Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

A Gestão de riscos em barragens de rejeitos no Brasil

CAMPOS, Nathalia Neves; POZNYAKOV, Karolina.

NPPG, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro.

Informações do Artigo

Histórico:
Recebimento: 08 Out 2020
Revisão: 09 Out 2020
Aprovação: 13 Out 2020

Palavras-chave:
Barragens de rejeitos
Geotecnia
Gestão de riscos

Resumo:

A gestão de risco consiste em antecipar através de sistemas de controle, eventuais alterações de determinada estrutura, preocupando-se com sua segurança e funcionamento. Desta forma tal gestão se antecipa aos riscos, determinando decisões e recomendações, aumentando o controle e buscando evitar acidentes futuros. O avanço da produção mineral no Brasil bem como as tragédias vivenciadas incentivaram as empresas a adotarem regras mais rígidas de monitoramento e controle no que se refere ao armazenamento dos rejeitos produzidos pela atividade de mineração implementando sistemas de gestão de risco, fins dar maior clareza e segurança junto aos órgãos fiscalizadores desta atividade buscando evitar assim rupturas das estruturas, que acarretam danos materiais, pessoais e ambientais. Este artigo busca apresentar a gestão de riscos aplicada a barragens de rejeitos e como esta impactará sobre a mesma bem como a apresentação da metodologia utilizada através de métodos de análises de riscos e do Plano de Ação de Emergência (PAE), sendo esses inexistentes em parte do Brasil havendo a necessidade de serem implementados.

1. Introdução

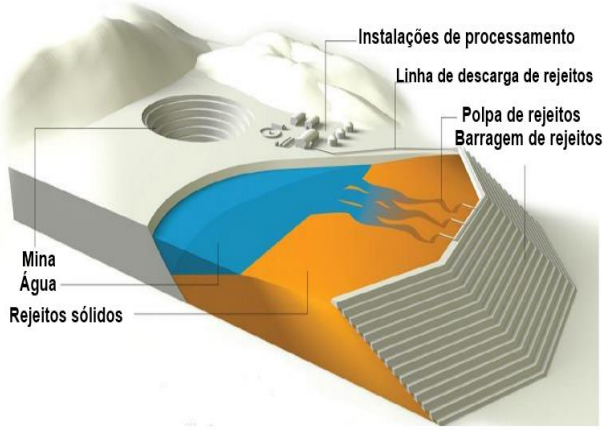
O Brasil vem vivenciando nos últimos anos uma série de desastres envolvendo barragens de rejeitos que consigo trouxeram a mais inimaginável dor, sofrimento e perda para a população local. A causa para cada um desses acontecimentos vem sido estudada pelos especialistas mais competentes e um fator decisivo na prevenção e apuração destes acontecimentos é a gestão de riscos.

De acordo com o Ministério da Integração Nacional, o termo barragem pode ser definido como "uma Estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do seu nível d' água e/ou de criar um reservatório de acumulação de água seja de regulação das vazões do rio, seja de outro fluido." [1]

Ainda de acordo com o Ministério da Integração Nacional o termo barragem de rejeitos "se refere a barragem construída para reter rejeitos ou materiais estéreis de mineração e de outros processos industriais." [1]

Na Figura 1 a seguir, pode-se observar um exemplo genérico de uma das configurações de construção de uma barragem de rejeitos:

Figura 1: Exemplo de barragem de contenção de rejeito.



Fonte: Pereira [2]

Centenas de barragens brasileiras se encontram em estado de abandono com a presença de vulnerabilidades ocultas. Devido ao alto nível de problemas relacionados as mesmas foi homologado no dia 20 de setembro de 2010, a Lei nº 12.334 que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, e foi criado o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB. [3;4]

Segundo dados do governo obtidos no Boletim semanal de barragens de mineração até o dia 10/08/2020 havia 841 barragens de mineração cadastradas no SIGBM, das quais 441 enquadradas na Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. [5]

É visto através do relatório mais atual da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) , publicado em 2020 referente ao ano de 2019 diz que o número de barragens ativas funcionando em estado crítico no Brasil subiu em 129%, sendo essas 156 barragens em 22 estados, dentre elas 24 barragens já haviam sido identificadas como em estado crítico em 2018 e permaneceram na lista pois não tomaram as devidas ações. De 2018 para 2019 44 barragens foram retiradas da lista de estado crítico pois seus empreendedores realizaram ações de recuperação e adequação de suas barragens, diminuindo assim sua criticidade, portanto sendo acrescidas 132 novas barragens. [6]

Segundo o ANA, em 2019 foram emitidos 7 regulamentos pelos órgãos fiscalizadores, isso fez com que mais de 80% dos órgãos efetivamente fiscalizadores de segurança de barragens tenham regulamentado todos os artigos da PNSB que careciam de algum ato infralegal referentes ao Plano de Segurança da Barragem, às Inspeções Regular e Especial, à Revisão Periódica, e ao Plano de Ação de Emergência. Três fiscalizadores ainda não emitiram nenhum regulamento. [6]

Ainda segundo o ANA em muitas comunidades potencialmente afetadas a jusante as barragens não possuem nenhum protocolo de atuação no caso de situação de emergência. Existe uma grande dificuldade para implementação do Plano de Ação de Emergência (PAE) visto que necessita da necessária interação com a comunidade potencialmente afetada e órgãos de defesa civil (costumam ser inexistentes ou sem capacidade operacional), e integração com os Planos de Contingência municipais, muitas vezes também inexistentes, ou seja, em grande parte das barragens submetidas a PNSB não há um plano com ações coordenadas dos órgãos municipais de Defesa Civil para resposta em caso de acidente com barragem.[6]

As barragens são estruturas normalmente de grande proporção que afetam todo o ecossistema por ela englobado, além de influenciar suas adjacências urbanas e rurais devido a sua função de conter ou acumular substâncias líquidas ou misturas de líquidos e sólidos. Elas constituem um marco de desenvolvimento tecnológico, socioeconômico e territorial, sendo imensamente importante para as nações. São diversos os benefícios que as barragens proporcionam: Desde a produção de energia elétrica, abastecimento de água para uso cotidiano doméstico e/ou industrial, irrigação, navegação, lazer e turismo, dentre outros. Mas também proporciona grande vulnerabilidade as comunidades afetadas. [7]

Sendo assim o monitoramento e manutenção regular é de fundamental importância visto que as barragens enfraquecem com o tempo. A gestão de riscos é a ferramenta ideal para auxiliar nesse processo e evitar os danos recorrentes do

rompimento das mesmas como perdas de vidas, danos socioambientais e econômicos. A gestão de riscos atuará através da segurança, utilizando métodos de análise de riscos que indicará os modos de falha e portanto, ajudará no monitoramento e manutenção da estrutura além de atuar através da gestão de emergência na qual instituirá o Plano de Ação de Emergência (PAE).

Este artigo tem a finalidade de salientar a importância da aplicação de metodologias de gestão de riscos em barragens, explicando de forma sistêmica técnicas e abordagens utilizadas para a implementação do programa de gestão de riscos em barragens de rejeitos onde determinam ações eficazes para redução dos riscos contribuindo assim para a identificação de perigos potencialmente nocivos relacionados as barragens e ação de resposta.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Definição risco, risco operacional, incidentes e acidentes

Segundo a CNPGB, risco "é a medida da probabilidade e da severidade de um efeito adverso relativamente à vida, saúde, bens e ambiente." [8]

O risco representa os possíveis problemas e distúrbios que podem acontecer durante a realização de uma tarefa ou meta em um projeto. Visto que o risco é intrínseco a todas as atividades de um projeto e nunca pode ser totalmente eliminado, é possível minimizar seus impactos e obter êxito nas metas do projeto. Por fim, "o risco deve ser reconhecido como onipresente e considerado um parâmetro do cotidiano em qualquer atividade humana". [4]

De acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), presente no decreto de lei nº 344/2007 entende-se que o termo "danos potenciais" é definido como os efeitos resultantes de um acidente escalonados conforme bens, ambiente e vidas afetadas. Ainda de acordo com o RSB o risco é definido como o resultante dos danos potenciais de acordo com a probabilidade do acontecimento de acidentes ou incidentes. [9]

Na condição de manter a integridade estrutural e operacional da barragem, o risco é considerado operacional, sendo fruto da ocorrência de uma situação adversa. Portanto, o risco operacional refere-se ao risco de falhas provocadas por funcionários, ou eventos externos que afetem as atividades, o controle operacional e a gestão de segurança da empresa.

De acordo com Resolução CNRH nº 144/2012 define-se acidente e incidente como descrito no texto abaixo: [10]

> *Art. 2º. Para efeito desta Resolução considera-se:*
>
> *I - acidente – comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa;*
>
> *II - incidente – qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.* [10]

2.2 Gestão de Risco Aplicada a Barragens

Entende-se por gerenciamento de risco, o processo de identificação, avaliação, abordagem e monitoramento dos riscos existentes, se inicia ao detectar anomalias em estruturas no que se refere a segurança e funcionalidade. A gestão de riscos não elimina os riscos, mas vem a minimizar as perdas sobre o projeto, através de uma implementação de uma metodologia de procedimentos e medidas administrativas. Tem o objetivo de gerenciar e controlar a corporação através do planejamento e uso mais eficiente dos recursos humanos e materiais e sua aplicação resulta num aprimoramento contínuo das tomadas de decisão. A gestão de riscos é o processo sistemático completo compostos pelas seguintes etapas:

- Avaliação de risco;

- Análises de risco;
- Apreciação de risco;
- Controle de risco.

As três primeiras etapas, na maioria das vezes, são tratadas de forma simultânea, enquanto o controle de risco corresponde a execução das tomadas de decisão, onde são aplicadas as medidas admissíveis de controle.

2.3 Avaliação do Risco

A avaliação dos riscos envolve a análise dos mesmos, e possibilita a tomada de decisão no decorrer do tempo de um processo de gestão. Também permite que sejam reconhecidos todos os riscos envolvidos no processo, obrigando a todos responsáveis pelo projeto e obra a lidar de forma efetiva contra os riscos existentes. Tem como propósito fundamentar a gerência do risco, incorporando alternativas de controle. De acordo com Leite, dentre os principais benefícios da avaliação de riscos, pode-se destacar: [4]

- Elevação do conhecimento das barragens, componentes, subsistemas, riscos associados, modo de falha e consequências;
- Resposta se é seguro operar a barragem, e sob quais condições;
- Identificação de alternativas para administrar um risco;
- Comparação relativa à segurança de barragens através de métodos consistentes e informações objetivas;

Como limitações, destaca-se:

- Falta de uma metodologia reconhecida e aceita para determinar a tolerância do risco;
- Dificuldades associadas à estimativa das consequências, envolvendo danos materiais, perdas de vidas, financeiras e ambientais.

2.4 Análise do risco

Uma análise de riscos consiste em verificar o jeito como todos os diferentes elementos de um sistema interagem entre si, imaginando os possíveis cenários que podem resultar nessas interações. além de estipular possíveis danos e prejuízos que tais cenários podem provocar. É baseada no uso da informação disponível para estimar o risco relativo a indivíduos ou populações, a propriedades ou ambientes, decorrentes de condições de perigo.

Pode-se estimar os riscos em consequência à existência de incertezas, utilizando um grupo de dados disponíveis para estimar os riscos apontados. As incertezas decorrentes das limitações dos modelos e do entendimento das barragens, tornam a ciência da construção de barragens bem complexa.

A análise de riscos viabiliza o entendimento e reconhecimento dos riscos aos proprietários e responsáveis pela obra obrigando-os a avaliar a maneira mais efetiva para lidar com as consequências dos riscos buscando a melhor relação custo-eficiência na tomada de decisões onde é definido se o risco deverá ou não ser tratado mas também o processo utilizado para o tratamento do mesmo.

2.4.1 Classificação da análise de risco

De acordo com Colle a análise de risco é classificada em três níveis, sendo estes: [11]

- Avaliação subjetiva de risco: É feita uma análise subjetiva pelo responsável da barragem, onde só é levado em consideração os itens de mais importância. Esta avaliação pode ser suficiente e resultar em uma boa decisão, mas dificilmente procederá em uma solução otimizada;
- Avaliação de risco baseada em índices: Conjectura sistemática dos fatores que afetam a segurança, resultando em uma ordenação de um conjunto de barragens. Não considera certas condições específicas de campo, e probabilidades não podem ser comparadas;
- Análise formal do risco: São computadas as frequências da ocorrência dos eventos opostos, as probabilidades dos níveis de resposta aos eventos opostos e das consequências dos mesmos.

2.4.2 Métodos de análise de riscos aplicados à barragens

Atualmente as empresas de mineração utilizam-se de uma diversidade de métodos de análise de risco. Segundo Eckhoff [12] existem 37 métodos de análise de risco. Já segundo a CNPBG [7], são seis os métodos de análise de risco em destaque. Abaixo seguem os principais métodos: [2]

- HAZOP – Hazard and Operability Analysis (Análise dos Perigos e da Operacionalidade): O método classifica através de palavras-chaves, os desvios das grandezas que repercutem no desempenho do sistema. Seu principal objetivo é investigar através de uma metodologia precisa, cada segmento de um projeto, objetivando a exposição de todos os distanciamentos possíveis das condições normais de operação, fornecendo sua determinada justificativa. Do HAZOP, resulta um documento estimativo, relacionado às possíveis distorções de operação, com metodologia e orientações de seguranças a serem seguidos. [2;11]

- FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Modos de Falha e dos seus Efeitos): Método de análise que se inicia a partir da identificação e compreensão dos possíveis modos de falha de um sistema, avaliando suas causas, sequelas, meios de determinação, prevenção e atenuação dos seus efeitos. Assim, identificando previamente todos os modos de ruptura críticos do sistema, poderá ser antecipada uma correção para prover a atenuação ou extinguir os riscos. O FMEA pode ser aplicado em momentos distintos do projeto e com diferentes objetivos, como: [2;11]
    - Controlar a execução da cobra;
    - Instrumento de segurança para a fase de serviço;
    - Instrumento de decisão relacionado ao abandono de uma obra;
    - Auxílio na tomada de decisões no início do projeto, detectando possíveis falhas e melhorando a confiabilidade da obra.

- FMECA – Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (Análise dos Modos de Falha, dos seus Efeitos e da sua Severidade): Constitui uma extensão ou generalização da FMEA, permitindo ordenar vários modos de ruptura de acordo com o mais crítico. Aplicando escalas de probabilidade de ocorrência de falhas e da gravidade dos seus efeitos é possível ordenar as diferentes maneiras que um processo pode falhar, e ser elaboradas instruções para se tomar as devidas providências de defesa. Registram-se os resultados do método de forma a incluir as recomendações de correções.

O método do tipo FMECA é semiquantitativo, onde a probabilidade de ocorrência dos eventos bem como a severidade das consequências é ordenada, respectivamente em classes de probabilidade e classe de consequências.

Conhecida as consequências de cada modo de falha, sua criticidade fica definida com a avaliação da probabilidade de ocorrência. Essa avaliação é baseada em taxas de falha (failure rate) de cada componente, que são fornecidas pelos fabricantes com condições de utilização definidas (temperatura, umidade, tempo de utilização, etc.).

- ETA – Event Tree Analysis (Análise por Árvore de Eventos): É um método de análise quantitativo de riscos, que a partir de um ponto inicial, identifica as complicações que podem ocorrer, bem como a probabilidade de ocorrência das mesmas. A partir da identificação de um evento de origem, traça-se dois ramos representando o sucesso ou fracasso do mesmo, e a partir de então constrói-se a árvore sempre derivando dois ramos de cada ramo. Calcula-se a probabilidade de ocorrência do evento inicial, e de todos os demais eventos derivados, podendo ser aplicado em qualquer etapa do projeto, ou da construção da barragem.

A elaboração de uma ETA acompanha o desenvolvimento do projeto e pode ser alterada ou atualizada assim que novos dados sejam disponibilizados ou que tenham sido assumidas diretrizes diferentes de projeto, construção ou operação.

- FTA – Fault Tree Analysis (Análise por Árvore de Falhas): Método gráfico que utiliza símbolos definidos em norma, para indicar a relação de eventos, partindo de uma falha e identificando combinações de eventos até a descoberta da ocorrência da falha. É aplicado aos sistemas complexos.

No começo, utiliza-se outro método para identificar os defeitos. Eles são chamados de eventos de topo, como por exemplo a ruptura de barragem por galgamento. A partir daí, é feito uma investigação, identificando todos os acontecimentos que possam provocar a situação de falha no evento do topo, traçando assim, os ramos da árvore. De acordo com Pereira o processo é finalizado quando todos os ramos forem interpretados e os fatores na parte inferior da árvore sejam do tipo simples, ou seja, de modo que as frequências de ocorrência ou probabilidades de ocorrência possam ser estimadas. [2]

Vide Figura 2 em anexo. [8]

- Noeud Papillon (Nó Borboleta): Trata-se da junção de dois métodos anteriores através de um ponto central. O método une o método da Árvore de Falhas na parte esquerda, e o método da Árvore de Eventos na parte direita, como mostra a Figura 3 em anexo. [8]

- Análise por diagramas do tipo LCI (Localização, Causa e Indicadores de Falhas): Método indutivo, semiquantitativo, implementado em duas etapas: Primeiro a identificação e avaliação das potenciais consequências e segundo: após os resultados da primeira etapa, realiza-se a identificação e avaliação dos modos de ruptura.

Para realização da análise, elabora-se um diagrama de localização, causa e indicadores dos modos de ruptura, como mostra a Figura 4 em anexo. [13]

A aplicação dos diagramas LCI valoriza muito a detecção visual de indícios de comportamentos que podem acarretar ruptura. De acordo com Pereira as causas e os indicadores das falhas são classificados de 1 a 5 através de três atributos: [8;14]

- Efeito (Ef.): Relaciona a falha do objeto, definindo se a mesma ocorreu com ruptura parcial ou total da barragem (1 para baixo e 5 para elevado);
- Verossimilhança (Veros.): É a probabilidade de falha do objeto (1 para baixo e 5 para elevado);
- Grau de Confiança (Conf.): Relacionado às incertezas do método. Mostra a confiança do das estimativas do efeito e da probabilidade. (1 para elevado e 5 para baixo ou duvidoso).

De forma geral, pode-se afirmar que o método LCI é considerado uma versão simplificada dos métodos FMEA/FMECA, sendo aplicado com o objetivo de criar uma hierarquia num conjunto de sistemas ou dos modos de ruptura de um único sistema. [14]

- Análise de riscos por índices: Abrange a determinação de um índice global de risco, conseguinte de uma classificação atribuída a fatores selecionados. A implementação deste método acarreta na divisão dos fatores de risco em tipos e na concessão de pesos para cada uma delas. Assim, o método é indicado para casos nos quais seja necessária apenas a disposição correspondente dos riscos.

- Análise Preliminar de risco (APR): Indicada para fase de desenvolvimento do projeto, da obra ou de início de operação em campo, e é utilizada quando existe pouca informação, falta de referência e detalhamento em relação a um determinado processo ou sistema. [14]

Cada risco deve ser identificado, com suas respectivas possíveis causas descritas, assim como suas consequências. Deve-se detalhar tipos de equipamentos, instrumentos ou objetos utilizados em determinada atividade, e recomendar os equipamentos de segurança necessários para tal.

Este documento é altamente utilizado na Engenharia de Segurança do Trabalho, como ferramenta auxiliar na execução de tarefas de alto risco, onde nem todos são conhecidos. Ou seja, é uma análise preliminar, através de um método indutivo e qualitativo, onde é feito um estudo simples e global com o objetivo de encontrar riscos e perigos em determinada atividade, estimando

consequências e descobrindo medidas de proteção e controle em relação às mesmas.

- Análises de risco por lista de verificação: É o método mais simples, sendo utilizado de forma bem prática, quando não cabe a utilização de outro método. Pode ser utilizado em todo tipo de processo ou atividade, onde os riscos já estejam definidos e listados, simplificando suas análises. O "Checklist" é bem simples, porém é uma ferramenta de grande utilização durante as inspeções de campo.

O documento deve conter uma lista de todos os objetos sujeitos a inspeção, a continuação da análise e as possíveis ocorrências, deixando um espaço adicional para comentários diversos que surgirem na inspeção. [14]

2.5 Apreciação de riscos

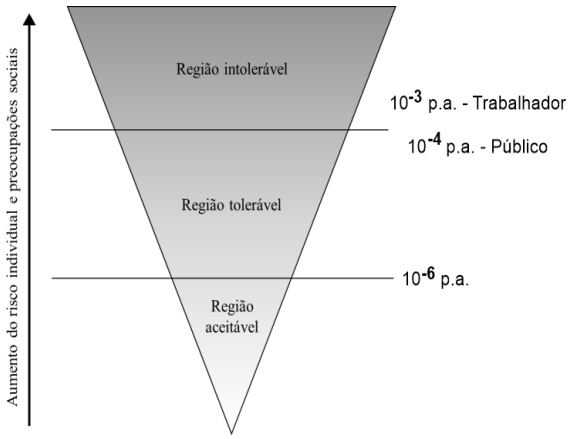
Fase na qual é feito o julgamento sobre a tolerabilidade e aceitabilidade do risco, essa fase concilia os interesses econômicos, políticos, e sociais, combinando-os com normas, aspectos legislativos e regulamentares, ou seja, entende-se que não possui caráter técnico pois são julgamentos de valor, os stakeholders (partes interessadas) avaliam o risco conforme a própria percepção.

É importante definir os conceitos de risco aceitável e tolerável: No risco aceitável, todos os indivíduos que podem ser afetados, estão cientes e preparados para assumir o risco, desde que não haja alterações nos procedimentos de controle de risco. Tal risco é controlado e considerado muitas vezes insignificante, mas não pode-se afirmar que isso é uma regra pois a aceitabilidade não é dada através de estudos técnicos e critérios mas sim de acordo com a percepção da sociedade que é influenciada pela vivência pessoal na qual é variável com o tempo.

Os riscos toleráveis são tais que, dentro de um limite, a sociedade aceite viver, há o aceite dos danos em pró da usufruição de benefícios. Em comunidades de risco a população está sujeita a tolerar um risco maior. Este risco não é insignificante e não deve ser ignorado, mas sim controlado, além de tentar reduzi-lo dentro da medida do possível.

É necessário conhecer os riscos individual e social para se ter certeza se as condições de funcionamento da barragem ou de um empreendimento qualquer, são seguros para os funcionários e para a comunidade ao redor. O risco individual é associado a probabilidade de perda de vida humana nas proximidades do empreendimento, no decorrer de um acidente, ou seja, no caso de barragens, é o aumento do risco de morte, para o indivíduo afetado pelas consequências de uma possível ruptura da barragem. A Figura 5 abaixo demonstra os princípios de aceitabilidade e tolerabilidade.

Figura 5: Critérios de aceitabilidade e tolerabilidade do risco individual segundo o HSE



Fonte: Silva [15]

O risco social é aquele que assume consequências de grande escala e necessita de uma resposta pública no meio político e social através de mecanismos regulatórios, sendo, portanto, mais importante que o risco individual. É necessário, também, estabelecer limites de aceitabilidade e tolerabilidade para esse risco. Assim, diversos países e órgãos desenvolveram gráficos e diagramas que ajudam na tomada de decisão. Pode-se destacar o Australian National Committee On Large Dams (ANCOLD), o US Bureau of Reclamation (USBR), e a U.S Army Corps of Engineers (USACE) como mostram em anexo as Figuras 6,7 e 8. [16;17;18]

2.6 Controle de Riscos

No controle de riscos são tomadas decisões quanto à prevenção, detecção e atenuação de riscos em acontecimentos que possam provocar consequências indesejáveis. Esta etapa implementa os planos de respostas aos riscos, bem como a comunicação necessária e é a última a ser colocada em prática na gestão de riscos.

A ICOLD propõe o agrupamento das opções de controle de risco com base nas seguintes categorias: [15;19]

- Aceitar o risco: Requer que o risco tenha sido considerado aceitável ou tolerável;
- Evitar o risco: Exige uma decisão antes do início da construção da barragem de forma a eliminar o risco, ou o abandono do projeto ou, em casos extremos de barragens existentes, o desmantelamento;
- Reduzir probabilidades: Requer aplicação de medidas estruturais como instalação de drenos, de aplicação de um plano de monitoramento e inspeção de forma a tornar o risco aceitável ou tolerável;
- Reduzir consequências: Requer plano de emergência eficiente, de forma a tornar o risco aceitável ou tolerável;
- Transferir o risco: Requer a aceitação do risco por outra autoridade, ou a compensação do risco através de um seguro;
- Aceitação: Os riscos são aceitos quando a análise custo/benefício é positiva e estes são considerados aceitáveis ou toleráveis, dependendo das circunstâncias.

Conforme o exposto acima, o processo de gestão de riscos se inicia com a percepção e detecção de eventuais anomalias relacionadas à segurança ou ao funcionamento de uma barragem/estrutura. Posteriormente, realiza-se uma análise de riscos para se determinar quais são as decisões ou procedimentos a serem adotados, para enfim, implementar uma gestão de riscos.

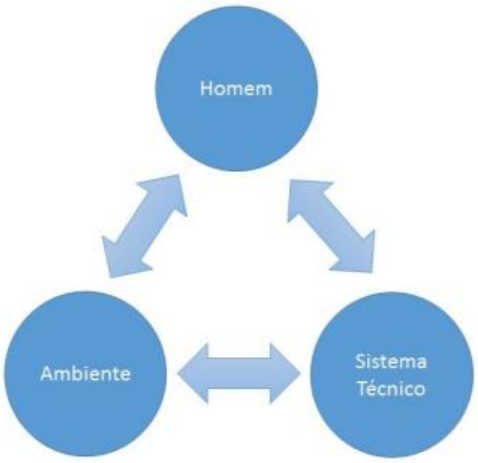
2.7 Riscos Associados a barragens

Como quaisquer outras estruturas e construções, as barragens estão sujeitas a incidentes e acidentes. Comportamentos anormais ou inesperados de natureza hidrológica (galgamento), estruturais (instabilidade, piping) ou pela simples perda de capacidade do reservatório podem ser responsáveis por desastres gravíssimos.

A palavra acidente representa um evento infeliz, agregado de uma consequência grave, incluindo danos materiais e na vida. Já incidentes, representam um acontecimento imprevisto, porém de pouca importância, sem dano físico ou material. Ambos, no entanto, são o resultado de processos defeituosos resultantes da interação entre pessoas, estrutura organizacional, componentes físicos, dentre outros. Ou seja: os envolvidos no acidente/incidente.

Anomalias são eventos fora do comum, que raramente possuem uma única causa, mas sim várias que ocorrem simultaneamente ou que se acumulam com o passar do tempo. Essas anomalias são identificadas como fatores de risco e são sistematizadas em aspectos relativos ao homem, ambiente e à máquina, como mostra a Figura 9 abaixo:

Figura 9: Relação entre os envolvidos no sistema da teoria multicausal da ocorrência de incidentes.



Fonte: Leite [4]

Segundo Leite as principais causas de acidentes e rupturas verificadas nos principais tipos de barragens de concreto são [4]:

- Fatores Naturais ou Ambientais:
- Risco Hidrológico: Chance de defeito de uma barragem diante da ocorrência de vazão superior àquela dimensionada.

- Sismicidade: A ocorrência de sismos pode ser induzida pelo enchimento de reservatórios resultantes da construção de uma barragem. Os sismos podem causar danos severos às estruturas e a comunidade à jusante.
- Escorregamento: Escorregamento de ribanceiras nas margens dos reservatórios, causando ondas consideráveis no reservatório e o galgamento da barragem.
- Ações agressivas: Intemperismo sobre a barragem, causando decomposição ao longo do tempo, erosão, corrosão, dentre outros.
- Fatores Internos (dependentes da barragem):
- Riscos na Operação do reservatório: Dificuldade de determinar a capacidade de descarga dos vertedouros e/ou quando eles são subdimensionados.
- Riscos Geológicos: Probabilidade de ocorrência de condições geológicas diferentes das previstas no projeto.
- Riscos Estruturais: Falha no dimensionamento estrutural.
- Riscos de monitoramento: Relacionados com o controle do comportamento das estruturas através de manutenção preditiva.
- Riscos Técnicos Organizacionais: Causas relacionadas ao gerenciamento de riscos pelos responsáveis pelo projeto, obra e operação da barragem.
- Riscos Associados à gestão de emergências: Ação de resposta contra emergências, para se evitar uma ruptura. Caso a mesma seja inevitável, reduzir suas consequências.
- Riscos de Ruptura de Barragens em Cascata: Probabilidade de ruptura de uma barragem.
- Fatores Externos:
- Socioeconômicos: Riscos associados às perdas humanas e econômicas diante da ruptura de barragem.

3. Planos de Ações Emergenciais Aplicados à Barragens de Rejeitos

3.1 Considerações Gerais:

As barragens são estruturas que induzem vários riscos, havendo a possibilidade de ocorrência de fatalidades, caso venha a ocorrer uma ruptura na estrutura da barragem. Esse tipo de desastre irá se alastrar por uma grande extensão de terra, onde um grande volume de água percorrerá um caminho, habitável ou não como campos, pastos, bairros ou até mesmo cidades inteiras. Assim, quanto mais rápido for possível se antecipar com ações de socorro, com a transmissão de informação para a sociedade, quando algo acabar de acontecer, ou quando poderá acontecer em breve, melhor e mais eficazes elas serão.

Considerando esse contexto, o documento necessário no desenvolvimento e alternativas para se reduzir o risco é chamado de Plano de Ação Emergencial (PAE). O plano visa preparar os empreendedores, órgãos fiscalizadores, organismos de defesa civil e a população próxima a área para o confronto de situações críticas.

O aumento do número de ruptura de barragens no Brasil desperta do governo, exigindo o estabelecimento de padrões de segurança. O PAE acima de tudo, é uma ferramenta que ajudará a reduzir o número de fatalidades, em caso de um desastre. Sua ausência no planejamento de uma obra é uma séria deficiência.

O PAE é um documento de identificação de potenciais riscos associados a uma barragem, definindo responsabilidades e propondo uma constância de ações previamente planejadas que devem ser colocadas em prática sistematicamente. Nele, são especificados informações e procedimentos de forma a auxiliar o proprietário do empreendimento e os órgãos locais envolvidos na segurança de todos na região à jusante da represa, estabelece sinais de alerta para reduzir o efeito surpresa e, padroniza a forma oficial de notificação sobre o ocorrido. [20]

O fator tempo é considerado o grande

obstáculo do PAE, pois uma resposta rápida, organizada e eficiente é fundamental para alcançar os objetivos propostos e principalmente, reduzir as perdas de vidas humanas.

O PAE está presente na Lei 12.334/2010, que apresenta o seguinte texto: [3]

> *Art 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:*
>
> *I - identificação e análise das possíveis situações de emergência;*
>
> *II - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;*
>
> *III - procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;*
>
> *IV - estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.*
>
> *Parágrafo único. O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.* [3]

O Plano de Emergência é constituído por dois planos específicos:

- Plano de Emergência Interno: A zona de auto salvamento (ZAS) refere-se a barragem, e zona à jusante próxima da Barragem. Caberá ao responsável pela obra, a elaboração de tal plano, levando em consideração as normas e legislação.

- Plano de Emergência Externo: O ZAS refere-se a proteção do vale a jusante, distante da Barragem. Caberá às autoridades políticas de proteção civil a elaboração de tal plano, levando em conta os riscos de rompimento da barragem, definidos pelos responsáveis pela obra.

3.2 Requisitos para o Plano Emergencial

Pode-se aumentar a eficácia do PAE, através de um padrão que assegura que todos os pontos de emergência e planejamento estejam cobertos. Através de uma padronização do documento, é facilitado a coordenação operacional diante dos desastres.

Apesar o proprietário da represa ser o responsável pela elaboração do PAE, este deve ser feito de forma coordenada com os órgãos municipais e estaduais de defesa civil. Segue abaixo um resumo sugestivo dos requisitos básicos para o Plano de Ação Emergencial de acordo com Franco: [20]

- Fluxograma para notificação: Sequências a serem seguidas, em ordem de prioridade no caso de uma emergência, e todos que devem ser acionados conforme necessidade;

- Alerta, Avaliação e Classificação das emergências: Tempo é um fator crucial na atuação, portanto é melhor ativar o PAE enquanto ainda se esteja confirmando o nível da emergência.

- Responsabilidades: Os proprietários das barragens devem assumir a responsabilidade pela criação, desenvolvimento e manutenção do PAE Interno. Já o Estado e a defesa civil são responsáveis pela fiscalização do cumprimento do Plano, além de serem responsáveis pelo Plano Emergencial Externo.

- Preparação: Detalhar as ações antes de devida emergência, definindo todo o planejamento operacional, considerando a possibilidade de acidente ou incidente.

- Mapas de Inundação: Maquinar as áreas que podem ser inundadas em caso de ruptura da barragem. Esses mapas podem ser muito importantes para os envolvidos nas ações emergenciais, com o conhecimento dos pontos críticos e o esboço do trajeto das ondas de cheia.

- Apêndices: Informações complementares como fotos, tipo de material utilizado na

construção, terreno, espaço a jusante, etc.

3.3 Plano de Emergência Interno - Metodologia

Tem como objetivo a estruturação e ajuda às operações de controle de segurança da barragem em situações de emergência ou críticas. O documento deve conter informações sobre o dono da obra e o responsável pela elaboração do PEI; dados sobre a barragem como localização, data da construção, capacidade; Informações sobre o sistema de controle da barragem; Identificação da população à jusante da barragem; cenários de acidentes; escala de emergência para classificação dos acidentes.

Na elaboração da escala de nível de emergência, recomenda-se uma escala de 0 a 3 ou 4, onde cada risco considerado pode ser descrito como:

- Nível zero: Condição normal de operação. Não representa nenhum sinal de alerta.
- Nível 1: Atenção, relacionado a detecção de problemas operacionais ou estruturais. Deve-se preparar uma mobilização caso a situação venha a piorar. Neste primeiro nível, a cadeia de mobilização caberá apenas a equipe interna da Barragem.
- Nível 2: Alerta geral, representando um agravamento da situação do Nível 1, ou a ocorrência de um evento completamente adverso e inesperado, onde a ruptura da barragem seja uma possibilidade.
- Nível 3: Alerta de Catástrofe. Constatação que a situação deixou de ser controlável e um acidente é inevitável. Neste nível as ações do plano de evacuação devem ser imediatamente adotadas, de forma a minimizar as perdas de vidas na comunidade jusante a barragem.

Segundo Almeida, o documento pode ser estruturado da seguinte forma: [21]

- Introdução: Contendo aspectos gerais, informações sobre a barragem, localização.
- Responsável e Autoridades: Principais autoridades relacionadas à construção de barragens, identificação do dono e responsável pela obra, bem como do responsável pela segurança da barragem.
- Comunicação: Desenvolvimento de um sistema de comunicações, tanto internas quanto externas, sendo confiável e operacional.
- Organização interna: Apresentação sobre o centro de controle, com sistema de transmissão de dados. Deve-se prever no PAE Interno o isolamento da área da barragem, bem como a segurança interna.
- Ações de segurança: Em consoante com a situação encontrada, e o nível da emergência fixado, deve-se listar as ações a serem tomadas, prioridades, manobras a serem realizadas.
- Transmissão da informação à comunidade: Listagem dos canais de comunicação para divulgação da emergência para o público civil, com informações e orientações de segurança vindo diretas do centro de controle, e coordenadas também com o órgão de proteção civil.
- Relatórios de Acidentes e Incidentes: Revisão exemplificada de eventos passados, incluindo causas, consequências, medidas de segurança tomadas e recomendações de ações em caso de nova emergência.
- Treinamento e formação: Procedimentos para treino operacional para funcionários da barragem, em combinação com a autoridade. Cursos de atualização e revisão de medidas a serem tomadas, de forma a incrementar a competência dos mesmos, e a segurança geral da barragem.
- Conjuntura dos riscos potenciais da Barragem: Documento que visa apresentar os riscos existentes na barragem, de forma a fornecer um entendimento adequado dos mesmos, para que a preparação adequada seja feita.

3.4 Plano de Emergência Externo - Metodologia

Tem como objetivo a diminuição da quantidade de vítimas caso ocorra um acidente na Barragem a montante. O PAE Externo objetiva, principalmente, a proteção

das vidas humanas. O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) define o PEE como um documento formal e vinculativo que determina as orientações de atuação dos diversos agentes de proteção civil, atribuindo-lhes missões, de forma a garantir o empenho e coordenação de todos, defronte de uma catástrofe ou acidente, evitando consequências inaceitáveis. [9]

De acordo com a APSEI, o Plano de Emergência Externo deverá ser organizado com as seguintes partes: [22]

- Parte I - Embasamento geral do plano;
- Parte II - Organização da resposta;
- Parte III - Áreas de Intervenção;
- Parte IV - Informações Complementares.

3.4.1 Embasamento geral do plano:

Introdução e apresentação geral do plano de ação, com seus objetivos explicados e sua existência justificada. Aqui, deve-se expor como interligar o plano com os outros instrumentos de defesa, além de mitigar o enquadramento legal e os antecedentes do processo, e a realização de uma articulação com outros sistemas de planeamento.

3.4.2 Organização da resposta:

Nesta parte constam informações sobre a execução do plano, tanto na fase de emergência quanto na fase de reabilitação. Deve-se expor também, a zona de intervenção em que é aplicado. Define-se também as respectivas missões dos agentes de proteção civil e dos organismos e entidades de apoio.

3.4.3 Áreas de Intervenção:

São apresentadas as áreas de intervenção básicas da organização geral das operações. Nesta parte é detalhada a administração dos recursos, bem como a logística de apoio, e a gestão da informação de emergência, com o plano de comunicação elaborado. As ações de serviços médicos e transportes das vítimas, salvamento e serviços mortuários também são especificados. Por fim, os protocolos para manutenção da ordem pública.

3.4.4 Informações Complementares:

Funciona como um anexo ao Plano de ação, com vários tipos de informações que podem ser essenciais durante uma emergência. Essa parte pode ser dividida em três seções: A primeira visa identificar os membros da Comissão Municipal de Proteção Civil e a declaração do estado de alerta.

Na segunda seção são feitas caracterizações gerais sobre a barragem, da estrutura, espaço, socioeconômica, além da explicitação do risco, onde é feita a análise de risco e vulnerabilidade, com medidas propostas para minimizá-las.

Na terceira seção são disponibilizadas informações de acesso rápido que podem fazer a diferença na atuação frente a uma emergência. São exemplos: inventários de recursos, modelos de relatórios, comunicados e requisições, listas de contatos, controle e registros do plano, legislação, dentre outros.

O PAE Externo deve ser atualizado periodicamente, de acordo com definição da Comissão Nacional de Proteção Civil ou quando os Serviços de Proteção Civil se mostrarem necessários, ou quando houver a identificação de novos riscos e vulnerabilidades.

4. Considerações Finais

Após as tragédias vivenciadas no Brasil houve um avanço na estruturação do fiscalizador mas entende-se que essa estruturação deve melhorar. Além disso pode-se observar que a cultura impregnada no Brasil é de não se ater aos riscos e não priorizar o planejamento, gestão e controle de seus projetos levando a uma resposta tardia em relação aos problemas apresentados pelos mesmos. A cultura que prioriza apenas prazo e custo acaba criando barreiras para a implementação de práticas diferentes estagnando a evolução dos processos que deveriam ser considerados fundamentais tantos por entidades públicas quanto privadas.

Visto a tamanha dificuldade atual para implementação de boas práticas de gestão pode-se concluir também que a situação de muitas comunidades se encontra em risco elevado e medidas precisam ser tomadas,

principalmente a elaboração da PAE. Além disso observa-se a falta de capacitação dos profissionais e empresas, mas também a falta de capacitadores.

Por fim, entende-se que a gestão de riscos traz consigo segurança mediante antecipação de problemas e evita perdas mensuráveis e imensuráveis e deveria ser conhecida, reconhecida e requisito em projetos de engenharia.

5. Referências

[1] MIN. Ministério da Integração Nacional. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, 2002. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaodeBarragens.pdf>. Acesso em 05 de outubro de 2020.

[2] PEREIRA, Oniwendel F. M. Análise da classificação de barragens de contenção de rejeitos no Brasil, quanto ao critério de categoria de risco. Instituto Tecnológico Vale, 2016. Disponível em: <http://www.itv.org/wp-content/uploads/2018/02/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Oniwendel-Pereira.pdf>. Acesso em 05 de outubro de 2020.

[3] PLANALTO. Lei 12.334/2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em 06 de outubro de 2020.

[4] LEITE, Sérgio R; Modelo para avaliação de riscos em segurança de barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e conjuntos Fuzzy. Universidade de Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/36965/1/2019_S%C3%A9rgioRibeiroLeite.pdf>. Acesso em 05 de outubro de 2020.

[5] ANM, Agência Nacional de Mineração. Report semanal de barragens de mineração, 2020. Disponível em: < https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/boletim-semanal-de-barragens-de-mineracao/report-semanal-2020-08-10.pdf>. Acesso em 06 de outubro de 2020.

[6] ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Relatório de Segurança em Barragens, 2020. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2019/rsb19-v0.pdf>. Acesso em 06 de outubro de 2020.

[7] PANIAGO, Luiz. Principais usos das barragens e suas aplicabilidades. Instituto Minere, 2018. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/principais-usos-das-barragens-e-suas-aplicabilidades>. Acesso em 05 de outubro de 2020.

[8] CNPGB. Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens: 1º Relatório de Progresso, Lisboa: Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, 2005.

[9] MOPTC, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Regulamento e segurança de barragens. Decreto-lei nº344/2007. PORTUGAL. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/641445>. Acesso em 07 de outubro de 2020.

[10] MMA, Ministério Nacional do Meio Ambiente. Recursos Hídricos Resolução CNRH nº 144/2012. BRASIL. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7234>. Acesso em 05 de outubro de 2020.

[11] COLLE, Gisele A. metodologia de análise de risco para classificação de barragens segundo a segurança, 2008. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/143-Gisele_de_Andrade_Colle.pdf>. Acesso em 03 de outubro de 2020.

[12] ECKHOFF, R. K. Explosion Hazards in the Process Industries, 2016. Disponível em: <

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032732000116>. Acesso em: 6 de outubro de 2020.

[13] CNPGB. Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens: 2º relatório de progresso, Lisboa: Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, 2006.

[14] PEREIRA, Frank M. S. Gestão de riscos e plano de ações emergenciais aplicado à barragem de contenção de rejeitos casa de Pedra/CSN. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp132138.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2020.

[15] SILVA, João P. G. F. A. Gestão de riscos aplicada a uma infraestrutura de armazenamento de resíduos mineiros. Universidade Nova de Lisboa, 2015. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/18302/1/Silva_2015.pdf>. Acesso em 06 de outubro de 2020.

[16] ANCOLD, Guidelines on tailings dam design, construction and operation. Australian National Committee On Large Dams: October. 2003

[17] USBR. Dam safety public protection guidelines. Denver, Colorado: U.S. Deptmente of the Interior, 2011.

[18] USACE. Risk Guidelines. Washington: U.S. Army Corps of Engineers, 2012.

[19] ICOLD, 2005. Risk assessment in dam safety management, A reconnaissance of benefits, methods and current applications. International Commission On Large Dams: Bulletin 130.

[20] FRANCO, Sérgio S.P.A. Segurança de Barragens. Universidade Federal de Goiás, 2008. Disnponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/1318/1/Dissertacao%20Carlos%20Sergio%20Souza%20P%20de%20A%20Franco.pdf>. Acesso em 19 de outubro de 2019.

[21] ALMEIDA, António B. Curso sobre Operação e Segurança de Barragens. Instituto da Água de Lisboa, 2006. Disnponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~joana/artigos%20risco%20ABA/pub-2001/capitulo-7-livro-curso%20INAG2001.pdf>. Acesso em 19 de outubro de 2019.

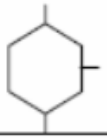
[22] APSEI. Associação Portuguesa de Segurança. Plano de Emergência em Barragens, 2020. Disponível em: <https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/protecao-civil/plano-de-emergencia-em-barragens/>. Acesso em 19 de outubro de 2020.

[23] PERINI, Daniel Sosti: Estudo dos processos envolvidos na análise de riscos de barragens de terra. 2009. Universidade de Brasília, 2009. Disponível em: < https://repositorio.unb.br/handle/10482/4363>. Acesso em 06 de outubro de 2020.

[24] PIMENTA, Lurdes. Abordagens de riscos em barragens de aterro, 2009. Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <http://repositorio.lnec.pt:8080/bitstream/123456789/17187/1/Tpi59.pdf>. Acesso em 06 de outubro de 2020.

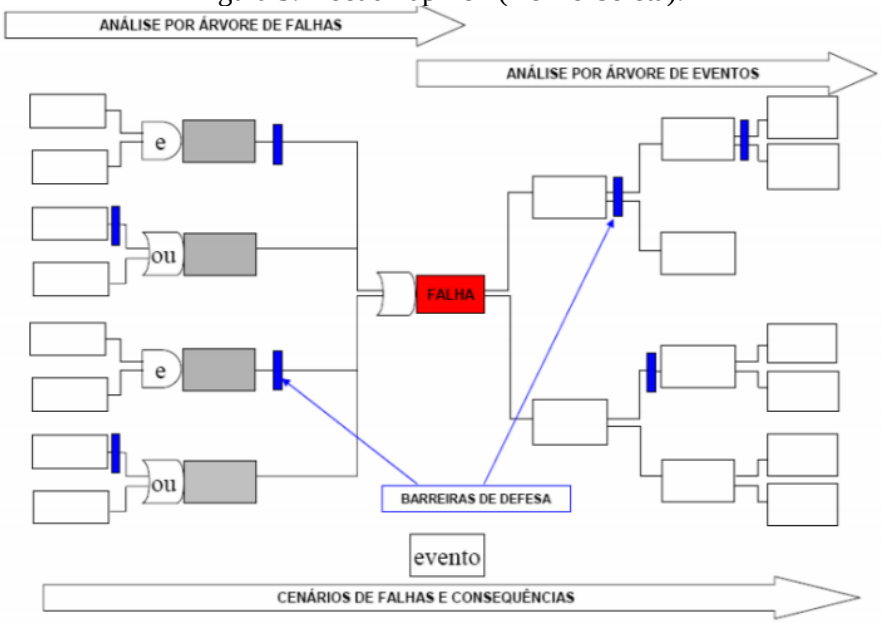
6. Anexos

Figura 2: Símbolos lógicos utilizados na construção de árvores de falhas.

SÍMBOLO LÓGICO	DESIGNAÇÃO	OBSERVAÇÕES
	Porta **E**	O evento de saída ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem
	Porta **OU**	O evento de saída ocorre se ocorrer pelo menos um dos eventos de entrada
	Porta **OU exclusiva**	O evento de saída ocorre se um único dos eventos de entrada ocorrer
	Porta **E condicional**	O evento de saída ocorre se todos os eventos de entrada ocorrerem por ordem, da esquerda para a direita
	Porta **m em n**	O evento de saída ocorre se **m** dos **n** eventos de entrada ocorrerem
	Porta **Condicional**	O evento de saída é resultado do evento de entrada se o evento condicional ocorrer
	Acontecimento iniciador	Evento elementar com potencial directo ou indirecto para originar a falha em análise
	Evento por desenvolver	Evento cujas causas estão por desenvolver
	Evento	Evento que resulta da associação lógica de outros eventos
	Símbolo de transferência	Evento que resulta de outra árvore de falhas

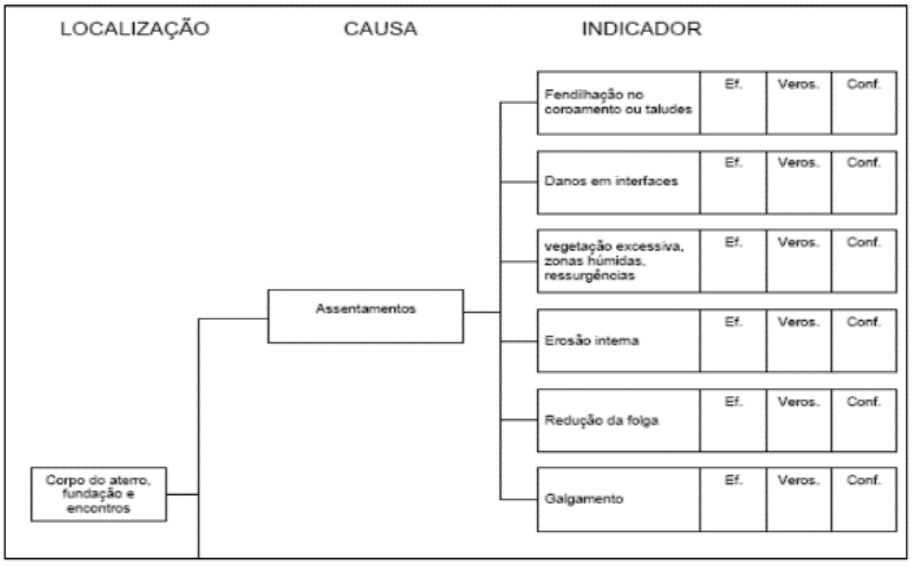
Fonte: CNPGB [8]

Figura 3: Noeud Papillon (Nó Borboleta).



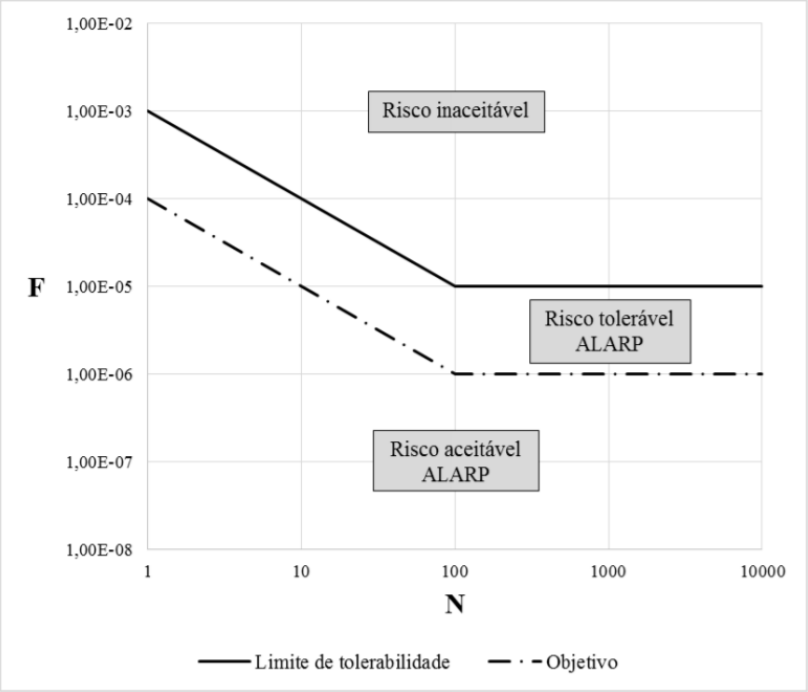
Fonte: CNPGB [8]

Figura 4: Exemplo de diagrama LCI.



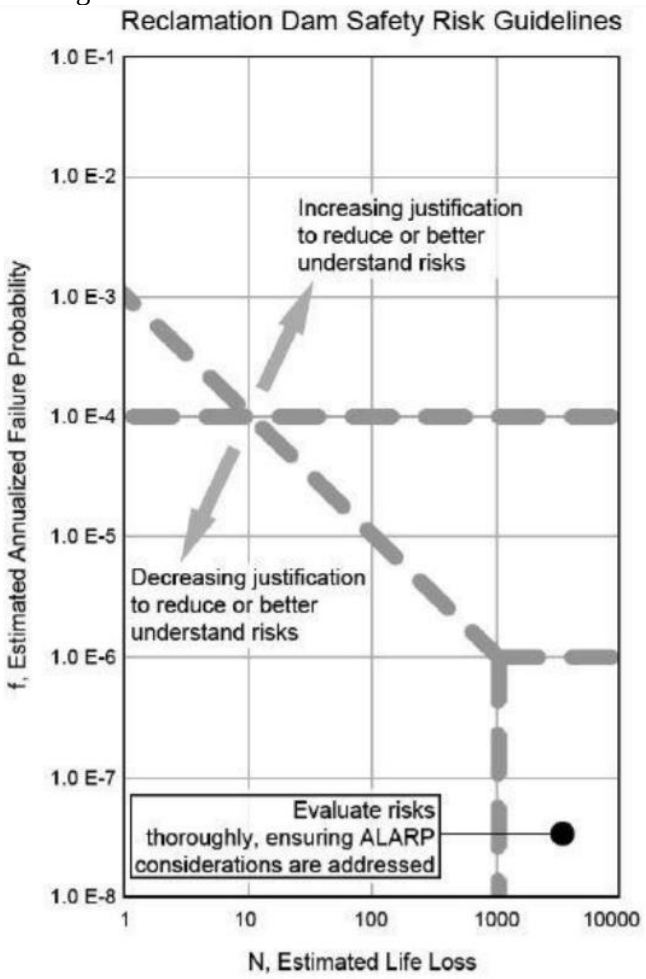
Fonte: CNPGB [13]

Figura 6: Critérios de risco da ANCOLD



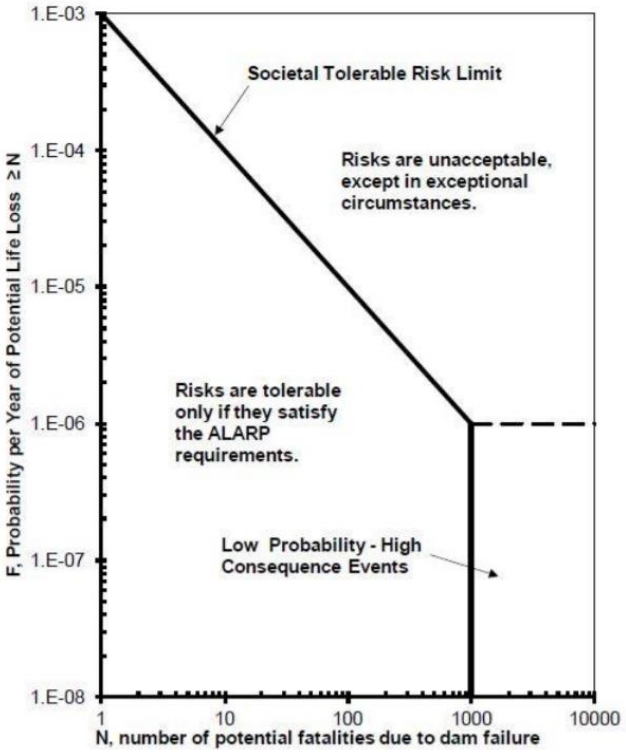
Fonte: ANCOLD [16]

Figura 7: Critérios de risco societal do USBR



Fonte: USBR [17]

Figura 8: Critérios de risco societal do USACE



Fonte: USACE [18]

Figura 9: Exemplo do método HAZOP

Sistema principal Barragem (3)

Sub-sistema Ensecadeira (2)

Fase Construção (1)

Data: _____
Folha: _____
Autor: _____
Aprovação: _____

Código de identificação	Designação	Grandeza	Desvio (palavra chave)	Causa	Efeitos	Meios			Meios adicionais
						de detecção do desvio	de prevenção do desvio	de mitigação dos efeitos	
3-2-1 (a-b-c) (1)	Ensecadeira	Assentamento	MUITO SUPERIOR (ao valor estimado)	Colapso dos materiais do maciço estabilizador de montante	. Abertura de fendas . Estabelecimento de caminhos de percolação montante/jusante . Erosão interna . Formação de brecha . Libertação de uma onda de cheia para jusante	Marcas de nivelamento para medição dos assentamentos	Ensaios de caracterização	Subida expedita do coroamento da ensecadeira	Mais do que um meio de comunicação entre a obra e o exterior
						Inspecção visual	Colocação e compactação dos materiais do maciço estabilizador de montante do lado húmido	Accionamento do Plano de Emergência	Sistema de aviso e alerta

(1) -

a - Sistemas principais

1 - bacia hidrográfica
2 - albufeira
3 - barragem
4 - vale a jusante

b - Sub-sistemas da barragem

1 - galeria de desvio provisório
2 - ensecadeira
3 - corpo da barragem
4 - descarregador de cheias
5 - descarga de fundo
6 - tomada de água

c - Fase

1 - construção
2 - 1º enchimento
3 - exploração (primeiros 5 anos)
4 - exploração (após os primeiros 5 anos)

Fonte: CNPGB [8]

Figura 10: Exemplo do método FMEA

Código de identificação	Designação	Funcionamento	Modo de falha	Causa (acontecimento iniciador)	Efeitos da falha			Meios			Meios adicionais
					Locais	Noutros sub-sistemas	Terminais	de detecção do modo de falha	de prevenção do modo de falha	de mitigação dos efeitos	
3-1-1 (a-b-c) (1)	Galeria de desvio provisório	Desvio do rio durante a fase de construção. Operação em cheia.	Excedida a capacidade de escoamento da galeria em superfície livre (galeria projectada para funcionar em superfície livre, sem entrar em pressão)	Cheia superior à cheia de projecto	Escoamento em pressão no interior da galeria	Subida do nível da água na albufeira acima dos valores previstos	. Perda de folga . Galgamento da ensecadeira . Onda de cheia no vale a jusante	Medição de caudais na bacia hidrográfica Medição do nível da água na albufeira	Consideração de uma folga adequada a operações excepcionais. Subida faseada dos aterros da ensecadeira (acima da cota do coroamento)	Subida expedita do coroamento da ensecadeira Accionamento do Plano de Emergência	Considerar a possibilidade de executar um descarregador de emergência sobre o corpo da ensecadeira Sistema de Aviso e Alerta

(1) - **a - Sistemas principais**

1 - bacia hidrográfica
2 - albufeira
3 - barragem
4 - vale a jusante

b - Sub-sistemas da barragem

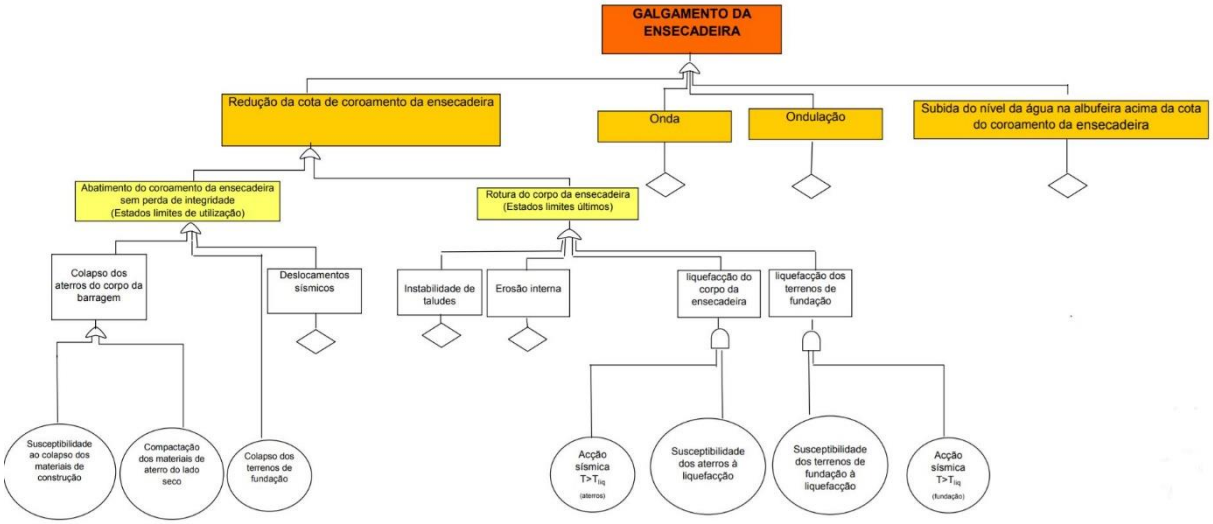
1 - galeria de desvio provisório
2 - ensecadeira
3 - corpo da barragem
4 - descarregador de cheias
5 - descarga de fundo
6 - tomada de água

c - Fase

1 - construção
2 - 1º enchimento
3 - exploração (primeiros 5 anos)
4 - exploração (após os primeiros 5 anos)

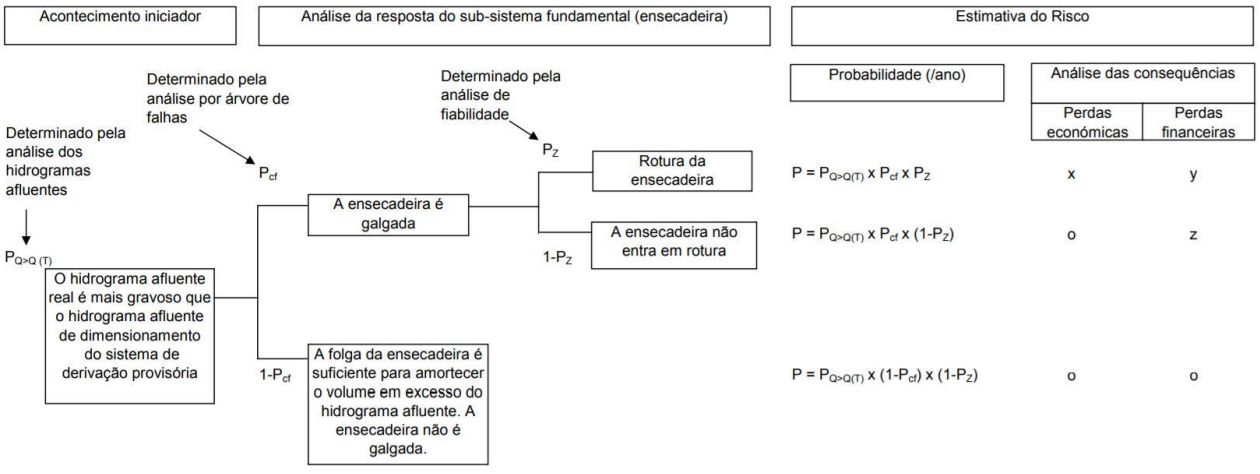
Fonte: CNPGB [8]

Figura 11: Exemplo de Árvore de Falhas



Fonte: CNPGB [8]

Figura 12: Exemplo de Árvore de eventos



Fonte: CNPGB [8]