

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
13028

Terceira edição
14.11.2017

**Mineração — Elaboração e apresentação de
projeto de barragens para disposição de rejeitos,
contenção de sedimentos e reservação de água
— Requisitos**

*Mining — Preparation and presentation of design of tailings, sediments
and/or water dams — Requirements*

ICS 73.020

ISBN 978-85-07-07286-7



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 13028:2017
16 páginas

ABNT NBR 13028:2017



© ABNT 2017

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av.Treze de Maio, 13 - 28º andar
20031-901 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: + 55 21 3974-2300
Fax: + 55 21 3974-2346
abnt@abnt.org.br
www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	iv
Introdução	v
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	1
4 Considerações gerais	4
5 Requisitos para a elaboração e apresentação do projeto.....	5
5.1 Sumário executivo	5
5.2 Introdução	5
5.3 Ficha técnica da barragem	6
5.3.1 Estudos tecnológicos e caracterização física dos rejeitos.....	6
5.3.2 Caracterização química dos rejeitos	6
5.3.3 Estudos locacionais.....	6
5.3.4 Estudos hidrológicos e hidráulicos	7
5.3.5 Estudos geológico-geotécnicos	7
5.3.6 Estudos sísmicos	8
5.4 Projetos da barragem	8
5.4.1 Premissas, hipóteses admitidas e critérios de projeto	9
5.4.2 Geometria e arranjo geral.....	9
5.4.3 Ocupação do reservatório.....	9
5.4.4 Balanço hídrico	9
5.4.5 Estruturas auxiliares.....	9
5.4.6 Desvio de curso de água	9
5.4.7 Tratamento das fundações.....	10
5.4.8 Drenagem interna do maciço	10
5.4.9 Impermeabilização da barragem.....	10
5.4.10 Maciço da barragem.....	10
5.4.11 Sistema extravasor	12
5.4.12 Drenagem superficial.....	13
5.4.13 Instrumentação de controle	14
5.4.14 Plano de fechamento	14
5.4.15 Plano de desativação.....	14
5.4.16 Documentos que devem ser anexados em conjunto com o projeto final	14
Bibliografia.....	16

Tabelas

Tabela 1 – Fatores de segurança mínimos para barragens de mineração	11
Tabela 2 – Fatores de segurança mínimos para barragens de concreto	12
Tabela 3 – Tempo de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor em função das consequências ou legislação vigente.....	13

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os Órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma.

A ABNT NBR 13028 foi elaborada pela Comissão de Estudo Especial de Elaboração de Projetos para Disposição de Rejeitos e Estereis em Mineração (ABNT/CEE-220). O seu 1º Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 03, de 09.03.2017 a 07.05.2017. O seu 2º Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 08, de 10.08.2017 a 10.09.2017.

Esta terceira edição cancela e substitui a edição anterior (ABNT NBR 13028:2006), a qual foi tecnicamente revisada.

O Escopo em inglês desta Norma Brasileira é o seguinte:

Scope

This Standard establishes the minimum requirements for the development and presentation of the design of dams in the mining industry. These, include dams and reservoirs for disposal processing tailings containment sediments generated by erosion and water storage for the industry use. This standard has the purpose of defining the conditions of safety, economy, operability and closure for the projects minimizing any environmental impacts.

NOTE *This Standard does not intend to address all aspects of federal, state and local, associated with its use. It is the user's responsibility of this standard, in case of any conflicts of regulatory procedures, establish appropriate practices for each case in accordance with current laws and with good engineering practice.*

Introdução

A revisão da ABNT NBR 13028 está sendo preparada em consonância com as legislações vigentes. A classificação das barragens de mineração será realizada conforme a análise do risco e o dano potencial associado.

Uma série de documentos fornece orientações sobre a concepção das barragens de mineração (em particular barragens de rejeitos), e o leitor será remetido à Seção de referencias ao final desta Norma, onde pode obter esse conjunto de informações. Um documento chave de referência é o Boletim ICOLD 139 “*Improving Tailings Dam Safety: Critical Aspects of Management, Design, Operation, and Closure*”, emitido em 2011.





Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos

1 Escopo

Esta Norma especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de barragens de mineração, incluindo as barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos gerados por erosão e reservação de água em mineração, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente.

NOTA Esta Norma não pretende abordar todos os aspectos das legislações federal, estadual e municipal, associados a seu uso. É de responsabilidade do usuário desta Norma, em caso de eventuais conflitos de procedimentos normativos, estabelecer as práticas apropriadas para cada caso, em conformidade com as legislações vigentes e com a boa prática da engenharia.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 10004, *Resíduos sólidos – Classificação*

ABNT NBR 10005, *Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*

ABNT NBR 10006, *Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*

ABNT NBR 10007, *Amostragem de resíduos sólidos*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

rejeito

todo e qualquer material descartado durante o processo de beneficiamento de minérios

3.2

disposição de rejeito

forma planejada e organizada de acumular rejeitos com minimização de riscos estruturais e ambientais

3.3

sedimento

todo e qualquer particulado sólido gerado por erosão e carreado superficialmente pela água

ABNT NBR 13028:2017**3.4****barragens de mineração**

barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito mineral, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração ou descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas.

NOTA As barragens podem estar localizadas em um curso permanente ou temporário de água ou também fora de cursos de água em encostas ou platôs.

3.5**alteamento de barragens**

qualsquer incrementos de altura do maciço de barragens, a partir de um maciço inicial existente, projetados e construídos para aumento de capacidade volumétrica, elevação de lâmina de água, aumento de altura de amortecimento de cheias, ou outro motivo, tornando necessário ou desejável tal procedimento

3.6**barragens para disposição de rejeitos**

estruturas utilizadas para reter, de forma planejada, projetada e controlada, volumes de rejeitos advindos do processo de beneficiamento de minério

3.7**barragens construídas com rejeitos**

barragens formadas com rejeitos, que possuem características geotécnicas que permitem que sejam utilizados para a construção ou alteamento da estrutura principal de contenção

3.8**métodos para alteamento de barragens**

alteamento da barragem a partir do eixo do maciço inicial existente, podendo ser projetado e construído por meio de três formas: métodos de alteamento a jusante, linha de centro e montante

3.9**empilhamento drenado**

estrutura construída hidráulica ou mecanicamente com rejeitos, que se configura como um maciço permeável, dotado de sistema de drenagem de fundo, com formação de espelho de água reduzido, podendo ser implantada em fundo de vale, encosta ou outra área

3.10**barragens construídas sobre os rejeitos**

estruturas construídas sobre os rejeitos, porém recuadas em relação ao maciço principal da barragem, que, apesar de incrementarem a capacidade de disposição de rejeitos do reservatório, não incrementam a altura da barragem. Estas estruturas são projetadas e construídas avaliando as potenciais consequências para a barragem

3.11**reservatório**

espaço criado a montante da barragem, destinado à contenção de rejeitos, sedimentos e/ou reservação de água, que podem estar contaminados ou não

3.12

sólidos ou líquidos contaminados

concentrações de elementos químicos sólidos ou líquidos, incluindo os radioativos (conforme tabela de contaminantes do Conama e outras instituições normativas) de interesse que têm o potencial de afetar negativamente o meio ambiente ou a saúde humana

3.13

sistema de disposição de rejeitos em barragem

conjunto formado pelos subsistemas necessários à disposição dos rejeitos, como barragem, diques intermediários, diques selas, pilhas, adutoras, vertedouros, estruturas de drenagem e estações de bombeamento

3.14

afluente à barragem

qualquer fluxo de água, de rejeitos ou de outros sedimentos, perenes ou sazonais, superficiais ou subterrâneos, que convergem para o reservatório da barragem

3.15

efluente da barragem

fração líquida que retorna ao meio ambiente por via superficial e/ou subterrânea, após passar pela barragem

3.16

vida útil operacional da barragem

período compreendido entre o início da operação e o fechamento da barragem

3.17

desativação da barragem

suspensão da operação, temporária ou definitivamente, quando a estrutura não está recebendo aporte de rejeitos e/ou sedimentos

3.18

plano de fechamento da barragem

conceituação, planejamento e projeto do conjunto de atividades necessárias para permitir o fechamento da estrutura

3.19

áreas de empréstimo

áreas selecionadas no projeto para a extração dos materiais de construção do maciço da barragem

3.20

superfície freática normal

superfície freática admitida para as condições normais de funcionamento da drenagem interna em regime permanente, com fluxo em condições normais de operação, conforme prevista em projeto

NOTA É importante considerar que há barragens nas quais não há sistema de drenagem interna e que a superfície freática está diretamente relacionada às condições de drenabilidade da fundação e dos materiais utilizados na construção da barragem.

3.21

superfície freática crítica

superfície freática correspondente à rede de fluxo em condições críticas de operação, que introduz condições severas de estabilidade e potencial de erosão interna admitida, como, por exemplo, para as condições de mau funcionamento da drenagem interna da barragem prevista em projeto

3.22**cheia de projeto**

vazão ou hidrograma de dimensionamento de projetos hidráulicos, como, por exemplo, de um sistema extravasor, correspondendo a valores significativos de vazão de pico, ou volume de dada duração, e associados a um período de retorno, para os quais se estabelece o risco e a segurança das estruturas ou sistemas hidráulicos

3.23**período de retorno**

conceito estatístico que representa o período médio, em anos, em que um determinado evento de cheia é igualado ou superado, representando também o inverso da probabilidade de que este evento seja igualado ou superado em um ano qualquer

3.24**borda livre**

altura livre entre o nível de água *maximum maximorum* calculado pelo modelo hidrológico, no momento da passagem da cheia de projeto e da elevação de coroamento da barragem

3.25**volume de espera**

volume mínimo destinado ao amortecimento da cheia de projeto, situado entre a soleira do sistema de extravasamento e o nível d'água *maximum maximorum*, utilizado no dimensionamento das estruturas de vertimento. Nas barragens de rejeitos, os volumes para amortecimento de cheias devem ser maiores que os volumes de espera no início da operação, sendo progressivamente reduzidos ao longo da vida útil, pela ocupação dos depósitos de rejeitos

3.26**altura de barragem**

diferença de cotas entre a crista da barragem e o ponto mais baixo da fundação

4 Considerações gerais

4.1 O termo barragem é utilizado pelos operadores de mina para se referir à completa instalação para disposição de rejeitos. A barragem é considerada como sendo a estrutura principal de contenção que envolve o sistema de disposição de rejeitos. No interior da estrutura de disposição de rejeitos pode haver também estruturas internas de retenção de sólidos e fluidos. O termo “dique” também é usado por alguns operadores de mina, considerado como pequenas barragens, e muito utilizado para contenção de sedimentos de pilha de estéril e/ou área de operação.

4.2 Barragens de rejeito podem ser construídas com terra (solo), enrocamento ou mesmo construídas com o próprio rejeito.

4.3 Em alguns casos, os rejeitos podem ser ciclonados para que se adequem às características geotécnicas requeridas, para serem utilizados como material de construção, e em outros não é utilizada a ciclonagem de rejeitos, porém a segregação hidráulica melhora as características geotécnicas dos rejeitos por meio da separação de partículas formada ao longo do fluxo de disposição. Nesses tipos de barragens, as características dos rejeitos, em especial granulometria, resistência ao cisalhamento e permeabilidade são essenciais ao sucesso do projeto.

4.4 Métodos de alteamento podem ou não utilizar os rejeitos para sua construção. No método de alteamento a jusante, o material de construção é disposto a jusante do maciço inicial da barragem.

No método de alteamento de linha de centro, os materiais de construção são dispostos parte a jusante e parte a montante do dique inicial e, finalmente, no método de alteamento a montante, o material de construção é disposto a montante de um dique inicial.

4.5 O método de alteamento a montante envolve uma atenção especial nas fases de projeto, construção, operação e desativação, e sua escolha deve ser pautada por um maior nível de detalhamento na engenharia dos rejeitos, sejam eles utilizados como fundação ou como material de construção, bem como nos elementos de drenagem interna e análise para solicitações de carregamento não drenado. Para este método, o manual de operação deve ser incluído no projeto e deve ser detalhado para evitar erros de operação.

4.6 O método de empilhamento drenado destaca-se como um detalhamento na engenharia dos rejeitos, quanto às características granulométricas e permeabilidade adequadas e controladas durante toda a sua vida útil, para que a livre drenagem ocorra, permitindo que a estrutura esteja em condições não saturadas.

4.7 Os tipos de barragens de mineração são os seguintes:

- a) barragens para disposição rejeitos, sedimentos e/ou lamas (incluindo diques de fechamento/sela ou estruturas de retenção para rejeitos espessados);
- b) barragens para contenção de sedimentos gerados por erosão hidráulica;
- c) barragens para acumulação de líquidos contaminados;
- d) barragens para coleta de percolado e barragens de polimento;
- e) barragens para fechamento de cavas exauridas em cavas de mineração;
- f) barragens para acumulação de água industrial para o beneficiamento do minério.

5 Requisitos para a elaboração e apresentação do projeto

5.1 Sumário executivo

O sumário executivo deve relacionar as informações gerais sobre o projeto, de forma resumida, para permitir seu entendimento global.

5.2 Introdução

A introdução deve fornecer informações básicas como as seguintes:

- a) empreendedor: identificação e endereço;
- b) empreendimento: localização, acesso, finalidade, tipo de barragem, vida útil operacional da barragem e características do rejeito a ser disposto e dos volumes do maciço e reservatório;
- c) classificação da barragem de acordo com a legislação vigente;
- d) sistema extravasor;
- e) forma de lançamento e ocupação do rejeito no reservatório.

5.3 Ficha técnica da barragem

A ficha técnica da barragem deve informar as características físicas que definem a barragem projetada e a bacia de drenagem, incluindo tipo de barragem, altura final, elevações de base e de crista, comprimento e largura da crista, ângulo de talude geral, largura de bermas, ângulos de taludes entre bermas, altura dos taludes entre bermas, volumes do maciço e reservatório, vertedouros, vida útil operacional, área ocupada pelo reservatório, área de desmatamento, critérios de projeto aplicáveis e informações sobre o projetista.

5.3.1 Estudos tecnológicos e caracterização física dos rejeitos

Para as barragens de rejeitos devem ser descritas as técnicas de disposição avaliadas, de forma comparativa, justificando a escolha feita para o projeto. Em barragens de rejeito do tipo construídas com o próprio rejeito, enfoque especial deve ser dado às características físicas e propriedades geotécnicas e de sedimentação dos rejeitos, como granulometria, resistência ao cisalhamento e permeabilidade. É obrigatório que estes parâmetros sejam completamente investigados e entendidos, mediante a execução de ensaios de laboratório e eventualmente *in situ*, na fase de projeto, implantação e operação, devendo ser revisados durante a vida operacional da barragem. A correta seleção do método de disposição permite que o projeto da barragem de rejeitos seja seguro, econômico e atenda às funções requeridas durante toda a sua vida útil, incluindo também o fechamento. É importante destacar que o método de disposição selecionado pode influenciar alguns aspectos relacionados ao balanço e gerenciamento hídrico do projeto.

5.3.2 Caracterização química dos rejeitos

Descrever e analisar tecnicamente os resultados dos ensaios de caracterização química dos rejeitos a serem dispostos ou utilizados como material de construção das barragens. Os rejeitos devem ser amostrados, caracterizados e classificados conforme as ABNT NBR 10004, ABNT NBR 10005, ABNT NBR 10006 e ABNT NBR 10007. Recomenda-se ainda que seja avaliado o potencial de geração de drenagem ácida ou radioativa. Cabe destacar que a caracterização química dos rejeitos também é elemento condicionante na seleção do método de disposição, podendo influenciar na alternativa selecionada.

NOTA Na ausência de legislação específica, as barragens que armazenam rejeitos classificados como perigosos podem demandar a implementação de revestimento de características impermeabilizantes. Já os rejeitos classificados como Classe II A (não perigosos e não inertes) ou com potencial para geração de drenagem ácida ou de radionuclídeos, podem demandar uma avaliação hidrogeológica e hidrogeoquímica integrada ao projeto da barragem, incluindo caracterização e definição dos valores de referência prévios à implantação do empreendimento, visando verificar as vulnerabilidades do aquífero e definir a necessidade e o tipo de revestimento e/ou o controle a ser aplicado ao projeto. Já os rejeitos inertes não são considerados contaminantes e, deste modo, não possuem potencial para afetar de forma negativa o meio ambiente nem a saúde humana, não demandando assim qualquer tipo de revestimento.

5.3.3 Estudos locacionais

Os estudos locacionais devem descrever as opções de locação do eixo da estrutura, estudadas durante o projeto, tendo em vista variáveis de engenharia e ambientais, justificando a escolha feita para o projeto.

A justificativa deve ser apresentada contendo as características geomorfológicas, geológicas e geotécnicas, hidrometeorológicas, ambientais, dos volumes e das áreas dos reservatórios, em uma avaliação comparativa entre as alternativas consideradas.

5.3.4 Estudos hidrológicos e hidráulicos

Os estudos hidrológicos e hidráulicos devem descrever as características climáticas e hidrológicas da bacia de contribuição para a barragem, além de definir os parâmetros necessários ao dimensionamento do sistema extravasor da barragem, do sistema de bombeamento (quando aplicável) e do sistema de desvio do curso d'água.

A base de informações necessárias para o desenvolvimento de balanço hídrico do reservatório deve ser apresentada e associada ao balanço de massa dos rejeitos e/ou taxa de geração de sedimentos, quando aplicável. É esperado também que seja apresentada a descrição metodológica para a determinação dos quantis de precipitação e/ou vazão que serão utilizados para o trânsito de cheias do reservatório. As estações de referências utilizadas para as análises estatísticas com a determinação dos quantis de chuvas devem ser explicitadas no que se refere à sua representatividade espacial dos processos hidrológicos existentes na bacia de contribuição da barragem. Utilizar prioritariamente estações de referência com mais de 20 anos de dados consistidos.

5.3.5 Estudos geológico-geotécnicos

Os estudos geológico-geotécnicos devem possibilitar um entendimento adequado das características dos materiais de fundação e dos materiais de construção, e respectivos comportamentos perante as solicitações que serão impostas pelas estruturas e conteúdo do reservatório. As características de resistência, compressibilidade e permeabilidade devem ser determinadas por meio de ensaios de laboratório e de investigações *"in situ"*.

5.3.5.1 Geologia regional e local

A geologia regional e local deve apresentar o mapeamento geológico-geotécnico de superfície das áreas destinadas às fundações do maciço da barragem e das áreas situadas no entorno do reservatório, para orientar a programação das investigações de campo e de laboratório, necessárias ao estudo das fundações da barragem e/ou dos taludes nas ombreiras ou no reservatório e áreas de empréstimos.

5.3.5.2 Fundações

O estudo das fundações deve apresentar os principais resultados do mapeamento geológico-geotécnico das investigações geotécnicas e dos ensaios de campo e de laboratório realizados para se conhecerem as características geotécnicas dos materiais constituintes e das condições hidrogeológicas das fundações da barragem e, consequentemente, subsidiar a elaboração dos estudos para elaborar o projeto de tratamento das fundações e as análises estruturais da barragem. A quantidade de sondagens e amostras a serem coletadas e analisadas em laboratório deve ser definida por profissional com reconhecida experiência para que permita o completo entendimento do contexto geológico-geotécnico no local de implantação da barragem.

Para barragens alteadas sobre os rejeitos (alteamentos a montante ou linha de centro), deve ser avaliado o potencial de suporte do material, com apresentação dos resultados de caracterização geotécnica dos rejeitos, como granulometria, densidade dos grãos, índices de vazios, coeficiente de permeabilidade, parâmetros de adensamento e deformação e seus parâmetros de resistência bem como deve ser avaliado o potencial de liquefação dos rejeitos (análises de estabilidade para condições não drenadas).

5.3.5.3 Materiais de construção

Apresentar os estudos realizados para a definição dos materiais de construção do maciço da barragem, disponíveis nas áreas de empréstimo, considerando suas características geotécnicas, como: densidade *"in situ"*, densidade dos grãos, teor de umidade natural, granulometria, limites de consistência, parâmetros de resistência ao cisalhamento, coeficiente de permeabilidade, parâmetros de compactação, grau de alteração e parâmetros de adensamento e deformação, para avaliação dos parâmetros de resistência para utilização nas análises estruturais da barragem.

ABNT NBR 13028:2017

Para barragens construídas com rejeito, devem ser apresentados e analisados os resultados da caracterização geotécnica dos rejeitos, como granulometria completa por peneiramento e sedimentação, densidades máxima e mínima, densidade real dos grãos, coeficiente de permeabilidade, parâmetros de adensamento e deformação, e parâmetros de resistência ao cisalhamento; em especial, avaliar o potencial de liquefação dos rejeitos (comportamento durante o cisalhamento e análise de estabilidade para condições não drenadas).

Apresentar também as características dos materiais granulares a serem utilizados para a construção dos dispositivos de drenagem interna da barragem.

5.3.6 Estudos sísmicos

Os estudos sísmicos devem avaliar o potencial de sismicidade na área de implantação da barragem, com base em bibliografia, incluindo normas existentes e registros.

Recomenda-se, para as etapas iniciais de estudo, a utilização do critério sugerido pela *Canadian Dam Association* (CDA), que indica a adoção da aceleração da gravidade resultante do Sismo Máximo Provável (MCE – *Maximum Credible Earthquake*) para análise pseudoestáticas.

5.4 Projetos da barragem

O projeto da barragem pode ser desenvolvido em níveis conceitual, básico e executivo, conforme a seguir:

- a) O nível conceitual é uma etapa do projeto em que a barragem é concebida como estrutura para disposição de rejeitos e outras funções subsidiárias, ainda não contemplando os dimensionamentos da barragem. Nesta etapa são apresentados o estudo de alternativas locacionais e tecnológicas, os critérios de projeto, as premissas e restrições, a curva cota-volume e também o tipo de barragem selecionada. Normalmente são preparados no projeto conceitual os desenhos-chave preliminares do projeto, como a base topográfica, planta de situação, seção-tipo e eventuais detalhes que permitem estabelecer o conceito definido para o projeto;
- b) O nível básico é a etapa subsequente ao projeto conceitual. Nessa etapa são validadas as premissas e hipóteses assumidas no projeto conceitual. Os resultados das investigações geológico-geotécnicas e levantamentos topográficos são utilizados para os dimensionamentos básicos da barragem. Os dimensionamentos geotécnicos e hidráulicos, os planos de manejo de disposição de rejeito, captação de água, os desenhos e especificações de projeto são preparados em nível de detalhe e precisão que permitam que as obras sejam contratadas, em condições contratuamente seguras e claras quanto às quantidades de serviços e características de qualidade;
- c) O nível executivo é a etapa final da engenharia em que são feitos os dimensionamentos finais relacionados às estruturas auxiliares, como dimensionamento e cálculo estrutural e desenhos de detalhe de vertedouros, galerias, drenagens superficiais e acessos. Nesta etapa também é detalhado o plano de implantação do projeto e documentos complementares para a implantação e futura operação da barragem.

O projeto executivo necessita ter nível de detalhe para a execução da obra e portanto deve definir toda a geometria e as características de qualidade dos materiais de construção utilizados. As eventuais necessidades de alterações do projeto executivo da obra devem ser relatadas no documento de como construído “*as built*”. O projeto executivo deve abordar os aspectos operacionais que interferem no projeto por intermédio de um manual de operações detalhado.

5.4.1 Premissas, hipóteses admitidas e critérios de projeto

Apresentar as premissas, hipóteses e critérios operacionais admitidos para o projeto, como: funções da barragem, vida útil estimada, metodologia e materiais de construção, critérios de segurança adotados quanto à estabilidade física e hidráulica, legislação pertinente, descrição das características dos rejeitos a serem dispostos quando aplicável etc.

5.4.2 Geometria e arranjo geral

Descrever o resultado dos estudos de alternativas de localização, as características técnicas do dimensionamento do arranjo final do maciço da barragem e reservatório, acessos provisórios e definitivos, sistema extravasor, curva de elevação *versus* volume do maciço da barragem, curva elevação *versus* volume do reservatório, os sistemas de drenagem interna e superficial e a metodologia de construção e de alteamentos do maciço.

5.4.3 Ocupação do reservatório

Apresentar o plano de ocupação do reservatório, elaborado com base nos estudos sedimentológicos dos rejeitos e no balanço hídrico. Para as barragens de rejeito apresentar um plano de disposição dos rejeitos para toda a vida útil da barragem. O plano de disposição deve estar integrado com o balanço hídrico da barragem e deve ser revisado durante toda a operação do empreendimento. Atenção especial deve ser dada à taxa de alteamento para barragens construídas com o próprio rejeito. A taxa de alteamento deve ser levada em consideração no projeto da barragem, uma vez que influencia as condições de estabilidade ao longo da operação, podendo ser um potencial mecanismo de ruptura.

5.4.4 Balanço hídrico

O balanço hídrico do reservatório deve ser apresentado incluindo todas as potenciais entradas e saídas de água durante toda a vida útil e após o seu fechamento. O relatório do projeto deve apresentar a origem da informação de cada variável do balanço, bem como apresentar os resultados e interpretação do comportamento do reservatório (volume e elevação) ao longo da vida útil do empreendimento, notadamente a frequência de vertimentos e atendimentos legais de restituição e manutenção de vazões mínimas. É importante que na preparação do balanço hídrico também sejam consideradas análises de sensibilidade para eventos extremos, tanto ligados ao excesso de chuva quanto à ocorrência de estiagens, associando a estes cenários seus próprios riscos de ocorrência. O balanço hídrico deve ser revisado durante todo o período de operação da barragem.

5.4.5 Estruturas auxiliares

Apresentar o resultado dos estudos elaborados para as definições de posicionamento dos elementos acessórios da barragem ou do sistema de disposição de rejeitos, como sistema de adução e de lançamento dos rejeitos no reservatório, sistema de bombeamento e de adução de água industrial.

Quando existirem traçados de tubulações de água ou rejeito passando sobre os aterros da barragem, devem ser adotadas medidas que assegurem que eventuais vazamentos não causem danos aos aterros.

5.4.6 Desvio de curso de água

Descrever a metodologia e o dimensionamento de eventuais estruturas hidráulicas de desvio de curso de água para operação durante as obras de construção da barragem, considerando o risco hidrológico a ser assumido para o período de funcionamento das estruturas de desvio. Neste sentido, deve-se adotar um risco hidrológico máximo de 5 % para a seleção da cheia de projeto de obras de desvio para a construção deste tipo de estrutura. Devem ser apresentados os critérios adotados para o dimensionamento do sistema de desvios. As estruturas de desvio que permanecerão após o término de operação devem receber abordagem de obras definitivas.

5.4.7 Tratamento das fundações

Os procedimentos requeridos para execução das fundações devem ser apresentados com base nos estudos geológico-geotécnicos e nos requisitos do projeto da estrutura, definindo a remoção ou tratamento de materiais inadequados e controle de água superficial e subterrânea. As soluções de tratamento de fundação devem ser confirmadas na fase de construção, com base nas observações das características verificadas nos materiais revelados pelas escavações.

5.4.8 Drenagem interna do maciço

Os critérios de dimensionamento da drenagem interna devem ser apresentados, assim como suas locações e geometria dos drenos e transições, bem como as especificações dos materiais a serem utilizados, em função das vazões máximas obtidas nos estudos de percolação pelo maciço e fundação, aplicando-se o fator de segurança mínimo de 10 aos valores das vazões calculadas. Para o dimensionamento de drenos de fundo ou drenos que interceptem um curso d'água, deve ser adotado um fator de segurança 10 para a vazão estimada nos cálculos de forma a determinar a vazão de projeto do dreno.

NOTA A geometria e o dimensionamento do sistema de drenagem interna são um elemento crítico para o projeto de uma barragem de rejeitos, especialmente aquela construída com o próprio rejeito. A determinação da permeabilidade dos materiais (anisotropia, em especial dos rejeitos, bem como a geometria e posicionamento dos drenos, são itens que demandam uma análise de projeto detalhada).

5.4.9 Impermeabilização da barragem

Caso a barragem armazene rejeitos perigosos, Classe I, conforme a ABNT NBR 10004, a barragem deve contemplar o projeto de revestimento impermeabilizante, sendo recomendado avaliar a adoção de sistemas de detecção de vazamento. No caso de rejeitos não perigosos e não inertes, Classe II A, ou com potencial de geração de drenagem ácida ou de radionuclídeos (ver NOTA em 5.3.2).

O projeto do revestimento, bem como a especificação dos materiais, deve ser feito por equipe de engenharia com experiência comprovada em aplicações dessa natureza.

5.4.10 Maciço da barragem

Apresentar os dados relativos ao maciço, como elementos geométricos, materiais a serem utilizados na sua construção, dados de locação, sequência executiva, acessos provisórios para construção e definitivos para manutenção e acabamentos. Recomenda-se que sejam empregados revestimentos de proteção dos taludes e plataformas que possam se integrar ao meio ambiente, tendo em vista a futura desativação.

Para projeto e avaliação de segurança devem ser considerados nas análises os riscos dos seguintes mecanismos de ruptura: estabilidade física, galgamento, erosão interna (piping), e liquefação quando aplicável, conforme detalhado em 5.4.10.1 a 5.4.10.4:

5.4.10.1 Estabilidade física

As análises de estabilidade devem envolver, para cada etapa, isoladamente e em conjunto, o maciço de partida e a sua fundação, os maciços de alteamento (montante, linha de centro ou jusante), sua fundação e o rejeito disposto. Para tanto, as superfícies potenciais em análise devem considerar possibilidades de ruptura local e global, como:

- os taludes entre bermas devem ser construídos para inclinações que garantam os fatores de segurança recomendados na Tabela 1;

- as bermas devem ter largura suficiente para atender às considerações de drenagem e instalação de instrumentos, e devem garantir o acesso dos equipamentos de manutenção com segurança;
- para seções representativas, o ângulo geral da barragem deve ser tal que atenda aos fatores de segurança recomendados na Tabela 1;
- as determinações de estabilidade devem ser efetuadas para o projeto de cada estágio de implantação.

Os valores mínimos de fator de segurança a serem determinados pelas análises determinísticas de estabilidade devem considerar as condições de carregamento, drenado ou não drenado, de cada um dos materiais envolvidos.

Para condições não drenadas de carregamento, as análises de estabilidade podem ser executadas em tensões totais, com a utilização de parâmetros de resistência não drenada ou em tensões efetivas, com a utilização de parâmetros efetivos de resistência e poropressões estimadas.

Para condições drenadas de carregamento, as análises de estabilidade devem ser efetuadas em tensões efetivas, com a utilização de parâmetros efetivos de resistência ao cisalhamento e poropressões estimadas por rede de percolação. Parâmetros de resistência de pico ou residual podem ser utilizados para as diferentes situações encontradas, devidamente justificados em projeto.

Os fatores de segurança mínimos, conforme Tabela 1, devem ser obtidos, independentemente do tipo de análise e das condições de carregamento:

Tabela 1 – Fatores de segurança mínimos para barragens de mineração

Fase	Tipo de ruptura	Talude	Fator de segurança mínimo
Final de construção ^a	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,3
Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,5
Operação com rede de fluxo em condição extrema, nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Jusante	1,3
Operação com rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório	Maciço	Montante	1,1
Operação com rede de fluxo em condição normal	Maciço	Jusante	1,5
		Entre bermas	1,3
Solicitação sísmica, com nível máximo do reservatório	Maciço e fundações	Montante e jusante	1,1

^a Etapas sucessivas de barragens alteadas com rejeitos não podem ser analisadas como “final de construção”, devendo atender aos fatores de segurança mínimos estabelecidos para as condições de operação.

ABNT NBR 13028:2017

Em análises de estabilidade que utilizam parâmetros de resistência não drenada, os fatores de segurança mínimos devem ser estabelecidos pelo projetista, com base nas boas práticas de engenharia.

Para as barragens de concreto, tipo muro de gravidade, o projeto do maciço deve considerar os critérios e fatores de segurança mínimos para análise de estabilidade de acordo com o descrito na Tabela 2, para condições de carregamento normal e excepcional, definidas em projeto.

Tabela 2 – Fatores de segurança mínimos para barragens de concreto

Condição de carregamento	Tipo de instabilidade	Fator de segurança mínimo
Condição de carregamento normal (CCN)	Tombamento	1,5
	Flutuação	1,3
	Deslizamento para $FSD\Phi^a = 1,5$ e $FSDc^a = 3,0$	1,0
	Tensão admissível	3,0
Condição de carregamento excepcional (CCE)	Tombamento	1,2
	Flutuação	1,1
	Deslizamento para $FSD\Phi = 1,1$ e $FSDc = 1,5$ (*)	1,0
	Tensão admissível	1,5

^a $FSD\Phi$ e $FSDc$ – fatores de redução da resistência por atrito e por coesão, respectivamente.

5.4.10.2 Galgamento

Para avaliação de galgamento (ver 5.4.11).

5.4.10.3 Erosão interna (*piping*)

A erosão interna pode ocorrer quando as forças de percolação forem elevadas o suficiente para mover as partículas de solo, gerando um processo de erosão regressiva (“*piping*”). A barragem deve ser projetada e dimensionada para que não haja erosão interna tanto no maciço quanto na fundação. Deve ser verificada com base nos materiais a serem empregados na construção da barragem, nos gradientes hidráulicos e na condição da fundação e das ombreiras.

5.4.10.4 Liquefação

A liquefação pode ser entendida como o comportamento na ruptura de materiais granulares e/ou finos com baixa coesão, fofos, saturados e com tendência à contração, que sob solicitações ou carregamentos não drenados, gera acréscimo de poropressão e consequente redução da tensão efetiva, caracterizando uma queda substancial na resistência ao cisalhamento não drenado.

Nas barragens com potencial de liquefação, deve-se avaliar a segurança utilizando envoltórias de resistências não drenadas, que apresentem comportamento contrátil, por meio de ensaios de laboratórios e/ou ensaios de campo, quando disponíveis.

5.4.11 Sistema extravasor

Apresentar os dados relativos às estruturas do sistema extravasor, como os elementos geométricos, os materiais a serem utilizados na sua construção, os dados de locação e os acabamentos necessários.

As dimensões dos sistemas extravasores devem ser definidas a partir do estudo de vazões máximas, que consiste em definir a vazão de cheia para determinado período de retorno (TR), a ser utilizada no dimensionamento hidrológico-hidráulico destes, garantindo a segurança dos sistemas decorrente de eventos extremos de cheia. O período de retorno deve ser definido a partir das consequências de falha estrutural e obedecendo à fase da vida útil da estrutura (fase operacional ou de fechamento) e após a vida útil.

Quando o volume para amortecimento de cheias atingir o valor do volume de espera, deve-se interromper a operação da barragem para a manutenção da segurança da estrutura frente à cheia de projeto, devendo-se proceder ao alteamento do maciço ou adequar a geometria do vertedouro. É recomendável, segundo análise do projetista, a manutenção de borda livre acima do nível d'água *maximum maximorum*. Esta borda livre fornece um fator de segurança contra variações de ondas, variações de elevação de crista e de construção. Para barragens alteadas por método a montante ou linha de centro, a definição do nível d'água *maximum maximorum* deverá corresponder à praia mínima requerida, que deve ser mantida durante o evento de cheia.

A Tabela 3 apresenta os períodos de retorno mínimos de referência para cada nível de consequências esperadas dada uma falha estrutural da barragem. Na ausência de informações ou critérios específicos mais rigorosos para o enquadramento das consequências pode ser utilizado por dano potencial associado da barragem, advindo da classificação em legislação vigente.

Tabela 3 – Tempo de retorno mínimo a ser considerado para dimensionamento do sistema extravasor em função das consequências ou legislação vigente

Consequências ou dano potencial	Período de retorno de projeto (período operacional)	Período de retorno de projeto (período de fechamento)
Baixa	200 anos a 500 anos	10000 anos ou PMP
Média	500 anos a 1000 anos	10000 anos ou PMP
Alta	1000 anos a PMP	10000 anos ou PMP

5.4.12 Drenagem superficial

Apresentar os dados relativos aos dispositivos de drenagem superficial, como os elementos geométricos, os materiais a serem utilizados na sua construção, os dados de locação e os acabamentos necessários.

Recomenda-se observar os seguintes critérios gerais quando do projeto do sistema de drenagem superficial:

- dispositivos e pequenas vazões, como canaletas de berma e descidas d'água: considerar vazões calculadas para períodos mínimos de recorrência de 100 anos;
- dispositivos de grandes vazões, como canais de coleta e condução d'água: considerar vazões calculadas para períodos mínimos de recorrência de 500 anos.

Os sistemas de drenagem superficial definidos são compostos pelos seguintes dispositivos:

- canaletas de berma: elementos de drenagem a serem implantados nas bermas, cuja função hidráulica é conduzir os escoamentos superficiais provenientes das bancadas da barragem até as descidas de água;

ABNT NBR 13028:2017

- descidas de água periféricas ao maciço: compostas por canais periféricos com o objetivo de coletar o escoamento proveniente das bermas e áreas adjacentes, descartando-o junto às caixas de passagem e/ou bacias de dissipação;
- descidas de água no maciço: escadas em concreto, indicadas para transpor as águas pluviais sobre os taludes;
- caixas de passagem: previstas nas extremidades das canaletas e nos pontos de descarga nas descidas de água, com o objetivo de transição e redução da energia do escoamento; e
- bacias de dissipação: estruturas projetadas ao final das descidas de água, com a finalidade de dissipação de energia.

5.4.13 Instrumentação de controle

A instrumentação de controle deve:

- a) apresentar as plantas de localização, as especificações técnicas e os detalhes construtivos dos instrumentos de monitoramento da barragem;
- b) prever a instalação de instrumentos para, no mínimo, controle das vazões da drenagem interna, dos níveis de água e poropressão no interior do maciço da barragem, das suas fundações e deformações;
- c) estabelecer critérios de avaliação de segurança periódica com base no monitoramento que deve ser baseado nos potenciais modos de falha identificados no projeto de cada barragem.

5.4.14 Plano de fechamento

Apresentar o plano de fechamento conceitual da barragem incluindo uma descrição dos processos, atividades e alternativas de uso futuro, buscando integrar o plano de fechamento da barragem no plano de fechamento da mina, atendendo à legislação específica.

5.4.15 Plano de desativação

Apresentar o plano de desativação conceitual contemplando todas as atividades após o fim da vida útil operacional da barragem, como medidas de monitoramento e instrumentação, revestimentos, sistema de drenagem superficial e garantia de estabilidade.

5.4.16 Documentos que devem ser anexados em conjunto com o projeto final

Os seguintes documentos devem estar anexados ao relatório:

- a) base cartográfica com a indicação da fonte e precisão dos levantamentos;
- b) relatório das investigações geotécnicas de campo e de laboratório, incluindo os registros de ensaios e boletins de sondagem;
- c) todas as memórias de cálculo e critérios de projeto utilizados;
- d) planilha de quantidades e serviços das obras civis;
- e) especificações técnicas construtivas;

- f) a curva cota-volume e o balanço hídrico da barragem;
- g) análise de risco, para as barragens com potencial de dano associado alto;
- h) plano de emergência para barragens, conforme a legislação vigente;
- i) manual de operação da estrutura incluindo procedimentos de inspeção de campo e monitoramento (indicando os elementos a serem monitorados, a frequência da inspeção de campo, as leituras dos instrumentos e os critérios de análise dos dados obtidos), procedimentos operacionais (indicando as premissas do manejo de disposição de rejeito, atendimento de comprimento de praia de rejeito, quando aplicável, atendimento ao volume livre remanescente, controle da formação do reservatório para captações de água liberadas dos rejeitos e água de vazões regularizadas pelo reservatório, controle das vazões ecológicas ou residuais a jusante e atendimento a eventuais situações de emergência.



Bibliografia

- [1] ANCOLD (2003): *Guidelines on Dam Safety Management*. Associação Australiana de Grandes Barragens Agosto de 2003
- [2] ANCOLD (2012): *Guidelines on Tailings Dams*. Associação Australiana de Grandes Barragens, Maio de 2012
- [3] CDA (2013): *Dam Safety Guidelines*. Associação Canadense de Barragens, 2013
- [4] ICOLD (2011): *Improving Tailings Dam Safety - Critical Aspects of Management, Design, Operation*. Associação Internacional de Grandes Barragens, Boletim 139, outubro de 2011
- [5] ICOLD (2012): *Sustainable Design and Post-Closure Performance of Tailings Dams*. Associação Internacional de Grandes Barragens, Boletim 153, outubro de 2012
- [6] MAC (2011): *Developing an Operation, Maintenance, and Surveillance Manual for Tailings and Water Management Facilities*. Associação Canadense de Mineração, 2011