na vertical);
- Definição de Fatores de Segurança (FS) para a estrutura descaracterizada, em distintas condições.

Premissas Estabilização

- A bacia hidrográfica a montante, durante o processo de recomposição vegetal, poderá apresentar uma geração de sedimentos superior à naturalmente gerada. Salienta-se que mesmo em condições totalmente revegetadas haverá uma geração natural de geração de sedimentos;
- Destaca-se que a fonte geradora deve ser primordialmente revegetada, avançando em toda e qualquer área exposta;
- Já sobre a avaliação dos impactos diretos e indiretos a jusante, esta deve ser realizada em próxima etapa do estudo pois necessariamente carece de um entendimento em termos de identificação da atual condição frente às cheias existentes com a presença da barragem para subsidiar a comparação com sua retirada.

Premissas hidrológicas/hidráulicas

- Definição da relação intensidade-duração-frequência conforme documento;
- Para cálculo das vazões de projeto do Canal Central, foram adotados os quantis de chuva associados a 500 anos de período de retorno pelo fato de a área não estar mais caracterizada como barragem quando da sua implantação;
- Face à inexistência de monitoramento fluviométrico nas bacias de interesse, o cálculo das vazões afluentes será realizado por meio de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão. Em virtude da magnitude das áreas de contribuição, as vazões de projeto serão determinadas segundo o Método Racional;



- A área de drenagem do dique é limitada à área do reservatório da mesma;
- Deverá ser minimizada o acúmulo de água entre o rejeito e o maciço existente durante a execução da obra. Para isso, deverão ser construídos canais de desvio, durante a obra, bem como instalado sistema de bombeamento, para utilização quando necessário;
- Os materiais adotados corresponderão aos previstos na elaboração deste documento.

3 Resultados e Discussões

Uma vez entendida e levantada as necessidades que o projeto demanda, podemos utilizar o fluxograma que possibilita organizar visualmente as etapas que deve-se atender. A Figura.1 apresenta as principais atividades envolvidas nos projetos de descaracterização de barragens de mineração.

Quando do desdobramento do projeto, nas fases extremamente técnicas, o desenvolvimento dessas atividades pode ser feito utilizando umas das ferramentas que auxiliarão na priorização das etapas de desenvolvimento, otimizando o tempo dos profissionais envolvidos, garantindo inputs sólidos e confiáveis e evitando retrabalhos e grandes desvios orçamentários. A matriz GxUxT (HARRINGTON, 1993) foi utilizada nesta proposta por se tratar de uma ágil ferramenta e analítica de processos.

As tabelas abaixo exemplificam como foi utilizada a matriz GxUxT para descaracterização de barragem, considerando as etapas: estudos hidrológicos/ hidráulicos, estudos geotécnicos, estabilização e monitoramento. A simbologia nas tabelas das matrizes podem ser compreendidas como: PC: Ponto Crítico; G: Gravidade; U: Urgência; T: Tendência; P: Prioridade; SP: Sequência das Prioridades.

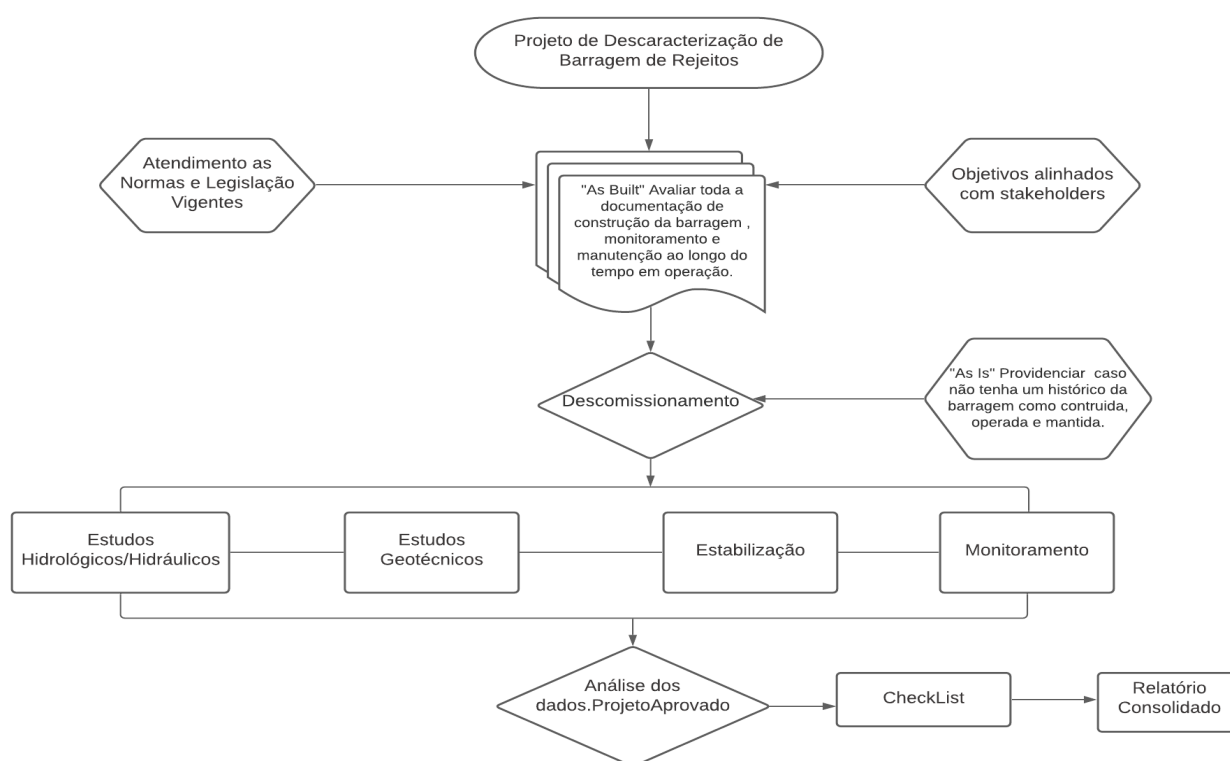


Figura.1 Fluxo do processo.

Tabela 2. Matriz GxUxT para etapa de estudos hidrológicos/ hidráulicos.

Estudos Hidrológicos/ Hidráulicos	G	U	T	P	SP
Dados sobre o Relevo e levantamento topográfico, estudos climatológicos, estudos pluviométricos, cadastro de interferências.	5	4	5	100	1º
Dimensionamento das estruturas (bacias de dissipação).	4	4	2	32	2º



Simulação para esvaziamento do reservatório (variáveis de controle).	5	3	2	30	3°
Estudo de cálculo de vazão por método indireto (chuva-vazão).	5	5	1	25	4°
Avaliação da qualidade da água.	4	3	2	24	5°
Levantamento da bacia hidrográfica e suas contribuições.	4	2	2	16	6°

Tabela 3. Matriz GxUxT para etapa de estudos geotécnicos.

Estudos Geotécnicos (PC)	G	U	T	P	SP
Mapa de localização das campanhas de sondagem. Investigações geológico-geotécnicas, ensaios in situ e laboratório em fase de As Is e As Built.	5	5	5	125	1°
Definição dos materiais geológico-geotécnicos da fundação e propriedades geotécnicas (Geologia regional- Geologia local - Aspectos da fundação).	4	5	5	100	2°
Análise de potencial de liquefação estático e dinâmico.	5	4	5	100	3°
Análises de estabilidade em vários cenários: drenado e não drenado (pico e sismo).	5	3	4	60	4°
Avaliação geotécnica com rebaixamento do nível de água.	3	4	3	36	5°
Estudos sismológicos.	4	3	3	36	6°
Ensaio de permeabilidade (percolação de fluxo).	3	3	3	27	7°

Tabela 4. Matriz GxUxT para etapa de estabilização.

Estabilização (PC)	G	U	T	P	SP
Plano de fechamento.	5	5	5	125	1°
Estruturas de reforço da fundação.	5	5	4	100	2°
Qualidade da água.	4	3	3	36	3°
Acompanhamento tempo X área recuperada.	3	3	3	27	4°
Revegetação.	3	3	2	18	5°

Tabela 5: Matriz GxUxT para etapa de monitoramento.

Monitoramento(PC)	G	U	T	P	SP
Piezômetros (Evolução dos níveis de sub-pressões desenvolvidos ao longo da fundação).	5	4	3	60	1°
Rotina de inspeção e leitura dos instrumentos. Testes de vida nos instrumentos.	5	3	4	60	2°
Coleta e interpretação dos dados.	4	3	4	48	3°
Marco superficial (Acompanhamento de recalques e deslocamentos horizontais da estrutura).	5	3	3	45	4°
INA-Indicador de Nível de água. (Monitoramento do nível da freática estabelecida no interior do maciço).	4	3	3	36	5°

4 Conclusões

O trabalho desenvolvido nesse artigo possibilitou utilizar uma das diversas metodologias e ferramentas de gerenciamento para projetos multidisciplinares considerando a complexidade do tipo de projeto em questão.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Existem bons métodos para desenvolver um projeto, porém o mais importante é que o método possibilite entender a dimensão da demanda, das etapas, recursos e prazos a serem atendidos. O objetivo é que haja um ganho em melhoria de processos de descaracterização e permitir que com o passar do tempo cada projeto desenvolvido possa agregar qualidade e know how.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Harrington, H.J. Aperfeiçoando Processos Empresariais. Editora Makron Books, São Paulo, SP. 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.028: Elaboração e Apresentação de Projeto de Barragens para Disposição de Rejeitos, Contenção de Sedimentos e Reservação de Água, em mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

Brasil (2017) Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) Portaria nº 70.389/2017 do DNPM.

Brasil(2001). Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Minuta alteração Portaria DNPM nº 237/2001: NRM 20 - Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras.

Brasil(2001). Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Minuta alteração Portaria DNPM nº 237/2001: NRM 21 - Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas.

Brasil.(2019). Resolução ANM nº 13 de 8 de agosto de 2019 que estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências. Diário Oficial da União, 12 de agosto de 2019. Disponível em: . Acessado em 20 de outubro de 2019.

Brasil(1981).Lei 6938/1981.Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental.

Brasil(2020).Lei 14066/2020. Esta Lei altera dispositivos da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), da Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).