

Numeração Única: 5013909-51.2019.8.13.0024 (TJMG 1a. Instância)

| | |
|-------------------------------|--|
| Comarca: | BELO HORIZONTE |
| Órgão Julgador: | 22ª Vara Cível da Comarca de Belo Horizonte |
| Promotoria de Justiça: | PROMOTORIA ESTADUAL DE DEFESA DO PATRIMONIO CULTURAL E TURISTICO DE MINAS GERAIS |

| | |
|---|--------------------|
| Classe: | Ação Civil Pública |
| Assuntos: | Mineração |
| Nível de sigilo: | SIGILO ABSOLUTO |
| Valor da causa: | R\$ 500.000.000,00 |
| Pedido liminar ou antecipação de tutela: | Não |

| Partes | |
|---------------------|---------------------------|
| POLO ATIVO | Ministério Público - MPMG |
| POLO PASSIVO | VALE S.A. |

| | |
|--|-------------------------------|
| Último recebimento/sincronização: | 01/02/2019 20:21 |
| Último envio de manifestação/petição: | 01/02/2019 13:31 |
| Total de peças processuais: | 14 |
| Parte 1: | Peças de 1 a 14 |
| Arquivo gerado: | 5013909-51_2019_8_13_0024.pdf |
| Data de geração do arquivo: | 01/02/2019 20:21 |



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

**EXCELENTÍSSIMO (A) SENHOR (A) JUIZ (A) DE DIREITO DA ____ VARA
CÍVEL DA COMARCA DE BELO HORIZONTE/MG**

URGENTE

SIGILOSO

O **MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**, pelos Promotores de Justiça infra-assinados, vem, perante Vossa Excelência, com base na documentação em anexo e fundamento nos artigos 127 e 129, inciso III, da Constituição Federal; artigo 1º, inciso I, c/c artigo 5º, inciso I, da Lei nº 7.347/85; artigo 25, inciso IV, alínea *a*, da Lei nº. 8.625/93; artigo 66, inciso VI, alínea *a*, da Lei Complementar Estadual n.º 34/94, ajuizar a presente

AÇÃO CIVIL PÚBLICA

COM PEDIDO DE LIMINAR (TUTELA DE URGÊNCIA)

em face da sociedade empresária **VALE S/A**, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o nº 33.592.510/0007-40, com estabelecimento na Avenida Doutor Marco Paulo Simon Jardim, nº. 3580, Bairro Piemonte, Nova Lima/MG, CEP. 34.006-200, o que faz em conformidade com os fatos e fundamentos expostos a seguir.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

I – DOS FATOS

1. Contextualização

A Vale realiza operações de minério de ferro no Brasil, sobretudo ao nível da sociedade controladora, por intermédio das subsidiárias, a Mineração Corumbaense Reunida S.A. (“MCR”) e a Minerações Brasileiras Reunidas S.A. – MBR (“MBR”). As minas, todas a céu aberto, e as operações associadas a elas, concentram-se essencialmente em três sistemas: o Sistema Sudeste, o Sistema Sul e o Sistema Norte, cada um com capacidade de transporte própria. Também realiza operações de mineração no Sistema Centro-Oeste e tem uma participação de 50% na Samarco.

A Vale S/A – doravante denominada REQUERIDA – tem como principal negócio a atividade de mineração. É a maior produtora de minério de ferro e de níquel do mundo e atua também em outros segmentos minerais.

Dentre seus empreendimentos, a VALE S.A. é, desde 2003, responsável pelo complexo minerário Paraopebas - Mina Córrego do Feijão -, situada no Município de Brumadinho/MG.

No dia 25 de janeiro do ano corrente, houve o rompimento das barragens I, IV e IV-A integrantes do Complexo Minerário, causando outro grande desastre sócio ambiental no Brasil – possivelmente o maior do mundo.

Segundo informações obtidas no site da Vale S.A.¹, a **Barragem I** servia para disposição de **rejeitos** e possuía 87 metros de altura, sendo construída pelo método de alteamento a montante. O dano potencial era classificado como Alto – Classe C. O volume do reservatório era de **mais de 12,7 milhões de metros cúbicos** de lama. A **Barragem IV** servia para contenção de **sedimentos** e possuía 12 metros de altura,

¹ <https://pt.slideshare.net/comcbhvelhas/barragens-de-mineracaovale>



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

sendo construída pelo método de seção de terra homogênea. O dano potencial era classificado como Alto – Classe C. A **Barragem IV-A** servia para contenção de **sedimentos** e possuía 13 metros de altura, sendo construída pelo método de seção de terra homogênea. O dano potencial era classificado como Alto – Classe C. Segundo as primeiras informações obtidas, a onda de rejeitos decorrente do rompimento da barragem atingiu inicialmente a área administrativa da companhia e parte da comunidade da Vila Ferteco, sendo que prosseguiu até o Rio Paraopeba. Atualmente, a pluma já ultrapassou o Município de Juatuba

A insegurança permeia o cotidiano de todas as pessoas que são obrigadas a conviver com empreendimentos minerários - especialmente aqueles que utilizam barragens para disposição de rejeitos da mineração - tendo a recente catástrofe colaborado com a desconfiança e o desamparo em razão da magnitude dos eventos e de suas consequências ainda inestimáveis.

O fato mais assustador foi a informação de que as barragens da Mina Córrego Feijão possuíam laudos que atestavam sua estabilidade e segurança, conforme se nota de informação extraída diretamente da página da Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM.

O rompimento em questão, de barragens formalmente atestadas como estáveis, demonstra, que a Requerida não está adotando medidas minimamente necessárias para manter a segurança de seus empreendimentos, legando a último plano a incolumidade da vida humana e do meio ambiente. Não há dúvida de que, enquanto titular de empreendimento minerário e, portanto, objetivamente responsável pelos riscos inerentes à sua atividade, a Requerida tem por obrigação assegurar a estabilidade das barragens de rejeitos e demais estruturas integrantes de seus complexos de mineração, não apenas documentalmente mas sim faticamente.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Ademais, demonstra que o sistema de fiscalização criado pelo Estado de Minas Gerais e o sistema de controle realizado pela Agência Nacional de Mineração – ANM são ineficientes.

Considerada a atual situação – notadamente diante da comprovada ineficiência das medidas de gestão de riscos adotadas pela Vale S/A – o Ministério Público entendeu necessário verificar se a Vale tinha desenvolvido uma metodologia própria de análise de riscos, especialmente de riscos geotécnicos; se teria detectado outras estruturas em estado de atenção ou fora do Limite Aceitável de Risco (ALARP ZONE); bem como se tinha realizado uma análise custo x benefício concernente ao propósito de redução de exposição ao risco.

Em 31/01/2019, o Ministério Público requisitou à REQUERIDA a apresentação de informações a respeito da metodologia, resultados e ranqueamento obtidos pelo setor de gestão de risco geotécnico (GRG) da empresa Vale S.A. Requisitou informações detalhadas, especialmente o nome das estruturas dentro da Zona de Atenção (ALARP ZONE) e nome das estruturas que estão em fase de alinhamento, ou seja, que necessitavam de estudos mais aprofundados.

Os documentos apresentados demonstram que, **em outubro de 2018, a REQUERIDA** tinha ciência de que, dentre 57 barragens de sua responsabilidade avaliadas, 10 estavam em zona de Atenção (ALARP ZONE), **quais sejam:**

- **Barragem Laranjeiras;**
- **Barragem Menezes II**
- **Barragem Capitão do Mato**
- **Barragem Dique B**
- **Barragem Taquaras**
- **Barragem Forquilha I**
- **Barragem Forquilha II**



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

A REQUERIDA é responsável por, pelo menos, **08 (oito) BARRAGENS** que – segundo seus próprios critérios de análise de riscos - **ESTARIAM EM SEVERO RISCO DE ROMPIMENTO ATUALMENTE:**

Barão de Cocais:

- **Barragem Laranjeiras:** classe III, bacia do Rio Piracicaba, volume do reservatório de 5.769.679,60m³.

Brumadinho:

- **Barragem Menezes II:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 290.202,16,00m³. Esta barragem faz parte do mesmo Complexo Paraopebas – Mina Córrego do Feijão – no qual estavam as barragens que se romperam.

Nova Lima:

- **Barragem Capitão do Mato:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 2.136.495,00m³;

- **Barragem Dique B:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 333.000,00m³; e

- **Barragem Taquaras:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 950.000,00m³.

Ouro Preto:

- **Barragem Forquilha I:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 26.000.000,00m³;

- **Barragem Forquilha II:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 24.000.000,00m³; e

- **Barragem Forquilha III:** classe III, bacia do Rio São Francisco, volume do reservatório de 18.200,00m³.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

DAMS WITH PROBABILITY INSIDE ALARP ZONE

Capitão do Mato: overtopping for precipitation events associated with 1,000-year flood. **Probability: 1×10^{-3} .** Evaluate possible actions to reduce the likelihood of overtopping. 3D hydraulic models of the spillway with the definition of an alternative for increasing the discharge capacity of the structure.

Taquaras: downstream slope instability. **Probability: 1×10^{-3} .** Realization of new in situ and laboratory tests during the As Is project. **(discuss the results with the geotechnical operational team)**

Dique B: overtopping for precipitation events associated with 1,000-year flood. **Probability: 1×10^{-3} .** The downstream channel of the emergency extravasor should be constantly monitored, especially after precipitation events. **Develop decommissioning project.**

IV-A: overtopping for 2,000-year flood. **Probability: 5×10^{-4} .** Accept the risk and apply ALARP concept

Forquilha I: liquefaction by seismic trigger. **Probability: 2×10^{-4} .** Review the seismic loading assessment (in progress).

Forquilha II: liquefaction by seismic trigger. **Probability: 4×10^{-4} .** Review the seismic loading assessment (in progress).





MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

DAMS WITH PROBABILITY INSIDE ALARP ZONE

Forquilha III: static liquefaction. **Probability: 2×10^{-4} .** **Dam Decommissioning**
Design of the reinforcement works

Norte Laranjeiras: internal erosion on the left abutment. **Probability: 3×10^{-4} .**
Review the probability of the internal erosion failure mode after the conclusion of
the inverted filter and foundation characterization

Menezes II: internal erosion by concentrated flow along an existing buried gallery in
the embankment, which functioned as the old extravasor system. **Probability: $3 \times$**
 10^{-4} . **Review in progress to incorporate the filter that was concluded on the exit of**
internal drainage.

Barragem I: static liquefaction and internal erosion **Probability: 2×10^{-4} .**
Decommissioning work.

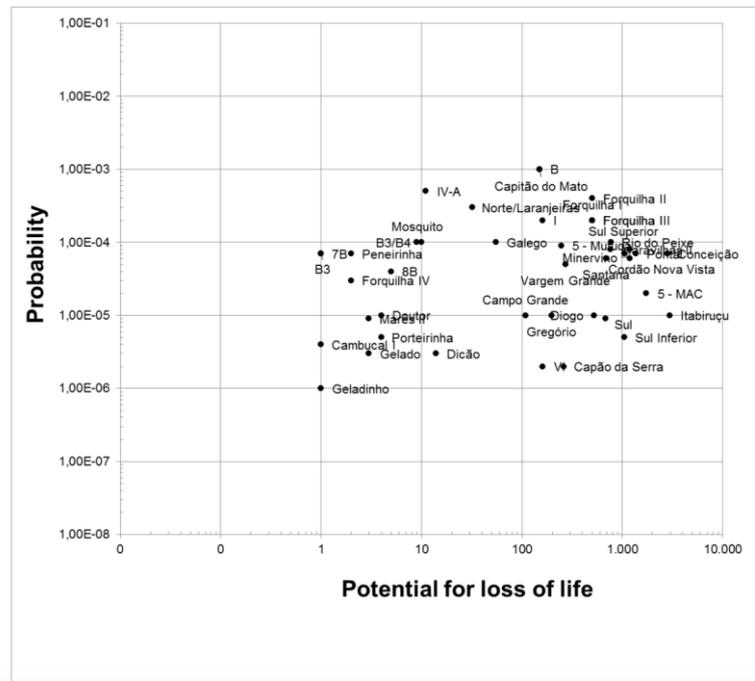


Todas elas são próximas a núcleos urbanos, havendo pessoas residentes/transitando na zona de autossalvamento, ou seja, na região do vale à jusante da barragem a uma distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação (lama) igual a trinta minutos ou 10 km. Na zona de autossalvamento, não há tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, de forma que as pessoas tem que se salvar sozinhas em caso de tragédia, sendo que os avisos de alerta são da responsabilidade do empreendedor.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

POTENCIAL FOR LOSS OF LIFE – WITHOUT ALERT



Isso demonstra a absoluta necessidade da adoção de medidas imediatas se faz imprescindível, sob pena de eventos similares ocorrerem em tempo próximo.

Neste compasso, a presente ação civil pública tem o objetivo precípuo de neutralizar os riscos sociais e ambientais acima relatados, decorrentes da insegurança e instabilidade das estruturas de contenção de rejeitos existentes nos Complexos Minerários onde se situam as referidas barragens, bem como de outras que estejam na mesma situação.

Além disso, objetiva inibir a flagrante situação de ilicitude levada a cabo pela Requerida, conforme amplamente noticiado após o desastre ocorrido em Brumadinho/MG, tudo de forma a prevenir a ocorrência de novas catástrofes ambientais em Minas Gerais.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

II – DO DIREITO

1. Do foro competente

Inicialmente cumpre salientar a previsão legal capaz de justificar a propositura da presente ação no foro da capital mineira. O artigo 93 do Código de Defesa do Consumidor é muito claro nesse sentido:

Art. 93. Ressalvada a competência da Justiça Federal, é competente para a causa a justiça local:

I – no foro do lugar onde ocorreu ou deva ocorrer o dano, quando de âmbito local;

II – no foro da Capital do Estado ou no do Distrito Federal, para os danos de âmbito nacional ou regional, aplicando-se as regras do Código de Processo Civil aos casos de competência concorrente.

No caso em evidência, trata-se de potencial dano em ao menos quatro municípios mineiros. O dano potencial em caso de rompimento de cada uma dessas barragens, como a experiência mostra, ocorrerá outras inúmeras cidades. Sendo assim, ultrapassadas estão eventuais discussões acerca do foro competente para análise do presente petítório.

2. Da necessidade de adoção das melhores medidas preventivas possíveis

A Constituição da República alçou o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado à categoria de direito fundamental e o erigiu a princípio orientador da ordem econômica e social, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações:



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica,



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade.

§ 2º *Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.*

§ 3º *As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.*

[...]”. Grifos nossos.

No mesmo sentido a Constituição do Estado de Minas Gerais:

“Art. 214 – Todos têm direito a meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, e ao Estado e à coletividade é imposto o dever de defendê-lo e conservá-lo para as gerações presentes e futuras.

[...]

§ 4º – Quem explorar recurso ambiental fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, na forma da lei.

§ 5º – A conduta e a atividade consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão o infrator, pessoa física ou jurídica, a sanções administrativas, sem prejuízo das obrigações de reparar o dano e das cominações penais cabíveis.”

Adverte-se que a proteção ao meio ambiente é pressuposto para o atendimento do mais importante dos valores fundamentais: o direito à vida (artigo 5º, *caput*, CF/88), seja pela ótica da própria existência física e da saúde dos seres humanos,



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

quer quanto ao aspecto da dignidade dessa existência (qualidade de vida – artigo 1º, inciso III, CF/88).

A Lei Federal n.º 12.334/2010 estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens e elencou como seus objetivos: “*I – garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências; II – regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional; III – promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens; IV – criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança; V – coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos; VI – estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público; VII – fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.*”

O artigo 17 da mesma Lei Federal n.º 12.334/2010 é literal ao imputar ao empreendedor o dever de garantir a segurança das barragens por ele operada:

“Art. 17. O empreendedor da barragem obriga-se a:

I - prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem;

II - providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como construído;

III - organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto, à construção, à operação, à manutenção, à segurança e, quando couber, à desativação da barragem;



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

IV - informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança;

V - manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem;

VI - permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador e dos órgãos integrantes do Sindec ao local da barragem e à sua documentação de segurança;

VII - providenciar a elaboração e a atualização do Plano de Segurança da Barragem, observadas as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança;

VIII - realizar as inspeções de segurança previstas no art. 9º desta Lei;

IX - elaborar as revisões periódicas de segurança;

X - elaborar o PAE, quando exigido;

XI - manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XII - manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XIII - cadastrar e manter atualizadas as informações relativas à barragem no SNISB.” Grifo nosso.

A Deliberação Normativa n.º 62/2002 do Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM ratifica a obrigação do empreendedor, prescrevendo que os deveres iniciam-se ainda na fase de implantação do projeto e se estendem até o efetivo fechamento das barragens:



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

“Art. 7º - Os proprietários do empreendimento são responsáveis pela implantação de procedimentos de segurança nas fases de projeto, implantação, operação, fechamento das barragens decorrentes de suas atividades industriais.

Parágrafo único - As atividades dos órgãos com atribuições de fiscalização não eximem os proprietários de empreendimentos da total responsabilidade pela segurança das barragens e reservatórios existentes nos seus empreendimentos, bem como das conseqüências pelo seu mau funcionamento.”

A seu turno, a Deliberação Normativa COPAM n.º 87/2005 impõe, em seu artigo 4º, § 2º, que *“em nenhuma hipótese, poderá o empreendedor da barragem isentar-se da responsabilidade de reparação dos danos ambientais decorrentes de acidentes, mesmo que sejam atingidas áreas externas ao domínio definido pela área a jusante da respectiva barragem, delimitada nesta Deliberação Normativa.”*

Acrescentem-se, ainda, as previsões contidas na Portaria n.º 70.389/2017 do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, em especial aquelas contidas em seus artigos 2º, XXXI, XL, XLI e 52:

“Art. 2º. Para efeito desta Portaria consideram-se:

[...]

XXXI: Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração - PAEBM: documento técnico e de fácil entendimento elaborado pelo empreendedor, no qual estão identificadas as situações de emergência em potencial da barragem, estabelecidas as ações a serem executadas nesses casos e definidos os agentes a serem notificados, com o objetivo de minimizar danos e perdas de vida;

[...]



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

XL. Zona de Autossalvamento - ZAS: região do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km; e

XLI. Zona de Segurança Secundária - ZSS: Região constante do Mapa de Inundação, não definida como ZAS.”

“Art. 52. O empreendedor é obrigado a cumprir as determinações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança no prazo ali especificado, sob pena de interdição nos casos de recomendações visando à garantia da estabilidade estrutural da barragem de mineração.”

No Anexo II – Estrutura e Conteúdo Mínimo do Plano de Segurança da Barragem – desta mesma Portaria, são relacionados os conteúdos mínimos do PAEBM:

- 1. Apresentação e objetivo do PAEBM;*
- 2. Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificações;*
- 3. Descrição geral da barragem e estruturas associadas;*
- 4. Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência em níveis 1, 2 e/ou 3;*
- 5. Ações esperadas para cada nível de emergência.*
- 6. Descrição dos procedimentos preventivos e corretivos;*
- 7. Recursos materiais e logísticos disponíveis para uso em situação de emergência:*



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

8. *Procedimentos de notificação (incluindo o Fluxograma de Notificação) e Sistema de Alerta;*
9. *Responsabilidades no PAEBM (empreendedor, coordenador do PAE, equipe técnica e Defesa Civil);*
10. *Síntese do estudo de inundação com os respectivos mapas, indicação da ZAS e ZSS assim como dos pontos vulneráveis potencialmente afetados;*
11. *Declaração de Encerramento de Emergência, quando for o caso;*
12. *Plano de Treinamento do PAE;*
13. *Descrição do sistema de monitoramento utilizado na Barragem de Mineração;*
14. *Registros dos treinamentos do PAEBM;*
15. *Relação das autoridades competentes que receberam o PAEBM e os respectivos protocolos;*
16. *Relatório de Causas e Consequências do Evento em Emergência Nível 3, contendo, no mínimo:*
 - a) *Descrição detalhada do evento e possíveis causas;*
 - b) *Relatório fotográfico;*
 - c) *Descrição das ações realizadas durante o evento, inclusive cópia das declarações emitidas e registro dos contatos efetuados, conforme o caso;*
 - d) *Em caso de ruptura, a identificação das áreas afetadas;*
 - e) *Consequências do evento, inclusive danos materiais, à vida e à propriedade;*
 - f) *Proposições de melhorias para revisão do PAEBM;*
 - g) *Conclusões do evento; e*
 - h) *Ciência do responsável legal pelo empreendimento.*

O Decreto Federal nº. 7.257/2010 define desastre como:

“Art. 2º.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

[...]

II - Desastre: resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais”

O artigo 3º da Lei nº 6.938/81 conceitua poluição como sendo “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Segundo o inciso IV do mesmo artigo 3º da Lei 6.938/81, entende-se por “poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental”.

Também a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/81) consagra, em seu artigo 14, §1º, a responsabilidade objetiva ambiental:

“Art 14.

[...]

§ 1º - Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente.”



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Como se pode perceber, a legislação ambiental brasileira adotou a teoria do risco integral, segundo a qual aquele que contribui de qualquer forma para a ocorrência de riscos/danos ao meio ambiente tem a obrigação de preveni-los/recuperá-los, sendo tal responsabilidade ônus inerente à própria atividade, dispensando-se a perquirição de elemento subjetivo (culpa ou dolo) e não se aplicando as causas de exclusão de responsabilidade civil.

Na lição de ÉDIS MILARÉ²:

“A adoção da teoria do risco da atividade, da qual decorre a responsabilidade objetiva, traz como consequências principais para que haja o dever de indenizar: a) a prescindibilidade de investigação de culpa; b) a irrelevância da licitude da atividade; c) a inaplicação das causas de exclusão da responsabilidade civil”.

Ademais, como demonstra a seguinte passagem da obra de PAULO AFFONSO LEME MACHADO³, há consenso quanto ao reconhecimento de que:

“A licença ambiental não libera o empreendedor licenciado de seu dever de reparar o dano ambiental. Essa licença, se integralmente regular, retira o caráter de ilicitude administrativa do ato, mas não afasta a responsabilidade civil de reparar. A ausência de ilicitude administrativa irá impedir a própria Administração Pública de sancionar o prejuízo ambiental; mas nem por isso haverá irresponsabilidade civil. A própria Constituição Federal tornou clara a diferença e a independência dos três tipos de responsabilidade – penal,

² MILARÉ. Edis. Direito do Ambiente. 4ª ed. São Paulo: RT, 2005. Pág. 834.

³ MACHADO, P. A. L. Direito Ambiental brasileiro. 17.ed. São Paulo: Malheiros, 2009, p. 367.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

administrativa e civil – ao dizer, no art. 225, §3º: “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”. A irresponsabilidade administrativa ou penal não acarreta a irresponsabilidade civil.

Com efeito, havendo risco de prejuízos ao meio ambiente e à sociedade, devem ser adotadas todas as medidas preventivas necessárias para evitar a sua ocorrência, sendo esses impactos conhecidos (prevenção) ou não (precaução) pela comunidade científica.

O princípio da **prevenção** impõe a prevalência da obrigação de antecipar e impedir a ocorrência de danos ambientais sobre a adoção de medidas para repará-los ou compensá-los. A respeito do tema, vale trazer à colação o escólio de ÉDIS MILARÉ⁴:

“O princípio da prevenção é basilar em Direito Ambiental, concernindo à prioridade que deve ser dada às medidas que evitem o nascimento de atentados ao ambiente, de modo a reduzir ou eliminar as causas de ações suscetíveis de alterar sua qualidade. [...] Ou seja, diante da pouca valia da simples reparação, sempre incerta e, quando possível, excessivamente onerosa, a prevenção é a melhor, quando não a única solução.”

A seu turno, o princípio da **precaução**, adotado expressamente pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio 92, que resultou em declaração da qual o Brasil é signatário, impõe que:

⁴ MILARÉ, Edis. *Direito do Ambiente*. 4ª. Ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2005. p. 166



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

“Princípio 15 – Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental”.

Conforme decisão do Superior Tribunal de Justiça, prolatada no âmbito do Recurso Especial nº. 1.285.463 – SP (2011/0190433-2), de relatoria do Ministro Humberto Martins, a ausência de certeza científica, longe de justificar uma ação possivelmente degradante do meio ambiente, deve incitar o julgador a mais prudência.

Aliás, conforme determinação expressa contida no artigo 2º, §2º, da Lei da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (Lei Federal nº. 12.608/12):

“Art. 2º.

[...]

§ 2º. A incerteza quanto ao risco de desastre não constituirá óbice para a adoção das medidas preventivas e mitigadoras da situação de risco.” Grifo nosso.

Reforce-se que, no Direito Ambiental, em razão dos princípios da **prevalência do meio ambiente**, da **prevenção** e da **precaução**, ganham relevo as tutelas específicas de urgência, sobretudo aquelas que permitem o afastamento do próprio ilícito (ditas inibitórias), impedindo, conseqüentemente e não raras vezes, a ocorrência do dano ambiental.

Imprescindível se esclarecer que a tutela judicial ambiental não se ocupa apenas da reparação do dano ambiental, mas calca-se, também, na necessidade de se atacar o próprio ilícito, visto aqui de forma divorciada do dano. É que o dano, aliado ao ilícito, reflete apenas um pressuposto da reparação, nada impedindo (aliás, impondo-se) que o ilícito seja combatido independentemente da ocorrência do dano.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

A sistemática da tutela judicial ambiental obedece ao entendimento de que, antes da ocorrência do dano ambiental, deve-se optar pelo provimento capaz de inibir ou de remover o ilícito. Diferentemente, após a ocorrência do dano ambiental, busca-se a reparação específica pelo prejuízo causado, reparação essa denominada específica porque deverá recompor o estado anterior (*in natura*).

Há casos, portanto, em que se verifica um ato antijurídico que deve ser combatido mesmo que ainda não tenha ocorrido dano ou mesmo que nem venha a ocorrer. A constatação desse ato, pelo simples fato de ser ilícito, deve ensejar provimento jurisdicional apto à sua inibição/remoção.

MARCELO ABELHA⁵ ensina que:

“Por outro lado, se ainda não houve o dano mas existe um estado potencial de sua ocorrência, é possível dividir essa fase em dois momentos: a) sem o dano, mas já ocorrido o ilícito; b) sem o dano, mas não ocorrido o ilícito. No caso a tem-se uma conduta antijurídica de ferimento do direito, mas que ainda não causou dano (e pode nem vir a causar) e que deve ser debelada mediante uma tutela específica que reverta o ilícito e permita seja alcançado o mesmo resultado que se teria caso o dever positivo ou negativo fosse espontaneamente cumprido. No caso b nem o dano e nem o ilícito ocorreram, mas existe um estado potencial de ocorrência de um e/ou outro. Nessa situação, é possível a utilização da tutela específica que permita o alcance do cumprimento da conduta que se espera seja cumprida.”

⁵ ABELHA, Marcelo. *Ação Civil Pública e Meio Ambiente*. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2004. p. 175/176.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Não é outra a interpretação extraída do artigo 497, parágrafo único, do Código de Processo Civil:

“Art. 497. Na ação que tenha por objeto a prestação de fazer ou de não fazer, o juiz, se procedente o pedido, concederá a tutela específica ou determinará providências que assegurem a obtenção de tutela pelo resultado prático equivalente.

Parágrafo único. Para a concessão da tutela específica destinada a inibir a prática, a reiteração ou a continuação de um ilícito, ou a sua remoção, é irrelevante a demonstração da ocorrência de dano ou da existência de culpa ou dolo.”

Por fim, e de forma extremamente atual face aos recentes acontecimentos, bem como as possíveis razões pelas quais ocorreram, o recente relatório conjunto elaborado pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Grid Arendal, intitulado “Mine Tailings Storage: Safety is no accident. A rapid response assessment²”⁶, apresentou as seguintes recomendações, sinalizando que questões atinentes à segurança humana e do meio ambiente devem ser priorizadas, bem como avaliadas separadamente das variáveis econômicas:

“Recommendation 1. The approach to tailings storage facilities must place safety first, by making environmental and human safety a priority in management actions and on-the-ground operations. Regulators, industry and communities should adopt a shared zero failure objective to tailings storage facilities where “safety attributes should be evaluated separately from economic considerations, and cost should not be the determining factor”. (Mount Polley expert panel, 2015, p. 125) Recommendation 2.

⁶ Disponível em: <http://www.grida.no/publications/383>



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Establish a UN Environment stakeholder forum to facilitate international strengthening of tailings dam regulation.³⁷

A fundamentação ora abalizada demonstra com clareza a necessidade dos objetivos ora perseguidos. Seja a nível nacional (em todos os níveis decisórios) ou a nível internacional, a preservação do meio ambiente e a primazia da segurança humana face os ganhos econômicos não pode ser olvidada, merecendo, neste momento de tamanha tristeza, uma resposta célere e adequada do Poder Judiciário.

3 - Da Imprescindível Tutela de Urgência

Ao aplicar o ordenamento jurídico, o magistrado atenderá os fins sociais e às exigências do bem comum, resguardando e promovendo a dignidade da pessoa humana e observando a proporcionalidade, a razoabilidade e a eficiência.

O artigo 300 do Código de Processo Civil dispõe que “a tutela de urgência será concedida quando houver elementos que evidenciem a probabilidade do direito e o perigo de dano ou o risco ao resultado útil do processo”. Logo, não há dúvida de que, no caso desta ação civil pública, a antecipação da tutela se impõe, porque, para além de preenchidos os requisitos legais, a gravidade dos fatos não admite a espera do provimento final.

Com efeito, a providência se faz necessária a fim de evitar danos irreversíveis ao meio ambiente e a perda de ainda mais vidas.

⁷ Recomendação 1: A abordagem das barragens de rejeito deve colocar a segurança em primeiro lugar, estabelecendo a segurança ambiental e humana como prioridade nas ações de manejo e operações no solo. Reguladores, indústrias e comunidades devem adotar um objetivo compartilhado de zero falhas para barragens de rejeito onde “atributos de segurança devem ser avaliados separadamente de considerações econômicas, e o custo não deve ser o fator determinante” (Mount Polley expert panel, 2015, p. 125) Recomendação 2: Estabelecer, na ONU Meio Ambiente, um fórum das partes interessadas, com o objetivo de facilitar o fortalecimento internacional da regulamentação de barragens de rejeitos. (tradução livre)



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

A probabilidade do direito (*fumus boni iuris*) reside na normatização aplicável à espécie, que, conforme dito, tem sede constitucional, posto que a Carta Magna, no que foi esmiuçada pela legislação infraconstitucional, estabeleceu a obrigação de preservação do meio ambiente e de garantia da estabilidade de barragens. Basta uma análise perfunctória dos fatos narrados sob o prisma do direito aviventado para se concluir que o comportamento e a atividade empresarial da Requerida vem, ao longo do tempo, ocasionando riscos ambientais e sociais incomensuráveis.

Ora, é incontestável que o empreendedor é objetivamente responsável pelos riscos de sua atividade, devendo tomar todas as medidas necessárias para precavê-los. Essa regra geral ganha ainda maior ênfase quando relacionada à mineração, porquanto existem normas próprias que regem a segurança de barragens.

Já o *periculum in mora* reside no fato de que, caso não seja deferido o provimento jurisdicional de urgência (em evidente perigo de inestimável dano socioambiental e humanitário), agravar-se-ão, dia após dia, os riscos de rompimento das estruturas e da ocorrência de prejuízos sociais e ambientais, com consequências devastadoras, incalculáveis e irreparáveis, a exemplo do que se viu e ainda se vê em Mariana/MG e Brumadinho/MG.

De fato, caso não seja, de plano, resgatada a observância ao ordenamento jurídico, a atuação da Requerida continuará sendo orientada por critérios inconstitucionais e avessos à legalidade e à prevenção, de modo a expor a evidente risco vidas humanas e não humanas e o equilíbrio do meio ambiente, possibilitando a ocorrência de danos irreversíveis em detrimento de toda a sociedade.

Nesse contexto, como forma de impor à Vale S/A o cumprimento de normas constitucionais e legais, de debelar a continuidade de riscos e de impedir a ocorrência de danos ambientais e sociais é que se mostra imperiosa a rápida atuação dos órgãos públicos competentes, dentre eles o Ministério Público e o Poder Judiciário.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Nesse liame, a utilização da tutela específica não deve ser tardia ou intempestiva, sob pena de se negligenciar a ocorrência de ilícitos e prejuízos sociais e ambientais. Por essa razão, estão à disposição no ordenamento jurídico os institutos processuais aptos a minimizar os percalços da demora.

Vale a pena trazer à baila os ensinamentos de RODOLFO DE CAMARGO MANCUSO⁸, que assevera: “Compreende-se uma tal ênfase dada à tutela jurisdicional preventiva, no campo dos interesses metaindividuais, em geral, e, em especial, em matéria ambiental, tendo em vista os princípios da prevenção, ou da precaução, que são basilares nessa matéria. Assim, dispõe o princípio n. 15 estabelecido na Conferência da Terra, no Rio de Janeiro (dita ECO 92): “com o fim de proteger o meio ambiente, os Estados deverão aplicar amplamente o critério de precaução conforme suas capacidades. Quando houver perigo de dano grave ou irreversível, a falta de certeza científica absoluta não deverá ser utilizada como razão para se adiar a adoção de medidas eficazes em função dos custos para impedir a degradação do meio ambiente”. Igualmente, dispõe o Princípio n. 12 da Carta da Terra (1997): “importar-se com a Terra, protegendo e restaurando a diversidade, a integridade e a beleza dos ecossistemas do planeta. Onde há risco de dano irreversível ou sério ao meio ambiente, deve ser tomada uma ação de precaução para prevenir prejuízos.” Grifo nosso.

Com efeito, dispõe o artigo 11 da Lei nº. 7.347/85 que “na ação que tenha por objeto o cumprimento de obrigação de fazer ou não fazer, o juiz determinará o cumprimento da prestação da atividade devida ou a cessação da atividade nociva, sob pena de execução específica, ou de cominação de multa diária, se esta for suficiente ou compatível, independentemente de requerimento do autor.”

⁸ MANCUSO, Rodolfo de Camargo. *Ação Civil Pública: em defesa do meio ambiente, do patrimônio cultural e dos consumidores*. 9. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004. p.263.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Cabível, pois, a concessão da liminar prevista no artigo 12 da Lei de Ação Civil Pública (Lei nº. 7.347/85):

“Artigo 12. Poderá o juiz conceder mandado liminar com ou sem justificação prévia, em decisão sujeita a agravo.

§1º [...]

§2º A multa cominada liminarmente só será exigível do réu após o trânsito em julgado da decisão favorável ao autor, mas será devida desde o dia em que se houver configurado o descumprimento.”

Dispõe, outrossim, o artigo 4º da mesma Lei nº. 7.347/85 (LACP) que:

“Artigo 4º. Poderá ser ajuizada ação cautelar para os fins desta Lei, objetivando, inclusive, evitar o dano ao meio ambiente, ao consumidor, à ordem urbanística ou aos bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico.”

Quanto a esse último dispositivo, a doutrina já consolidou entendimento de que ele se reveste, inclusive, de feição satisfativa.

Esse é o ensinamento de SÉRGIO FERRAZ⁹:

“Logo em seu artigo 4º, a lei 7.347/1985 já alarga o âmbito de ação cautelar, fazendo-a mais ampla e mais profunda, no campo da ação civil pública. É o que se colhe desenganadamente de sua previsão no sentido de que a ação cautelar possa, aqui, ter o fito de evitar o dano, cuja

⁹ FERRAZ, Sérgio. *Provimentos antecipatórios na ação civil pública*, In “A ação civil pública após 20 anos: efetividade e desafios”. 1. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2005. p.569.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

*reparabilidade (este é o alvo principal consagrado no art. 1º do Diploma), ao lado da recomposição do statu quo ante (este o alvo basilar no art.2º), constituem as metas desse precioso instrumento. É dizer, a ação cautelar na ação civil pública, em razão do ora examinado art. 4º se reveste inclusive de **feição satisfativa**, de regra de se repelir nas medidas dessa natureza.”*
Grifo nosso.

Apenas para esclarecer a aplicação das normas mencionadas, destaca-se trecho novamente extraído da obra de RODOLFO DE CAMARGO MANCUSO¹⁰:

“Conjugando-se os arts. 4º e 12º da Lei 7.347/85, tem-se que a tutela de urgência há de ser obtida através de liminar que, tanto pode ser pleiteada na ação cautelar (factível antes ou no curso da ação civil pública) ou no bojo da própria ação civil pública, normalmente em tópico destacado da petição inicial. Muita vez, mais prática será esta segunda alternativa, já que se obtém a segurança exigida pela situação de emergência, sem necessidade de ação cautelar propriamente dita.”

Além da Lei da Ação Civil Pública prever a figura da liminar, faz ela, em seu artigo 21, expressa remissão ao Título III da Lei nº. 8.078/90 (CDC), o qual consagra o instituto da antecipação de tutela nas obrigações de fazer e não fazer, formando, assim, um micro sistema de direito processual coletivo:

Dispõe o artigo 84 do Código de Defesa do Consumidor:

¹⁰ MANCUSO, Rodolfo de Camargo. *Ação Civil Pública: em defesa do meio ambiente, do patrimônio cultural e dos consumidores*. 9. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004. p.268/269.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

“Artigo 84. Na ação que tenha por objeto o cumprimento da obrigação de fazer ou não fazer, o juiz concederá a tutela específica da obrigação ou determinará providências que assegurem o resultado prático equivalente ao do adimplemento.

§1º [...]

§2º [...]

§3º Sendo relevante o fundamento da demanda e havendo justificado receio de ineficácia do provimento final, é lícito ao juiz conceder a tutela liminarmente ou após justificação prévia, citado o réu.

§4º O juiz poderá, na hipótese do § 3º ou na sentença, impor multa diária ao réu, independentemente de pedido do autor, se for suficiente ou compatível com a obrigação, fixando prazo razoável para o cumprimento do preceito.”

Quanto aos princípios da efetividade do processo e da instrumentalidade das formas, ensina CÂNDIDO RANGEL DINAMARCO, citado por LUIZ GUILHERME MARINONI¹¹:

“Se o tempo é dimensão fundamental da vida humana e se o bem perseguido no processo interfere na felicidade do litigante que o reivindica, é certo que a demora do processo gera, no mínimo, infelicidade pessoal e angústia e reduz as expectativas de uma vida mais feliz (ou menos infeliz). Não é possível desconsiderar o que se passa na vida das partes que estão em juízo. O cidadão concreto, o homem das ruas, não pode ter os seus sentimentos, as suas angústias e as suas decepções desprezadas pelos responsáveis pela administração da justiça.”

¹¹ MARINONI, Luiz Guilherme. *Tutela antecipatória e julgamento antecipado: parte incontroversa da demanda*. 5. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2002. p. 17.



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Resta extrema de dúvidas, portanto, o cabimento da liminar (tutela de urgência) no caso em tela, medida imprescindível para resgatar a observância ao ordenamento jurídico e, via de consequência, evitar a perpetuação de riscos e a ocorrência de danos à sociedade e ao meio ambiente.

Assim, com as considerações acima, deve ser deferida a liminar e concedida a tutela de urgência, conforme abaixo explicitado, a fim de que medidas sejam efetivadas pela Requerida visando a garantir a segurança das estruturas. Insiste-se: **segundo informações extraídas da própria Vale S/A, 8 (oito) barragens encontram-se em situação de estabilidade semelhante à daquelas que romperam na última sexta-feira, de modo que o provimento jurisdicional há de ser imediato.**

III – DOS PEDIDOS E DOS REQUERIMENTOS

Diante do exposto, com fulcro nos fundamentos de fato e de direitos supracitados, o Ministério Público requer:

I) A TUTELA DE URGÊNCIA, *inaudita altera parte*, ante o preenchimento dos requisitos legais, para determinar que à Requerida, que adote as seguintes providências:

a) partindo do pressuposto de que a requerida já tem conhecimento da situação de grave risco (ao menos comprovadamente desde outubro de 2018), apresente aos órgãos competentes, no prazo máximo de 24 (vinte e quatro) horas, relatório, elaborado por auditoria técnica independente, com reconhecida expertise, acerca da estabilidade das (a1) barragens de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

III; (a2) de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos Complexos Minerários onde estão situadas as referidas estruturas; (a3) **bem como de quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone);**

O Ministério Público pede que a empresa de auditoria externa independente a ser contratada às expensas da REQUERIDA firme compromisso nos autos de trabalhar como PERITO DO JUÍZO e realize vistorias *in loco* para verificação dos parâmetros necessários à assegurar ou não a segurança das estruturas.

b) Elabore e submeta à aprovação dos órgãos competentes (ANM e SEMAD), imediatamente, **um plano de ação que garanta a total estabilidade e segurança:** (b.1) das barragens de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III; (b.2) de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos Complexos Minerários onde estão situadas as referidas estruturas; (b.3) de quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone); levando-se em conta, inclusive, os efeitos cumulativos e sinérgicos do conjunto de todas as estruturas, devendo tal plano ser imediatamente executado, **de forma a neutralizar todo e qualquer risco à população e ao meio ambiente,** noticiando as providências nos autos em **no prazo máximo de 24 (vinte e quatro) horas.**

c) execute, **imediatamente,** todas as medidas necessárias para garantir a estabilidade e a segurança (c.1) das barragens



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III; (c.2) de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos Complexos Minerários onde estão situadas as referidas estruturas; (c.3) de quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone); **observando as recomendações da equipe de auditoria técnica independente (ou justificando sua não observância) e as determinações dos órgãos competentes**, noticiando as providências nos autos em **no prazo máximo de 24 (vinte e quatro) horas**;

d) Mantenha a contratação de auditoria técnica independente com expertise na área para o **acompanhamento e fiscalização das medidas de reparo e reforço** (d.1) das barragens de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III; (d.2) de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos Complexos Minerários onde estão situadas as referidas estruturas; (d.3) de quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone); **com apresentação de relatórios aos órgãos competentes acerca das providências implementadas e estabilidade das barragens em periodicidade diária até a cessação de risco**.

A auditoria técnica independente deverá continuar exercendo suas funções até que reste atestado por ela que todas as estruturas de contenção de rejeitos dos referidos empreendimentos mantiveram, pelo período ininterrupto de 01 (um) ano, coeficiente de segurança superior ao indicado pela



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

legislação, normas técnicas vigentes e melhores práticas internacionais, sem prejuízo do cumprimento da legislação no tocante à realização de auditorias ordinárias e extraordinárias e da apresentação dos relatórios previstos em normas específicas e/ou solicitados por órgão competente;

e) Elabore e submeta à aprovação dos órgãos competentes, no prazo máximo de 24 (vinte e quatro) horas, um **Plano de Ações Emergenciais** - das barragens de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III; de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos Complexos Minerários onde estão situadas as referidas estruturas; de quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico, estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone); - que contemple o cenário mais crítico, observando todas as exigências previstas na Portaria DNPM nº 70.389/2017 executando o plano caso necessário.

e.1) Pede seja comunicado nestes autos a lista de pessoas cadastradas como residentes na zona de autossalvamento das estruturas acima mencionadas, no prazo de 24 (vinte e quatro) horas.

e.2) Caso a REQUERIDA verifique a inexistência atual de condições de segurança e/ou se o relatório elaborado por auditoria técnica independente com reconhecida expertise mencionado no item “a” acima não atestar a estabilidade de quaisquer das estruturas, deverá a Requerida adotar todas as medidas necessárias para pronta e efetiva comunicação de toda população que estiver situada na área de



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

autossalvamento e imediata realocação em caráter provisório e emergencial - às suas expensas, com condições de segurança e em locais adequados, dignos e com padrão de conforto (hotéis, pousadas ou casas de aluguel) - **das pessoas que assim desejarem e de seus animais.**

No caso de necessidade de realocação em caráter provisório e emergencial de pessoas/animais, o Ministério Público pede seja apresentado nestes autos um plano detalhado informando as pessoas que estão sendo realocadas; as pessoas que não quiseram deixar suas casas; os locais onde serão alojadas, bem como seus animais. Todos os trabalhos deverão passar pelo crivo do MPMG e dos órgãos de Estados competentes;

f) Elabore, submeta à aprovação dos órgãos competentes e execute, no prazo máximo de 48 (quarenta e oito) horas, o **Plano de Segurança das Barragens** - das barragens de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III; de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos Complexos Minerários onde estão situadas as referidas estruturas; de quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico, estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone) - observando todas as exigências previstas na Portaria DNPM nº 70.389/2017 e contemplando, inclusive, o Manual de Operação de Barragens;

g) **Comunique imediatamente aos órgãos competentes qualquer situação de elevação/incremento de risco de rompimento das barragens de Laranjeiras, Menezes II,**



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III; e de quaisquer outras estruturas de sua responsabilidade;

h) Abstenha-se de lançar rejeitos ou praticar atividades que possam incrementar o risco nas barragens de Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II e Forquilha III e em quaisquer outras estruturas que, segundo sua análise de risco geotécnico, estejam em zona de risco ou atenção (ALARP Zone);

i) O Ministério Público pede seja fixada multa diária no valor de R\$ 1.000.000,00 (um milhão de reais), no caso de descumprimento das decisões de deferimento dos pedidos, bem como de seus prazos, revertendo os valores cobrados em favor do Fundo Estadual do Ministério Público – FUNEMP (conta-corrente 6167-0, da agência 1615-2 do Banco do Brasil).

II) seja mantido o sigilo desta ação, para evitar situação de pânico geral na população, sem prejuízo do conhecimento da mesma pelos órgãos competentes.

No entanto, caso a REQUERIDA confirme a inexistência atual de condições de segurança e/ou se o relatório elaborado por auditoria técnica independente (mencionado no item I “a”) não atestar a estabilidade de quaisquer das estruturas, pede que seja suspenso o sigilo do presente processo para garantia dos direitos fundamentais à vida e à informação, sem prejuízo da adoção das demais medidas já requeridas.

III) Seja a Ré citada e intimada para a audiência de conciliação ou de mediação na forma do art. 334, do Código de Processo Civil, com a maior brevidade possível; ou, não desejando autocomposição, para apresentação de contestação no prazo legal.;



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

IV) A procedência desta ação civil pública, com o propósito de convolar em definitivo os comandos requeridos a título de tutela de urgência; e

V) A condenação da Requerida ao pagamento das custas processuais e demais cominações legais, inclusive honorários advocatícios a serem convertidos para o fundo próprio¹².

Protesta-se provar o alegado por meio das provas documentais que instruem esta exordial, bem como todos os demais instrumentos probatórios eventualmente necessários, pugnando, desde já, pela **inversão do ônus da prova** em desfavor da Requerida, nos termos do art. 6º, inciso VIII, combinado com o art. 117, ambos do CDC (Lei 8.078/1990), da súmula 618 do Superior Tribunal de Justiça, e em consonância com os princípios da prevenção e *in dubio pro natura*.

Considerando que o autor da presente demanda é o Ministério Público do Estado de Minas Gerais, as intimações devem ser feitas pessoalmente (artigos 180 e 183, parágrafo 1º, ambos do Código de Processo Civil) e há dispensa do recolhimento de custas processuais, emolumentos, honorários e outros encargos (artigos 18 e 21, ambos da Lei 7.347/1985 e artigo 87 do Código de Defesa do Consumidor).

Finalmente, atribui-se à causa para os fins legais – não obstante inestimável – o valor de R\$ 500.000.000,00 (quinhentos milhões de reais).

Belo Horizonte/MG, 31 de janeiro de 2019.

¹² ADMINISTRATIVO – AÇÃO CIVIL PÚBLICA AJUIZADA PELO MINISTÉRIO PÚBLICO – CONDENAÇÃO DOS RÉUS EM HONORÁRIOS ADVOCATÍCIOS – POSSIBILIDADE – CONVERSÃO DOS VALORES EM FAVOR DO ENTE FEDERATIVO CORRESPONDENTE. O art. 4º do Decreto Estadual n. 2.666/2004 prevê que os honorários advocatícios devidos pela parte vencida, em ação civil pública ajuizada pelo Ministério Público, constituirão o Fundo de Reconstituição de Bens Lesados de que trata o art. 13 da Lei n. 7.347/85. (STJ - RECURSO ESPECIAL Nº 962.530 - SC (2007/0140120-9) – j. 17 de fevereiro de 2009 - Rel. Min. MINISTRO HUMBERTO MARTINS).



MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Luciana Paula

Luciana Imaçulada de Paula

Promotora de Justiça

Coordenadora Estadual de Defesa da Fauna

Andressa de Oliveira Lanchotti

Promotora de Justiça

**Coordenadora do CAOMA e da FT – Rompimento das Barragens do Complexo
Paraopebas em Brumadinho**

Francisco Chaves Generoso

Promotor de Justiça

**Coordenador das Promotorias de Justiças das Bacias do Rio das Velhas e
Paraopebas**

Giselle R. Oliveira

Giselle Ribeiro de Oliveira

Promotora de Justiça

Coordenadora das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural de MG

De: CPPC <cppc@mpmg.mp.br>
Enviada em: quinta-feira, 31 de janeiro de 2019 11:18
Para: Pedro Campany <pedro.campany@vale.com>; valefeijao <valefeijao@sbadv.com.br>; Gustavo Niskier <gustavo.niskier@vale.com>; Bruno Passos <bruno.passos@vale.com>; Humberto Pinheiro <humberto.pinheiro@vale.com>
Cc: Andressa de Oliveira Lanchotti <alanchotti@mpmg.mp.br>; Francisco Chaves Generoso <fgeneroso@mpmg.mp.br>
Assunto: MÁXIMA URGÊNCIA - REQUISICÃO - GESTÃO DE RISCO

Senhores Representantes da empresa Vale S/A.,

para instrução dos inquéritos civil públicos 009016000311-8, 018815000880-6, 046117000001-6 e 046116000321-0, considerando o que dispõe o artigo 129, VI, da Constituição Federal; artigo 26, I e II, da Lei nº. 8.625/93; artigo 67, I, da Lei Complementar Estadual nº. 34/94; artigo 8º, § 1º, da Lei nº. 7.347/85, **requisitar a Vossas Senhorias a apresentação de informações a respeito da metodologia, resultados e ranqueamento obtidos pelo setor de gestão de risco geotécnico (GRG) da empresa Vale S.A.** Requisita informações detalhadas, especialmente o **nome das estruturas dentre da Zona de Atenção / ALARP e nome das estruturas que estão em fase de alinhamento.**

Diante da **URGÊNCIA** do caso, requisita que tal informação seja prestada **no prazo máximo de 1 (uma) hora (até 12h15min do dia 31/1/2019)** em resposta ao presente e-mail.

O Ministério Público adverte que "constitui crime, punido com pena de reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, mais multa de 10 (dez) a 1.000 (mil) Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional - ORTN, a recusa, o retardamento ou a omissão de dados técnicos indispensáveis à propositura da ação civil, quando requisitados pelo Ministério Público".

Atenciosamente,



Giselle Ribeiro de Oliveira
Promotora de Justiça
Coordenadora das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico de Minas Gerais
Rua Timbiras 2941, Andar Térreo
Belo Horizonte - MG
CEP: 30140-062 - Tel.: (31) 3250-4620

De: "Bruno Passos" <bruno.passos@vale.com>
Para: "CPPC" <cppc@mpmg.mp.br>
Cc: "Pedro Campany" <pedro.campany@vale.com>, "valefeijao" <valefeijao@sbadv.com.br>, "Gustavo Niskier" <gustavo.niskier@vale.com>, "Bruno Passos" <bruno.passos@vale.com>, "humberto pinheiro" <humberto.pinheiro@vale.com>, "Andressa de Oliveira Lanchotti" <alanchotti@mpmg.mp.br>, "Francisco Chaves Generoso" <fgeneroso@mpmg.mp.br>
Enviadas: Quinta-feira, 31 de janeiro de 2019 12:47:53
Assunto: ENC: ENC: MÁXIMA URGÊNCIA - REQUISICÃO - GESTÃO DE RISCO

Prezada Dra Giselle,

Boa tarde.

Seguem em anexo documentos em cumprimento à demanda solicitada. Considerando o tamanho dos arquivos, estamos encaminhando parte dos documentos neste email e a outra parte será gravada em um HD externo para entrega em mãos, cuja diligência já está em andamento.

No anexo as apresentações que descrevem a metodologia de cálculo e o resultado das estruturas com maior probabilidade e dentro da Zona de Atenção/Alarp.

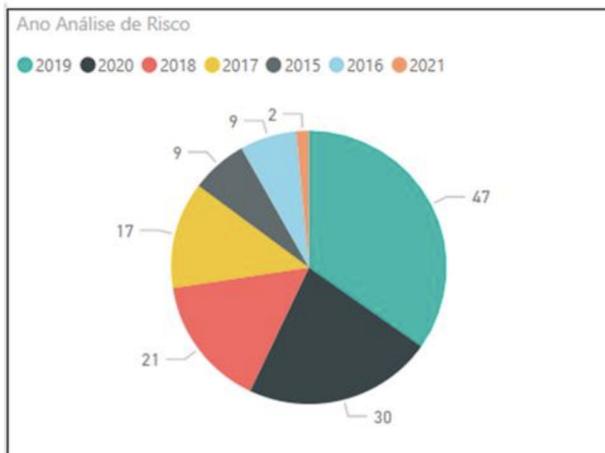
Arquivos enviados:

- Risk Tolerance – Critério de Tolerância e Alarp para priorização dos riscos - Apresentado ao II Painel de Especialistas Internacional Nov/2017
- Resultados do GRG – Apresentado ao III Painel de Especialistas Internacional Out/2018
- Manual GRG – Descrição da Metodologia das análises de Risco para Barragens

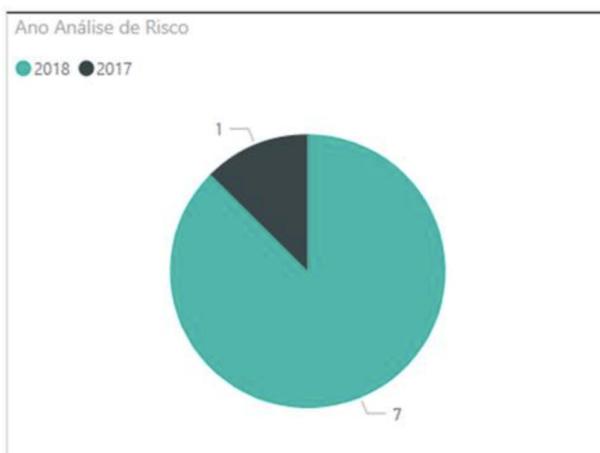
Gestão de Riscos

Análises de Riscos

Total de Análise de Riscos



Revisão Análise de Riscos Anteriores



Bruno Passos

Jurídico - VALE S.A.
Av. Dr. Marco Paulo Simon Jardim, 3580, Mina de Águas Claras.
34006-270, Nova Lima, MG – Brasil.
T. 55 (31) 3916-3462 Carrier 917
Cel. 55 (31) 97156-3712



Foto: Itabiruçu

GRG – Geotechnical Risk Management Results

Felipe Figueiredo Rocha

Assinado eletronicamente. A Certificação Digital pertence a:
GISELLE RIBEIRO DE OLIVEIRA (assinado em 01/02/2019)

03/10/2018

Peça de ID: 60842464
(Documentos comprobatórios) pág. 1 de 43

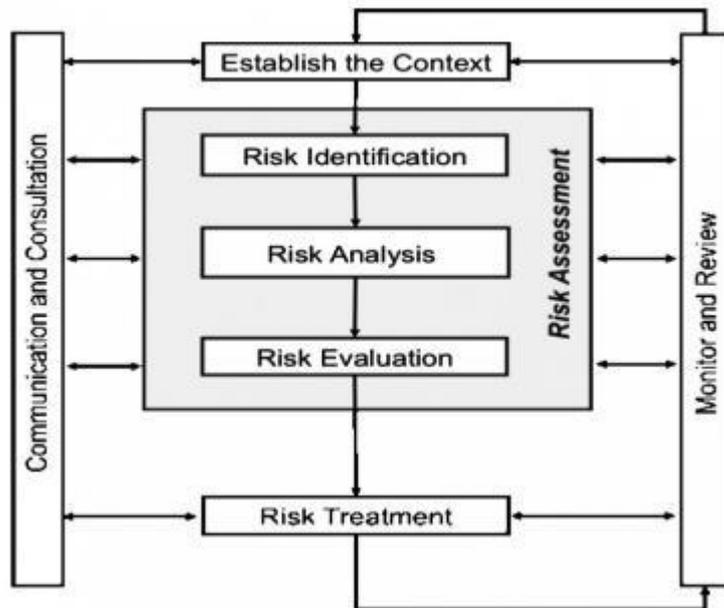


1. Introduction
2. Risk Analysis Status
3. Integration GRG and Corporate Risk (GRN)
4. Results Analysis and Discussion
5. Closing Remarks

Introduction

Geotechnical Risk Management in VALE (GRG)

Vale has developed a quantitative risk analysis methodology, which is a *benchmark* in the mineral sector, to improve the process of geotechnical risk evaluation, and to act preventively in dam safety



The GRG methodology allows the calculation of failure probability and the associated cost of the

assinado eletronicamente. A Certificação Digital pertence a:
GISELLE RIBEIRO DE OLIVEIRA (assinado em 01/02/2019)

NÚCLEO MINAS GERAIS HOMENAGEIA VENCEDORES DO PRÊMIO JOSÉ MACHADO NO DIA 10/10

segunda-feira, 01 de outubro de 2018

[Twitter](#) [Curir](#)

comentários

Brazilian Association of Soil Mechanics (ABMS) Project Award



Com o intuito de prestar seu reconhecimento aos vencedores do Prêmio José Machado da ABMS, que concede o melhor Projeto Geotécnico do Biênio 2016 – 2018, o Núcleo Minas Gerais da entidade irá promover uma cerimônia especial no dia 10 de outubro, a partir das 18h, em Belo Horizonte, com a presença dos autores do projeto. As inscrições para participar do evento são gratuitas e exclusivas aos associados ABMS e convidados, mas as vagas são limitadas.

"A escolha do trabalho vencedor da última edição do Prêmio José Machado consolida um novo modelo de Gestão de Riscos Geotécnicos", conta o presidente do Núcleo, Gustavo Vianna. "A cerimônia é uma formalização do reconhecimento da importância deste projeto".

O Prêmio José Machado foi entregue durante o XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (Cobramseg 2018), em Salvador, na Bahia. O projeto vencedor foi "O Estudo de Caso da Barragem de Itabiruçu – Gestão de Risco Geotécnico de Barragens de Rejeito", dos autores André Pacheco de Assis (ex-presidente da ABMS), Arsenio Negro Junior (ex-presidente da ABMS), Felipe Figueiredo Rocha, Makoto Namba, Marilene Cristina Lopes e Marlísio Oliveira Cecílio Jr.

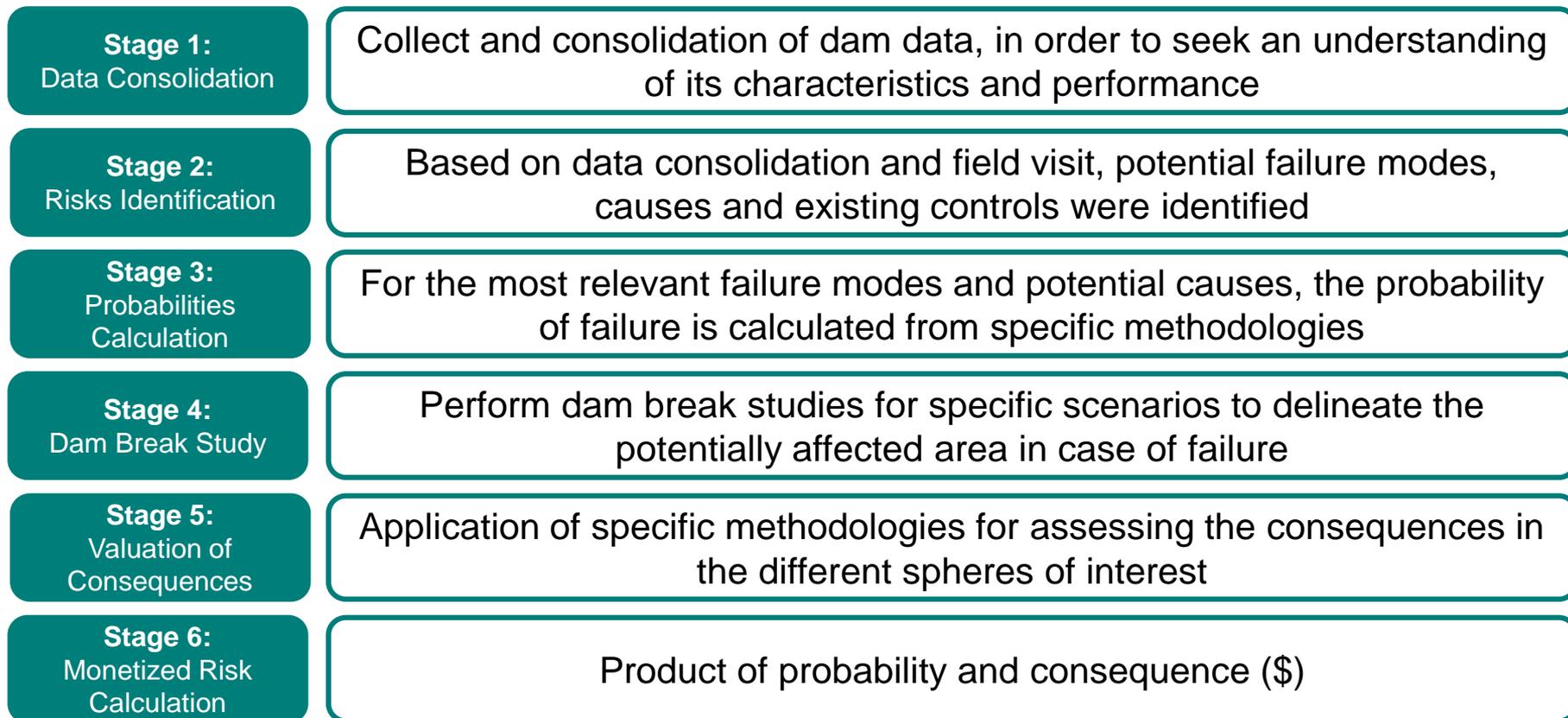
"Estamos seguros que o caminho escolhido pela VALE, de analisar os riscos geotécnicos em um modelo detalhado e robusto de prognóstico e tratá-los em um alto nível de governança, faz toda diferença para as operações da empresa e para a sociedade", declara Marilene Lopes, coautora do trabalho vencedor e Gerente de Gestão de Riscos Geotécnicos da VALE. "Esse prêmio é motivo de orgulho para toda Geotécnia da VALE, pois reconhece esse trabalho que vem sendo desenvolvido há mais de 7 anos na empresa".

Apesar de a entrega oficial do Prêmio ter acontecido durante o Cobramseg 2018, para Gustavo Vianna, muitos não tiveram a oportunidade de conhecer mais sobre o projeto vencedor. "Por isso teremos uma palestra que irá abordar alguns dos aspectos mais interessantes deste trabalho, além de podermos confraternizar com os autores", garante.



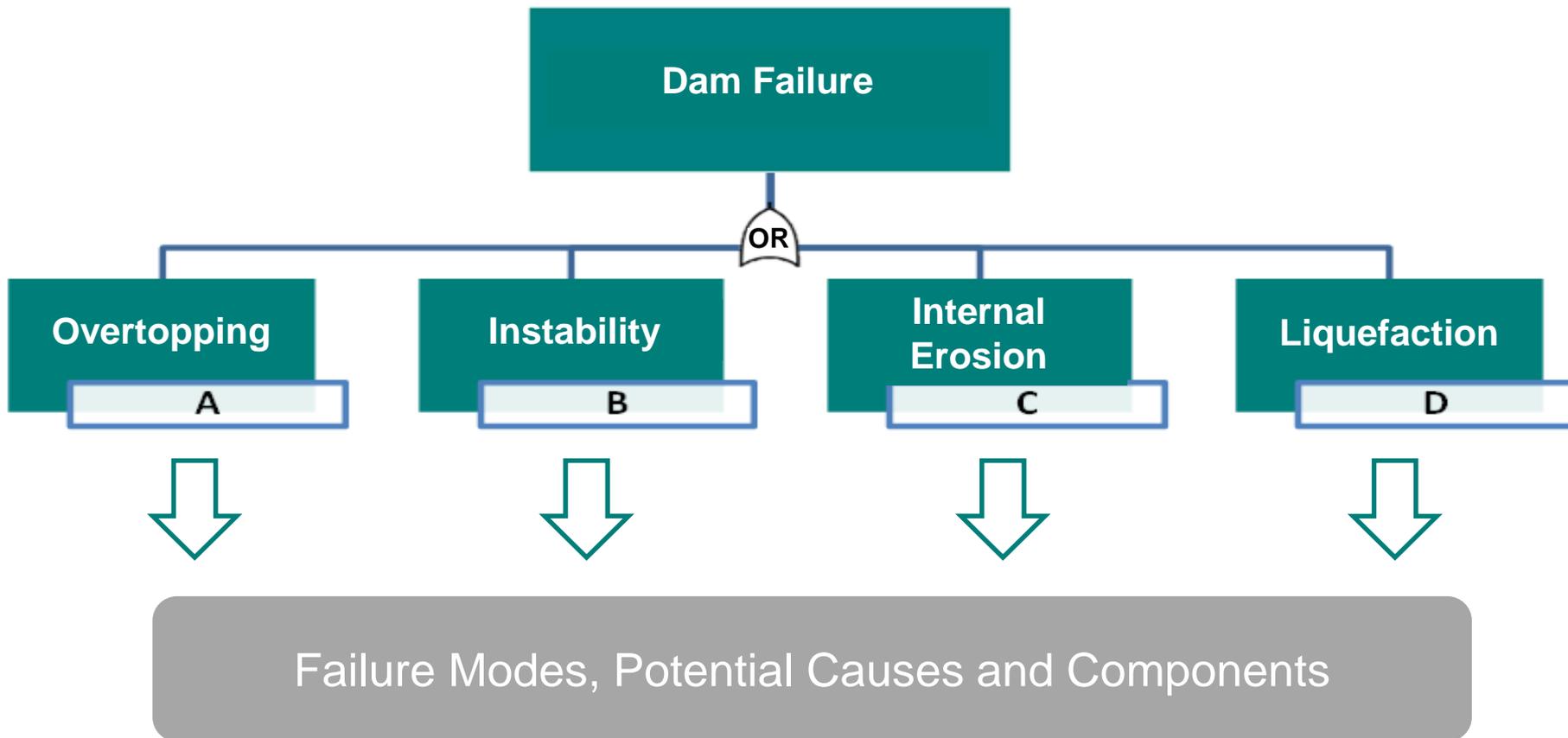
Geotechnical Risk Management

Risk Framework Stages



Risk Identification

Failure Modes – Adapted from Taguchi (2014)



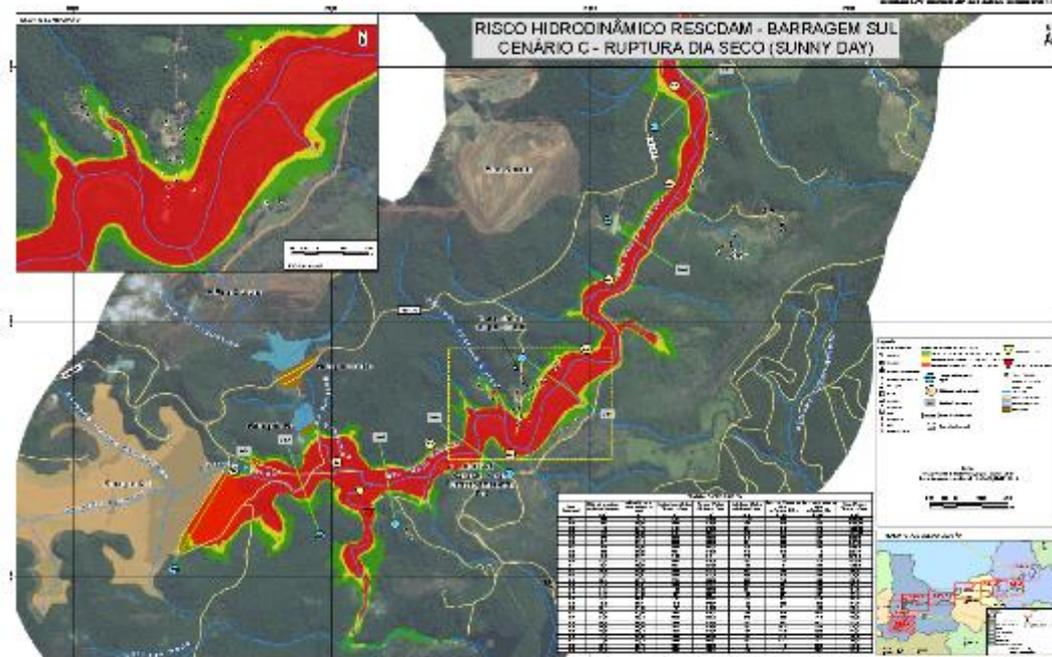
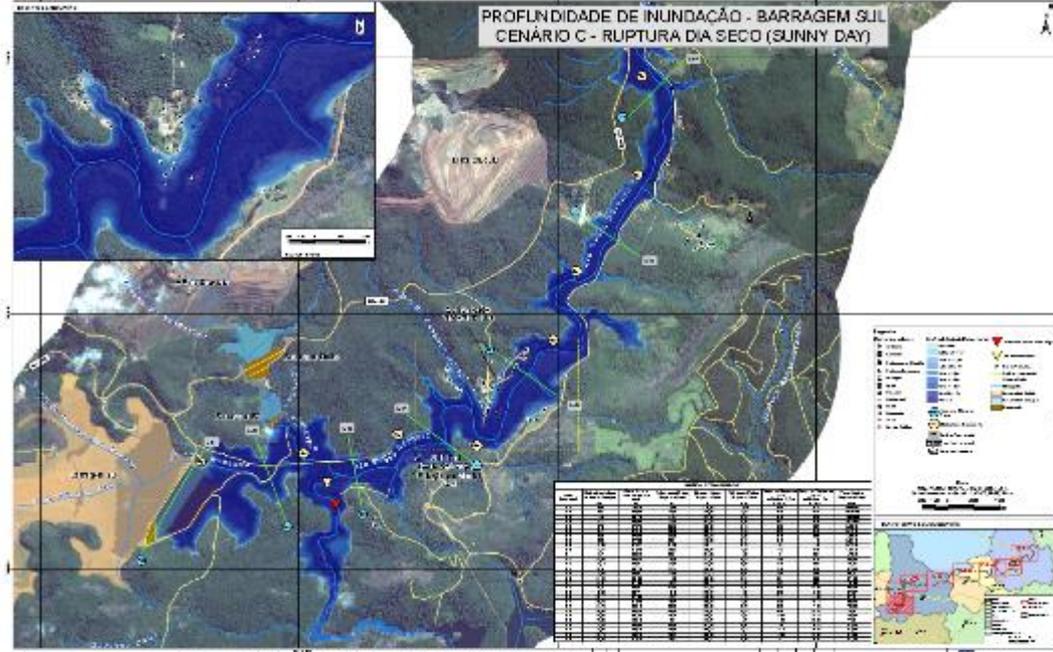
Risk Analysis

Probabilities



Risk Analysis

Dam Break – Inundation Mapping and Life Loss Evaluation



| Localidade | População | Área (ha) | Profundidade (m) | Risco |
|------------|-----------|-----------|------------------|-------|
| ... | ... | ... | ... | ... |

Assinado eletronicamente. A Certificação Digital pertence a:
GISELLE RIBEIRO DE OLIVEIRA assinado em 01/02/2019



Risk Analysis

Consequences

SPHERES OF CONSEQUENCES



Healthy and
Safety



Environment



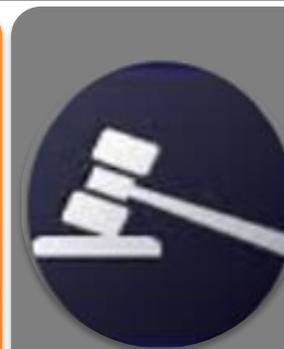
Economic
Direct
&
Indirect



Company's
Image



Social



Regulatory
Authorities



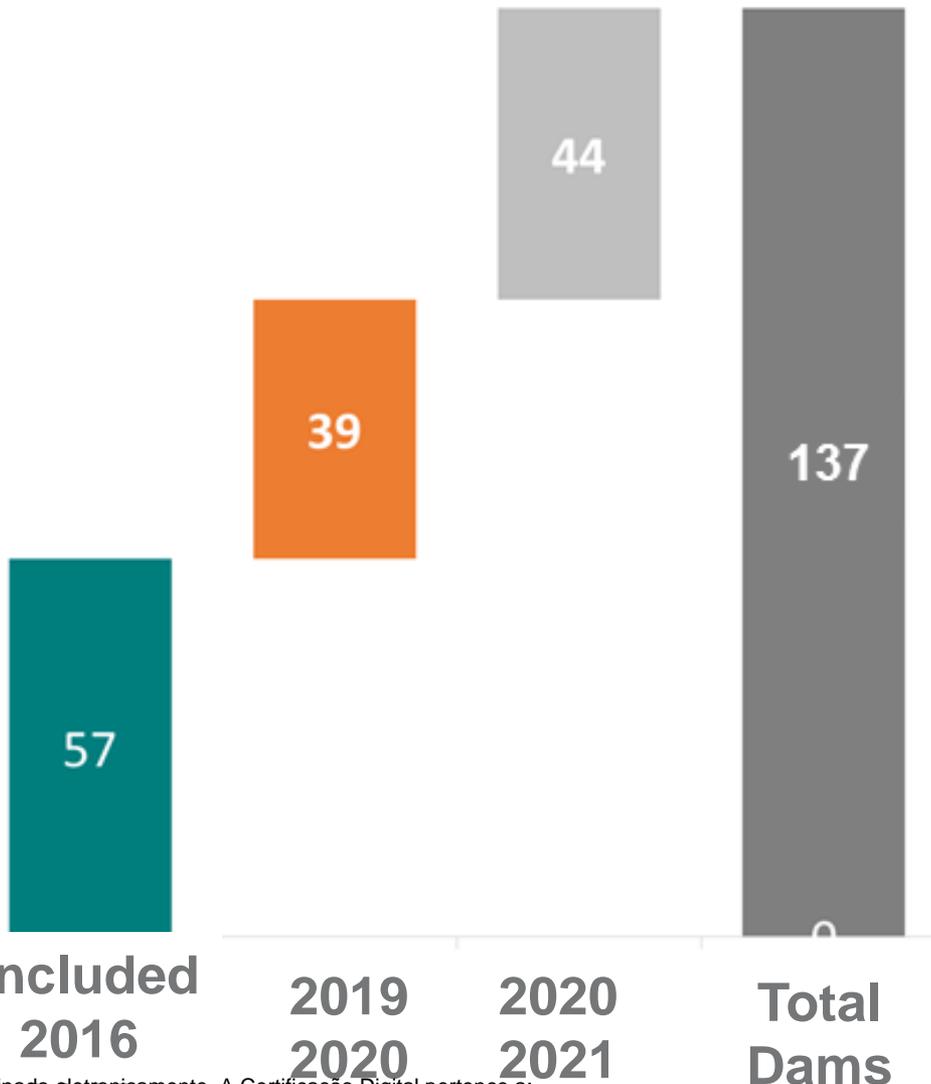
Risk Analysis Status

NUMBER OF DAMS WITH RISKS ANALYSIS

All Quantitative Risk Analysis for High Hazard Potential have been concluded with the exception of Bacia 07-08 Pé da Serra, Marés I, Barnabé, Dique II e III da Mina Abóboras.

Summary of Concluded Risk Analysis

*53 High Hazard Potential
3 Significant Hazard Potential
1 Low Hazard Potential*



Concluded
2016

2019
2020

2020
2021

Total
Dams

A large, stylized number '3' is positioned on the left side of the page. It is composed of two thick teal strokes. The top stroke forms the upper curve and the vertical stem, while the bottom stroke forms the lower curve. The number is set against a white circular background that is partially visible on the left edge of the page.

Integration GRG and Corporate Risk (GRN)

RISK MAP VALE

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|------------------------------------|
| Historical Data CURRENT | Executive Director DIR EXEC FERROSOS CARVAO LOG | Business Unit Carvão Moatize, EFVM, Ferrosos Centro Oeste, F... | Total of Risk 381 |
|-----------------------------------|---|---|------------------------------------|

| | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|---|--|
| Strategic 31 | | | | | | Finance 5 | | |
| Governance 7 | | Business Model 4 | | External Environment 20 | | Credit 4 | Market 4 | Liquidity 1 |
| Image and Reputation | Sustainability and Social Responsibility 2 | Market and Competition 3 | Mergers, Acquisitions and Divestments | Change in Demand 1 | Government Change 2 | Concentration | Currencies 1 | Opportunity cost |
| Unethical Conduct and Conflict of Interest 1 | Organizational Structure and Culture | Budget and Planning | Projects and Investments | Blockings, Vandalism and Terrorism 8 | Social Media | Warranties and Defaults | Hedging / Derivatives | Availability of Capital and Cash Flow 1 |
| Capital Structure and Controlling Interest | Communication and Disclosure | Intellectual Property | Associated Companies and JVs 1 | Geopolitic | Licensing, Concessions and Mining Right 3 | | Interest Rates 2 | Insurance Coverage |
| Stakeholders Relationship 4 | Goals Conflicting with Strategy | Innovation, Research and Development | Mineral Exploration | Laws and Regulations 6 | Macroeconomic Scenario | | Commodities 1 | |
| Operational 308 | | | | | | Cybernetic 26 | Compliance 11 | |
| Production Processes / Support 216 | | | Human Resources 4 | Health, Safety and Environment 88 | | Technology and Information 26 | Adherence to Internal Rules and Regulations 11 | |
| Inventory and Warehouses | Sales / Commercial 1 | Purchases 4 | Training and Retention 1 | Waste, Effluents and Emissions 23 | Accidents with People 4 | Cyber Attack 23 | Corruption and Sanctions 1 | Tax and Fiscal 2 |
| Production Flow Railways and High 47 | Mineral Production 15 | Outsourcing and Partnership 2 | Staff Dependency / Succession | Dams 48 | Natural Disasters 4 | Operation / Automation 2 | Financial and Accounting Reports | Socio-Environmental 5 |
| Production Flow Ports and Shipping | Mobile Assets Management and Maintenance Equipment and Ma 135 | Losses with Contractual Obligations | Unions Relationship 3 | Availability of Water and Energy Resource 9 | Climate Changes | Architecture | Litigation 1 | Labor, Health and Safety |
| Operational Capacity 9 | Non-Mobile Assets Management & Maintenance: Plants and Facilities 2 | Products and Services Failure | | | | Information Security 1 | Fraud 1 | Adherence to Policies and Standards 1 |
| | | | | | | | Antitrust | |

Risks Discussed with the Executive Risk Committee, Executive Board and Advisory Board

CORPORATE TOLERANCE – CONSEQUENCES AND PROBABILITY

Tolerance Map - Current

| Dimension | Low | Moderate | Severe | Critical | Catastrophic | N/A | Likelihood / Vulnerability | |
|----------------------------------|--|---|--|---|---|-----|----------------------------|--|
| Finance | < US\$ 1M 8 | US\$ 1M - US\$ 10M 41 | US\$ 10M - US\$ 100M 123 | US\$ 100M - US\$ 1B 80 | > US\$ 1B 10 | 71 | Frequent | It is estimated that the event/consequence could occur several times per year (e.g. once or more per month). 0 |
| Environment | Environmental impact restricted to the limit of the enterprise, without adverse effects to the environment. 79 | Significant environmental impact, reaching external areas, without adverse effects to the environment. 32 | Significant environmental impact, reaching external areas with a remediation period of up to 3 years 33 | Significant environmental impact, reaching external areas with remediation period between 3 years and 6 years 6 | Significant environmental impact, reaching external areas with a remediation period of more than 6 years 1 | 182 | Likely | Very harmful environment and/or there are several missing or inadequate controls. The occurrence of the event/consequence over a one-year time horizon is almost certain. 5 |
| Reputational | Regional / national impact: There is usually regional public interest, wide repercussion in the regional media, some coverage in the national media and regional political attention. 116 | National repercussion: National media coverage, repercussions with strategic government authorities. Possible reactions of workers' unions and social networks. 21 | National and international repercussions. National and international media coverage, with measures restrictive to the business. Possible reactions of workers' unions and social networks. 50 | Condemnation of NGOs / international media. Revocation of a single license. Significant impact on the stock price / credit assessment; adverse reactions of strategic political authorities 14 | Prolonged repercussion in the international media / condemnation of NGOs. Multiple licenses revoked; product boycott; mass manifestations; adverse reactions from strategic government authorities 0 | 132 | Occasional | Harmful environment and/or there are some missing or inadequate controls. It is estimated that the event/consequence could occur in a 1 to 10 year timeframe. 9 |
| Social & Human Rights | Regional impact (one or more municipalities) without affecting physical integrity and without the need for urgent remediation. 54 | Punctual impact (a person or a family), without affecting physical integrity, but in need of urgent remediation. 23 | Local (neighborhood, community) or regional impact (one or more municipalities), without affecting physical integrity, but in need of urgent remediation. 23 | Punctual impact (a person or a family), affecting physical integrity. 8 | Local (neighborhood, community) or regional impact (one or more municipalities), affecting physical integrity. 7 | 218 | Unlikely | Little harmful environment and/or there is a satisfactory level of preventive controls in place. It is estimated that the event/consequence could occur in a 10 to 100 year timeframe. 14 |
| Occupational Health | Severe reversible effects. 28 | Irreversible effects. 7 | Risk of life or disabling diseases. 8 | Risk of life or disabling diseases in a group of more than 5 people at risk. 0 | Risk of life or disabling diseases in a group of more than 20 people at risk. 0 | 290 | Rare | Non harmful environment and/or there are adequate and sufficient controls. It is estimated that the event/consequence could occur once every 100 years or longer. 5 |
| Safety | Incidents with remoteness. 24 | Permanent incapacitating incidents or 01 (one) fatality. 56 | Incident resulting in fatality with more than one person exposed to risk. 86 | Incident resulting in fatality in a group of more than 5 people exposed to risk. 10 | Incident resulting in fatality in a group of more than 20 people exposed to risk. 3 | 154 | | |

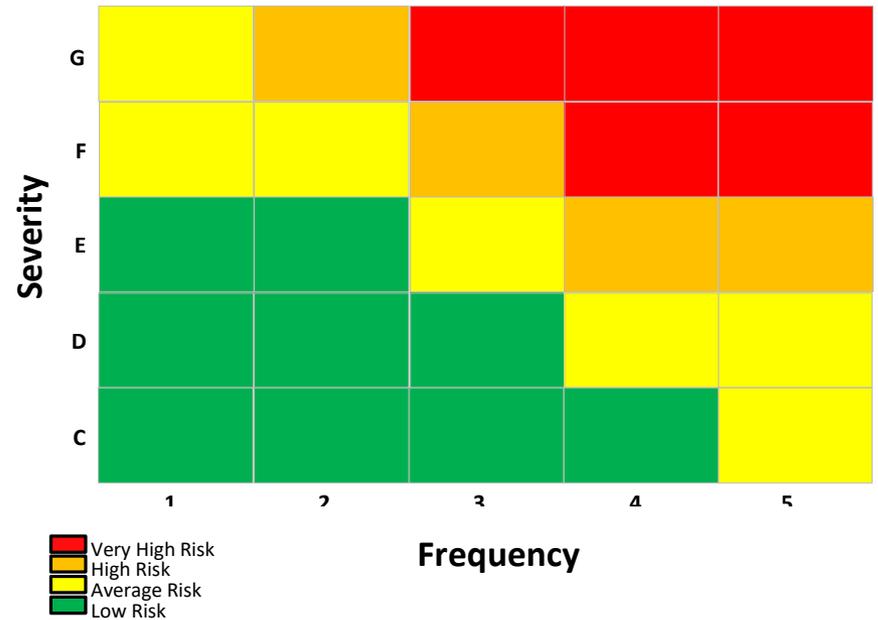
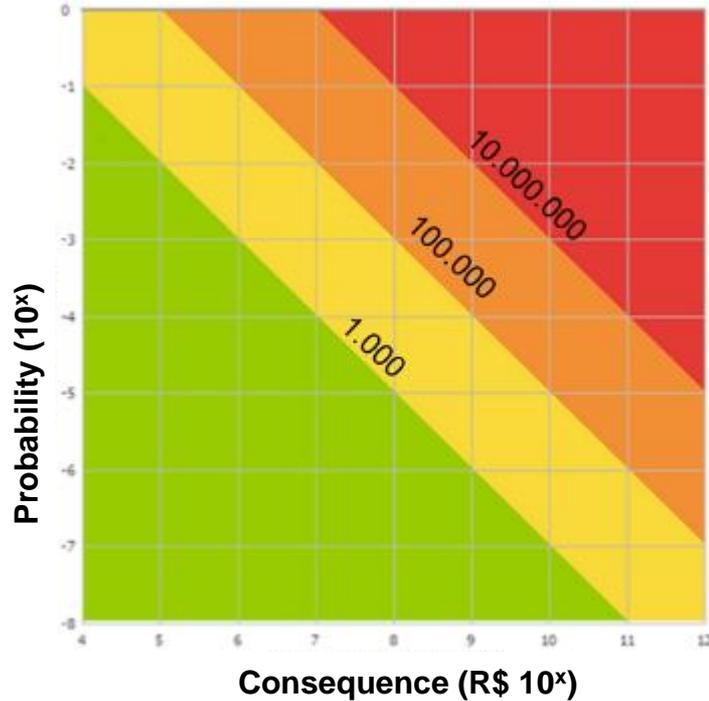
* Dam risks are not prioritized using Tolerance Map. These will be analyzed in Risk Matrix.

0 Events under validation by owners

Risk Impacts Risk Events



GRG MAPPING CRITERIA → CORPORATE RISK QUANTITATIVE TO QUALITATIVE

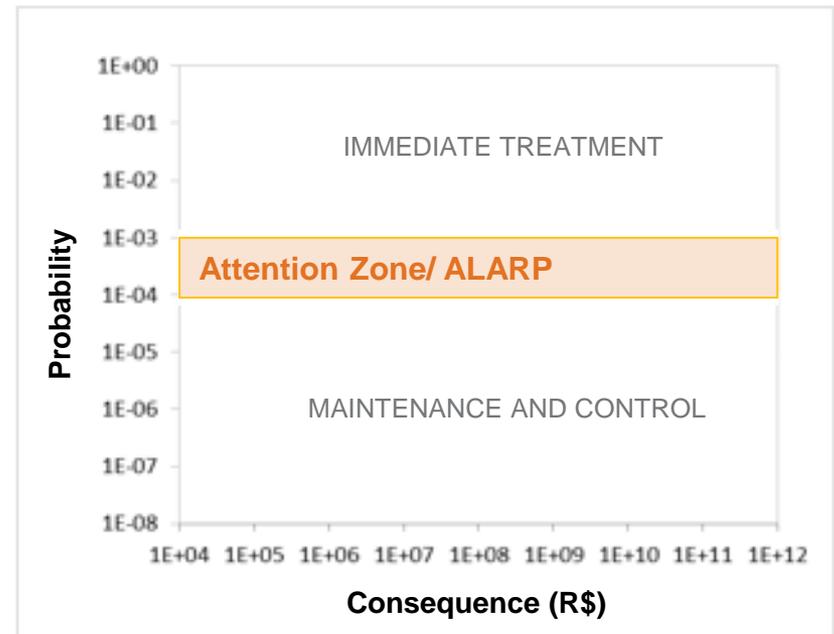


| | |
|---------------------|----------------------------|
| Rare (1) | $P \leq 10^{-4}$ |
| Unlikely (2) | $10^{-4} < P \leq 10^{-3}$ |
| Casual (3) | $10^{-3} < P \leq 10^{-2}$ |
| Likely (4) | $10^{-2} < P \leq 10^{-1}$ |
| Frequent (5) | $P \geq 10^{-1}$ |

GRG TOLERANCE CRITERIA - PROBABILITY

The results of the risk analysis are materialized in a Probability x Consequence graph. The graph also delimits an Attention Zone / Risk ALARP.

- **Attention Zone / ALARP** defined for the interval of probability of dam failures between $1E-03$ and $1E-04$, equivalent to events with probability of occurrence of 1 / 1,000 years and 1 / 10,000 years.
- In the ALARP Zone it should be ensured that all prevention and mitigation controls are being applied and that a reduction in probability is not feasible in the short term.



CORPORATE DAMS RISK CONTROLS – STANDARD AGREEMENT

Preventive Controls

- External dam safety audit
- Periodic review of dam safety
- External risk analysis
- Field inspections (internal, external, cross)
- Instrumentation and monitoring procedure
- Operational
- Preventive maintenance
- Corrective maintenance
- Statement of stability condition (External Audit)
- Statement of stability condition (External Periodic Review)
- Control of ALARP

Mitigation Controls

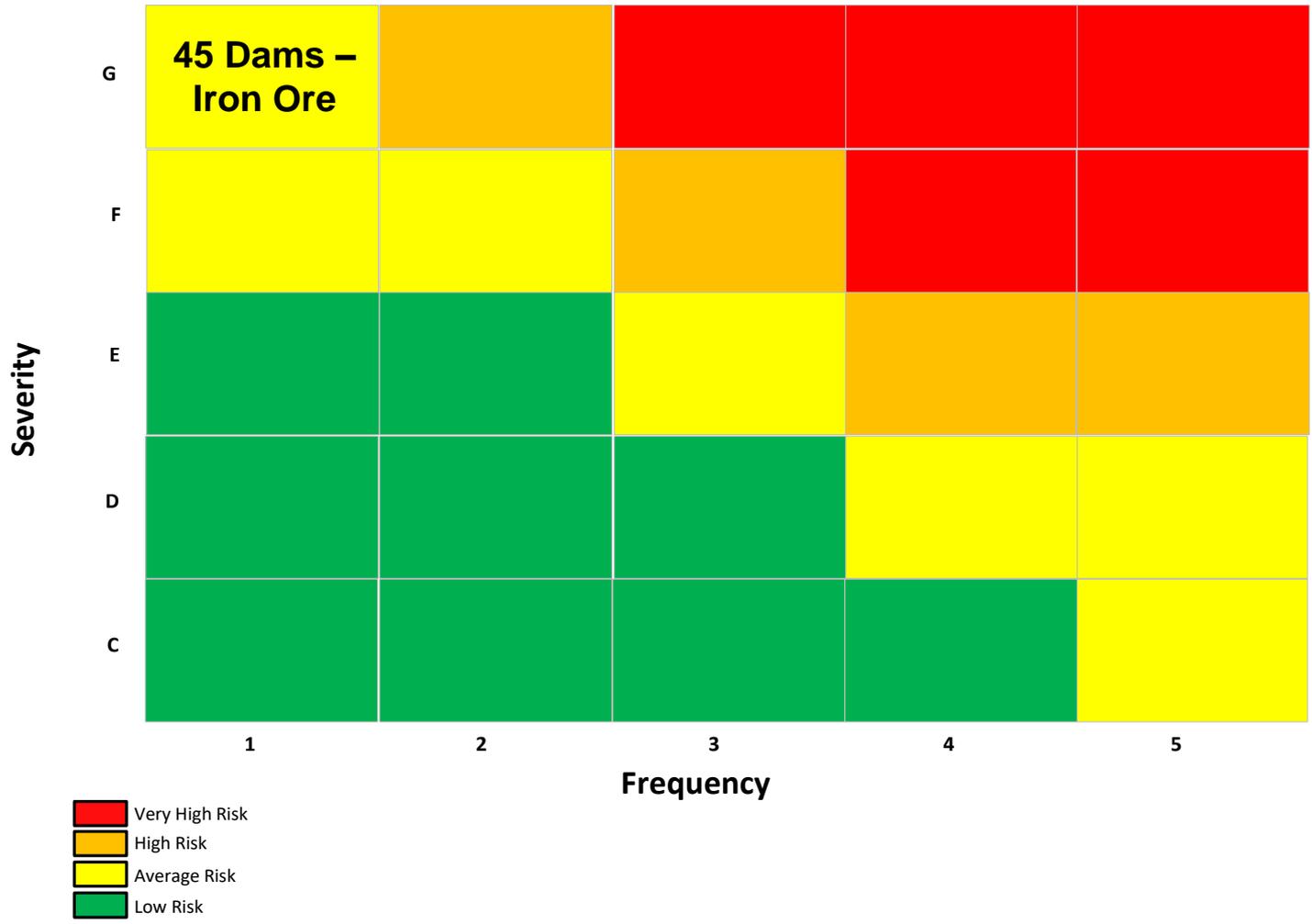


- Emergency response plan (ERP)
- Crisis management plan
- Business Continuity Plan
- Alert system in auto rescue zone
- Management of the support plan for civil defense preparedness and communities

RISK MANAGEMENT – CORPORATE FOLLOW-UP



RISK MANAGEMENT – CORPORATE FOLLOW-UP

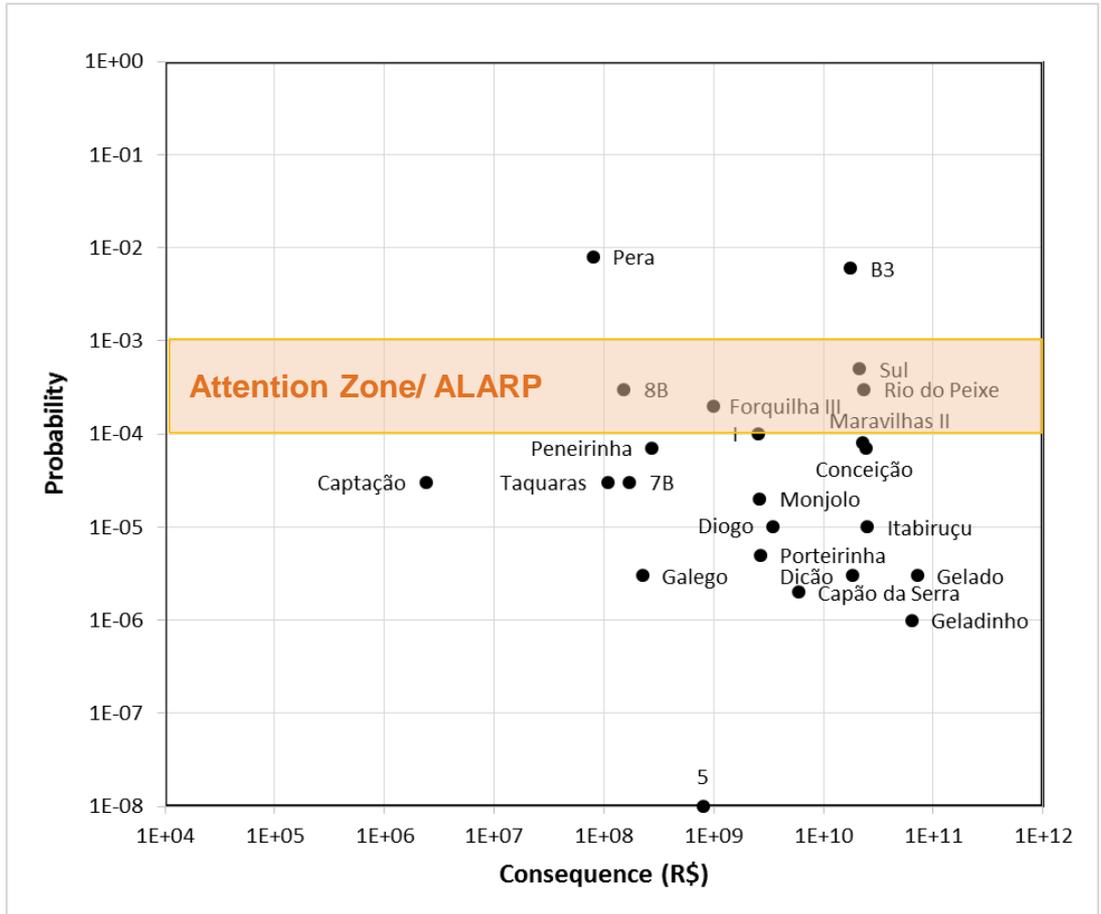


Results Analysis and Discussion

PANEL OF INTERNATIONAL EXPERTS

NOVEMBER / 2017 (23 DAMS)

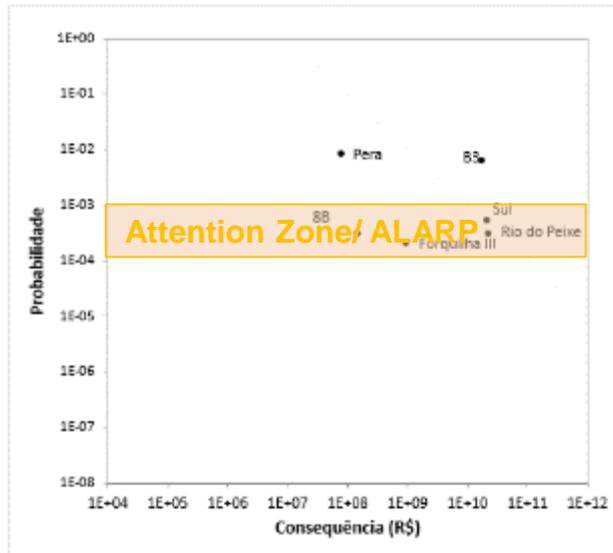
- 2 dams above the ALARP Zone
- 4 dams inside ALARP Zone



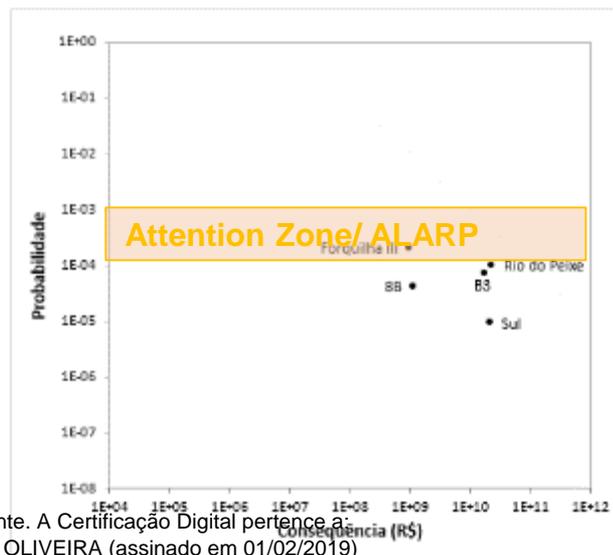
GRG – GEOTECHNICAL RISK MANAGEMENT

Following the Panel of International Experts in November / 2017, the following actions were proposed to reduce risks of dams with probability in ALARP Zone and above.

Before



After

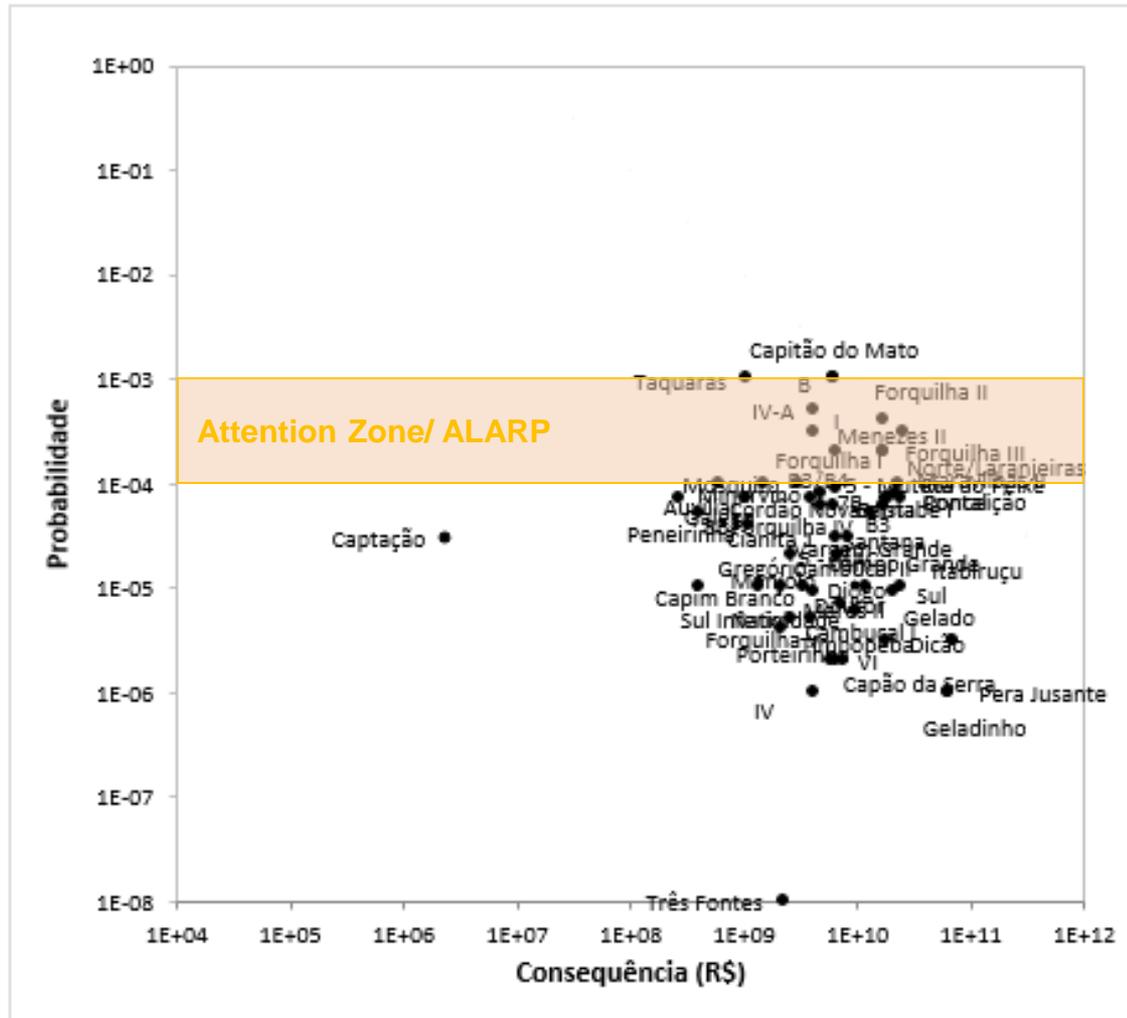


- **Pera:** decommissioning of the structure with elimination of risk. **Concluded**
- **B3, Sul, 8B:** conduction of new laboratory test and confirmation of some uncertainties with revision of resistance parameter values. **Concluded – Risk reduction**
- **Rio do Peixe:** dredging of the reservoir increasing the available volume for flood routing and review of studies. **Concluded – Risk reduction**
- **Forquilha III:** Need to review the risk analysis after the Dam Safety Review and finalization of the reinforcement work. **On going works**

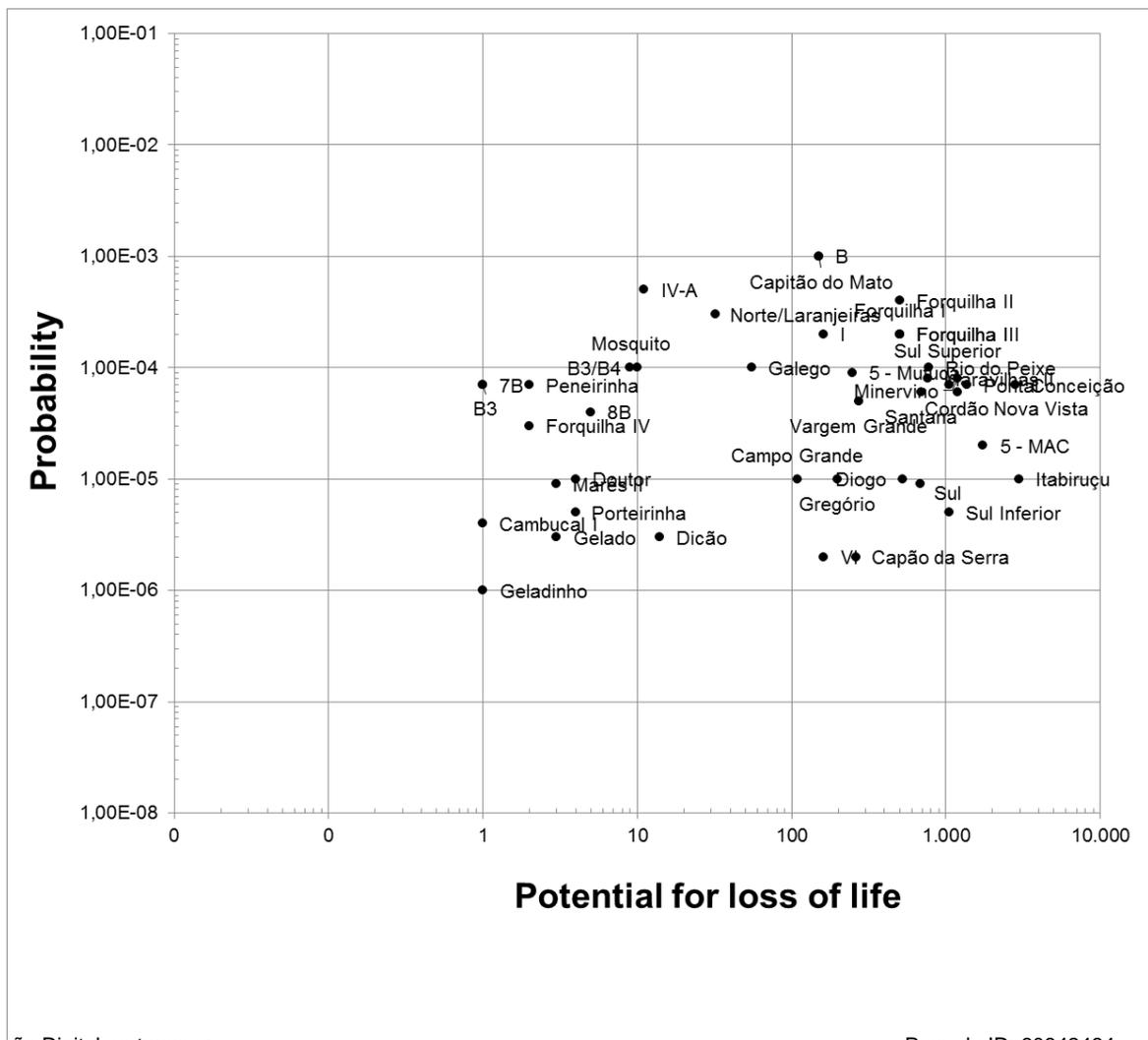
OVERVIEW GRG – OCTOBER / 2018 (57 DAMS)

- 10 dams inside ALARP Zone

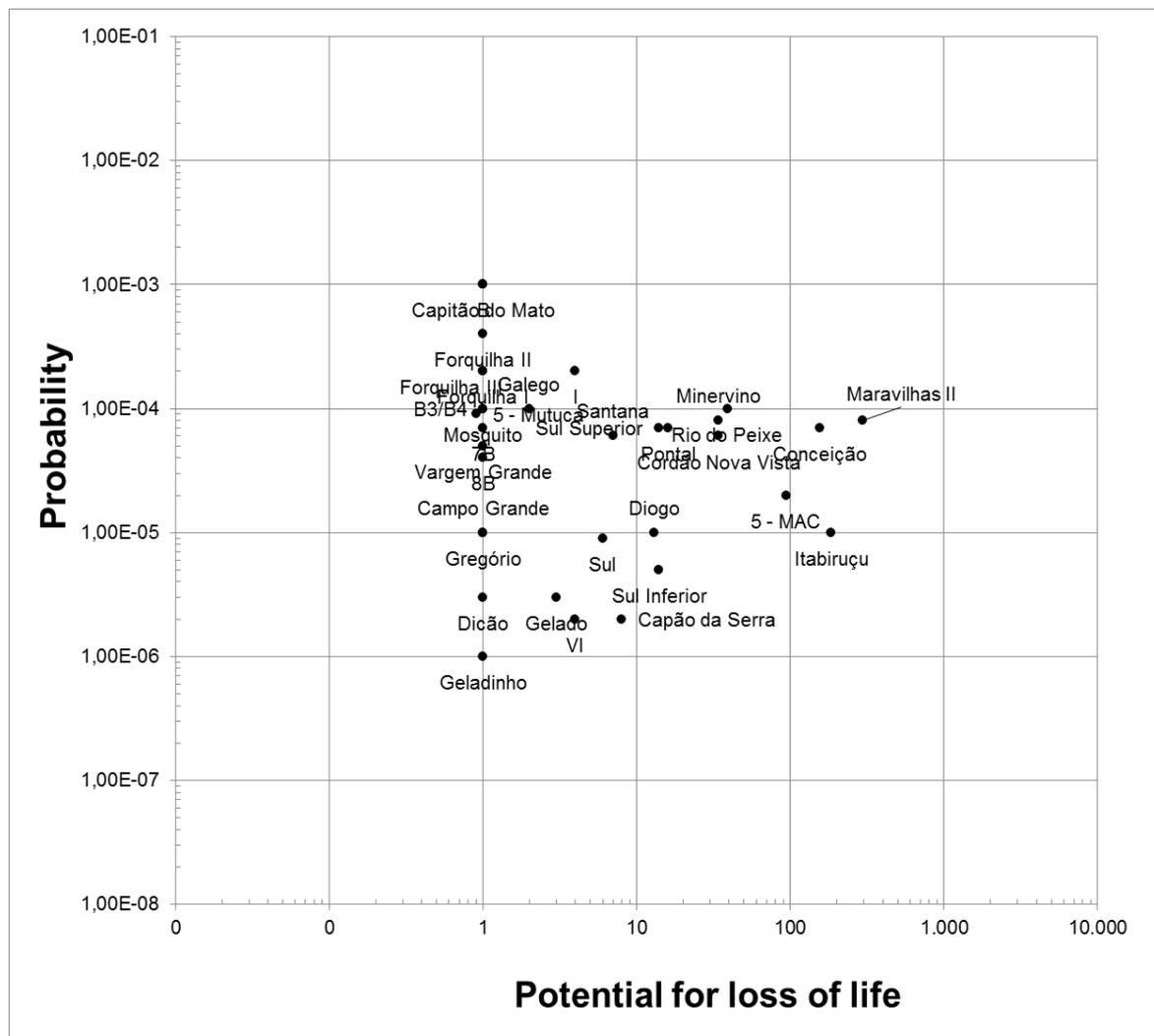
Note: The graph represents the highest risk per dam



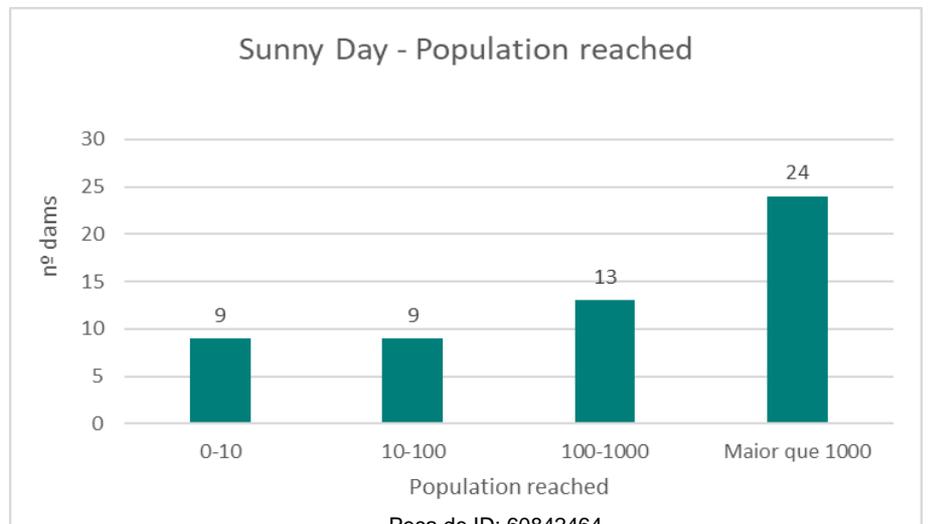
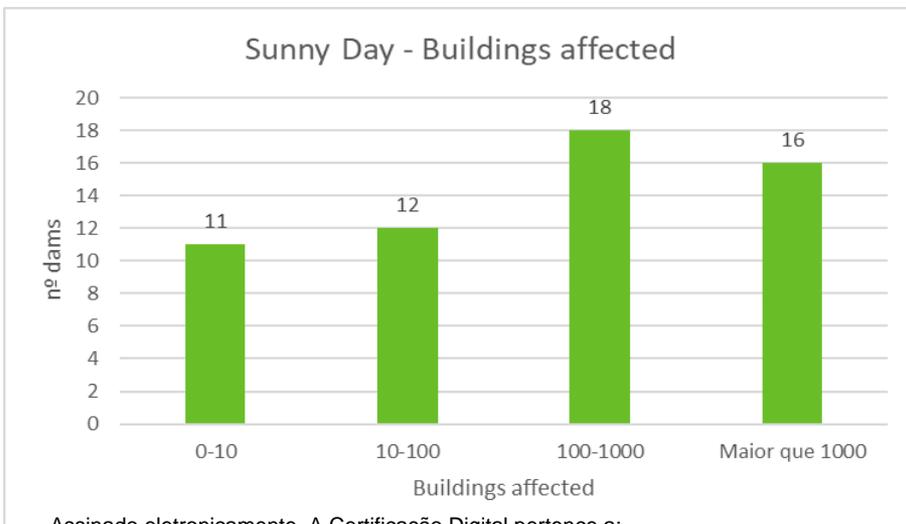
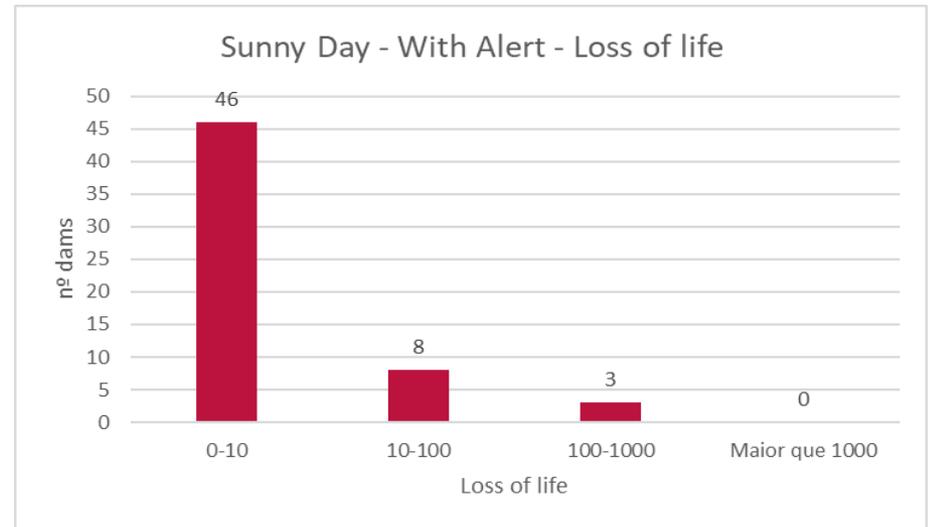
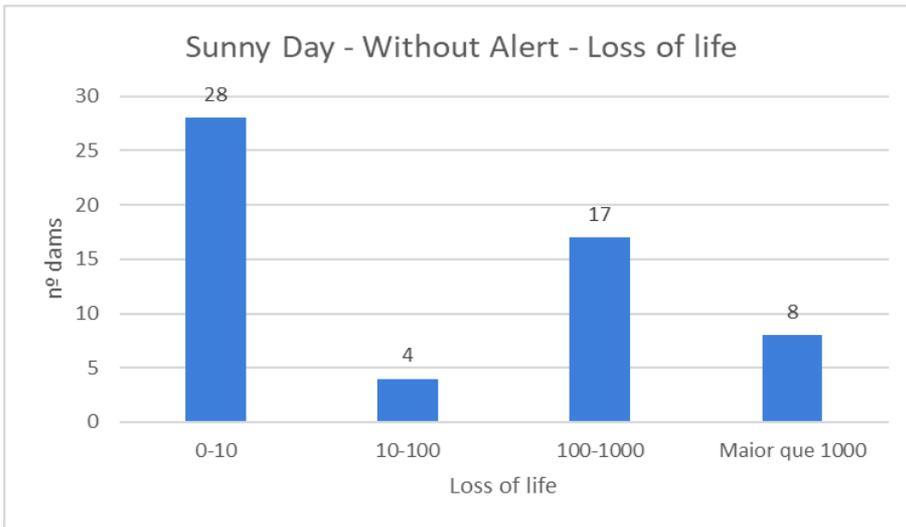
POTENCIAL FOR LOSS OF LIFE – WITHOUT ALERT



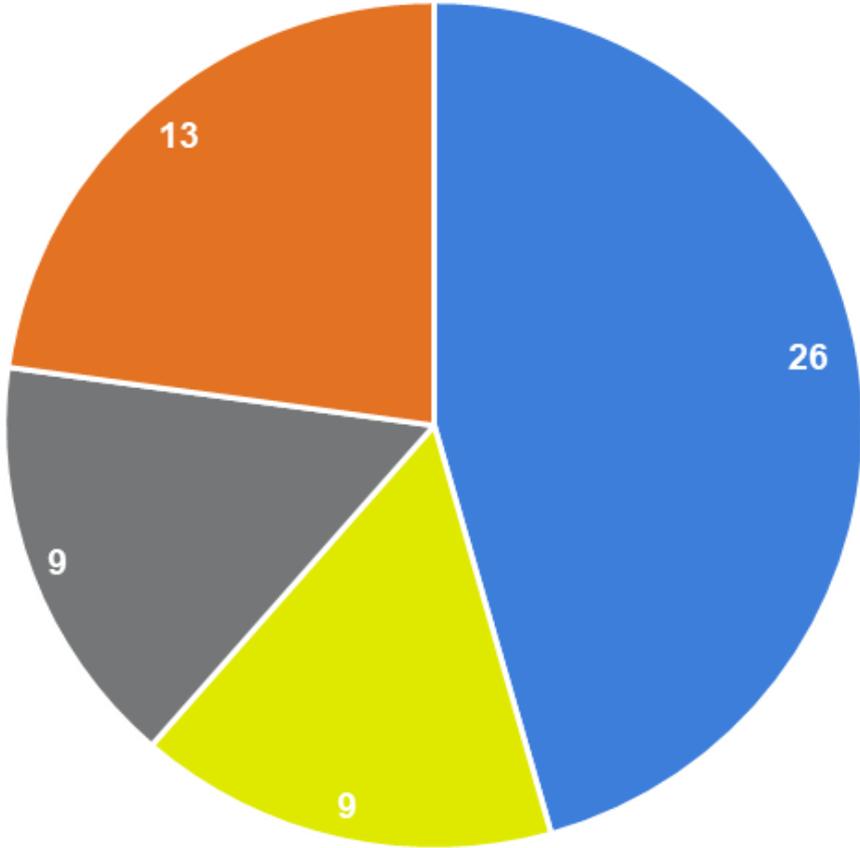
POTENCIAL FOR LOSS OF LIFE – WITH ALERT



OVERVIEW GRG – OCTOBER / 2018 - Potential for loss of life, buildings and population affected



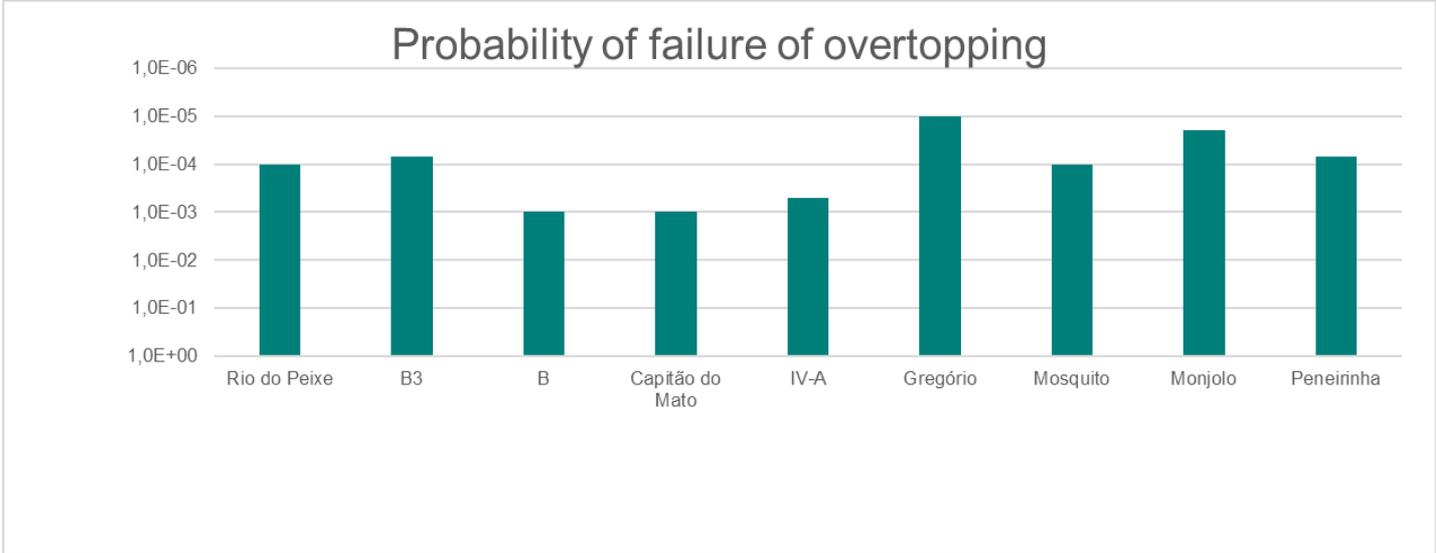
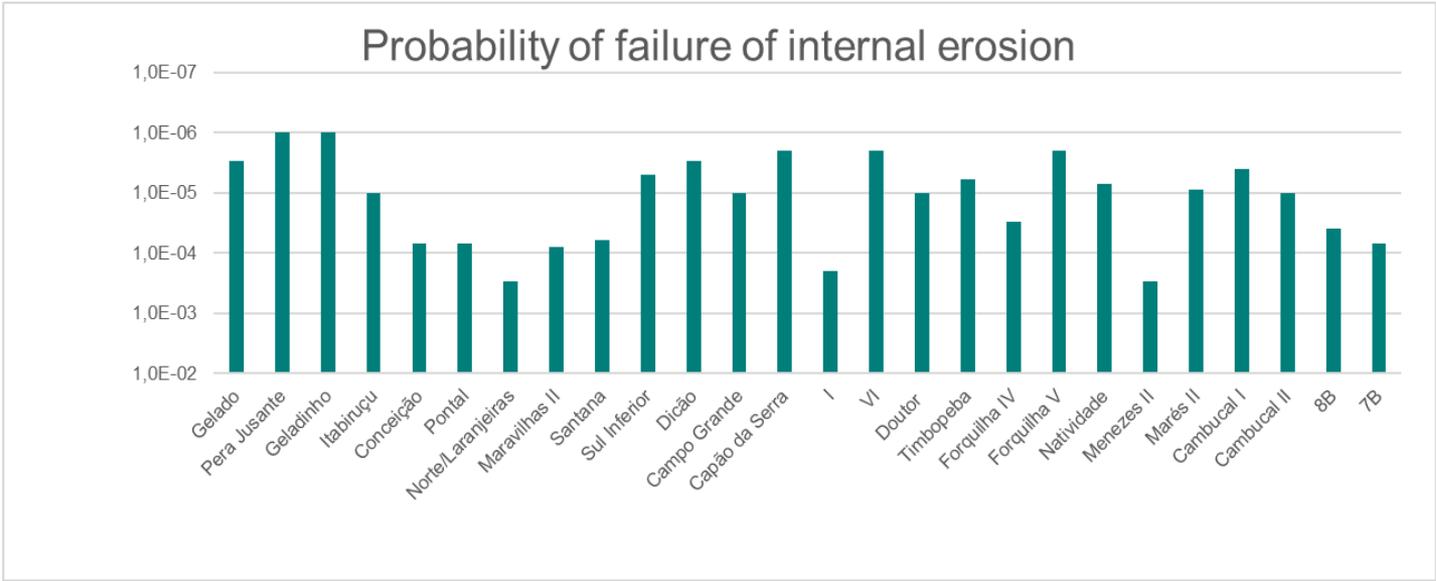
FAILURE MODES THAT RESULTED IN THE HIGHEST FAILURE PROBABILITY



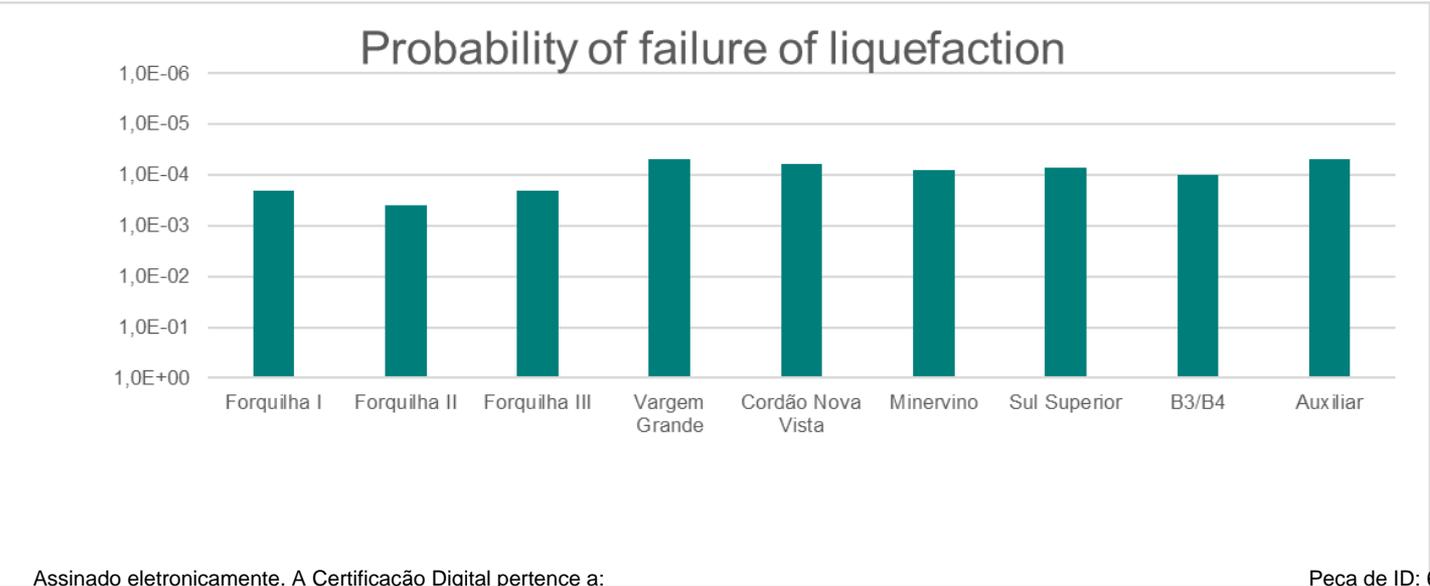
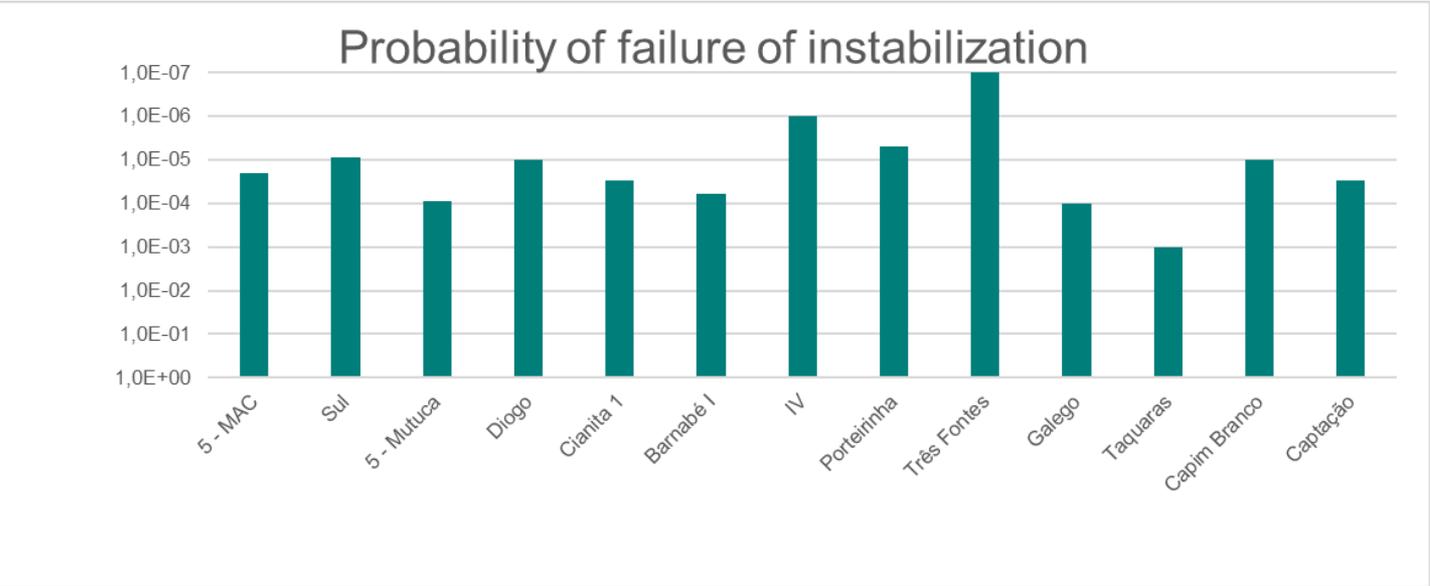
■ Internal Erosion ■ Liquefaction ■ Overtopping ■ Instabilization



OVERVIEW GRG – OCTOBER / 2018 - PROBABILITIES



OVERVIEW GRG – OCTOBER / 2018 - PROBABILITIES

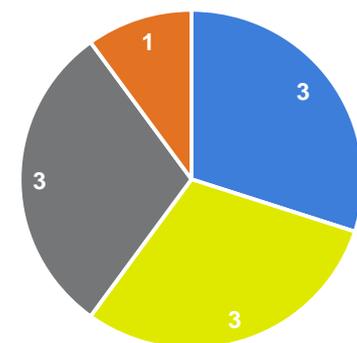


Note: Of the 14 dams susceptible to liquefaction, 9 dams present liquefaction as the major failure mode probability



PROBABILITY AND CONSEQUENCE OF DAMS INSIDE ALARP ZONE

| Dam | Failure Probability | Consequence US \$ (Billion) | Failure Mode | Risk US \$ (Million) |
|-------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Capitão do Mato | 1E-03 | \$ 1,50 | Overtopping | \$ 1,5 |
| B | 1E-03 | \$ 1,50 | Overtopping | \$ 1,5 |
| Taquaras | 1E-03 | \$ 0,30 | Instabilization | \$ 0,3 |
| IV-A | 5E-04 | \$ 1,10 | Overtopping | \$ 0,6 |
| Forquilha II | 4E-04 | \$ 4,30 | Liquefaction | \$ 1,7 |
| Menezes II | 3E-04 | \$ 1,10 | Internal Erosion | \$ 0,3 |
| Norte/Laranjeiras | 3E-04 | \$ 6,40 | Internal Erosion | \$ 1,9 |
| Forquilha I | 2E-04 | \$ 4,30 | Liquefaction | \$ 0,9 |
| Forquilha III | 2E-04 | \$ 4,30 | Liquefaction | \$ 0,9 |
| I | 2E-04 | \$ 1,50 | Internal Erosion / Liquefaction | \$ 0,3 |



■ Internal Erosion
 ■ Liquefaction
 ■ Overtopping
 ■ Instabilization

DAMS WITH PROBABILITY INSIDE ALARP ZONE

Capitão do Mato: overtopping for precipitation events associated with 1,000-year flood. **Probability: 1×10^{-3} .** Evaluate possible actions to reduce the likelihood of overtopping. 3D hydraulic models of the spillway with the definition of an alternative for increasing the discharge capacity of the structure.

Taquaras: downstream slope instability. **Probability: 1×10^{-3} .** Realization of new in situ and laboratory tests during the As Is project. **(discuss the results with the geotechnical operational team)**

Dique B: overtopping for precipitation events associated with 1,000-year flood. **Probability: 1×10^{-3} .** The downstream channel of the emergency extravasor should be constantly monitored, especially after precipitation events. **Develop decommissioning project.**

IV-A: overtopping for 2,000-year flood. **Probability: 5×10^{-4} .** Accept the risk and apply ALARP concept

Forquilha I: liquefaction by seismic trigger. **Probability: 2×10^{-4} .** Review the seismic loading assessment (in progress).

Forquilha II: liquefaction by seismic trigger. **Probability: 4×10^{-4} .** Review the seismic loading assessment (in progress).

DAMS WITH PROBABILITY INSIDE ALARP ZONE

Forquilha III: static liquefaction. **Probability:** 2×10^{-4} . **Dam Decommissioning Design of the reinforcement works**

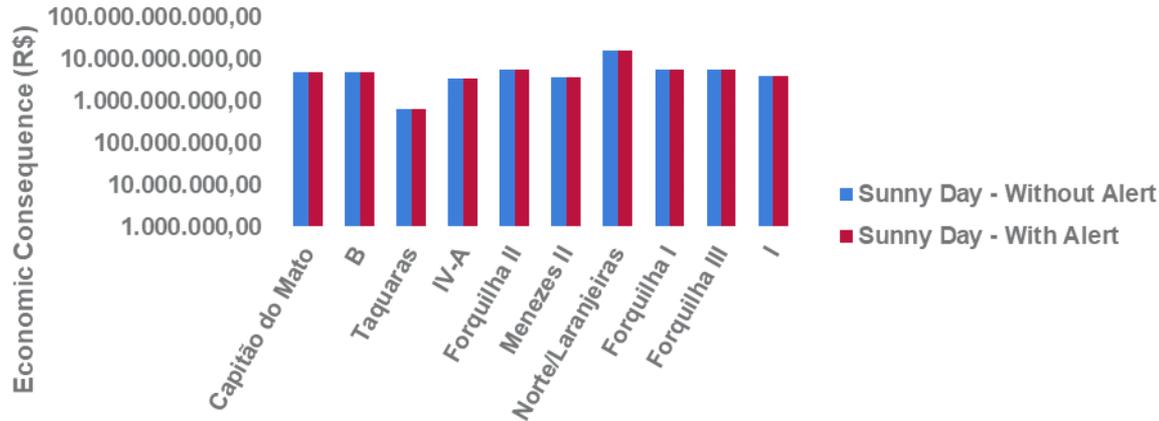
Norte Laranjeiras: internal erosion on the left abutment. **Probability:** 3×10^{-4} . **Review the probability of the internal erosion failure mode after the conclusion of the inverted filter and foundation characterization**

Menezes II: internal erosion by concentrated flow along an existing buried gallery in the embankment, which functioned as the old extravasor system. **Probability:** 3×10^{-4} . **Review in progress to incorporate the filter that was concluded on the exit of internal drainage.**

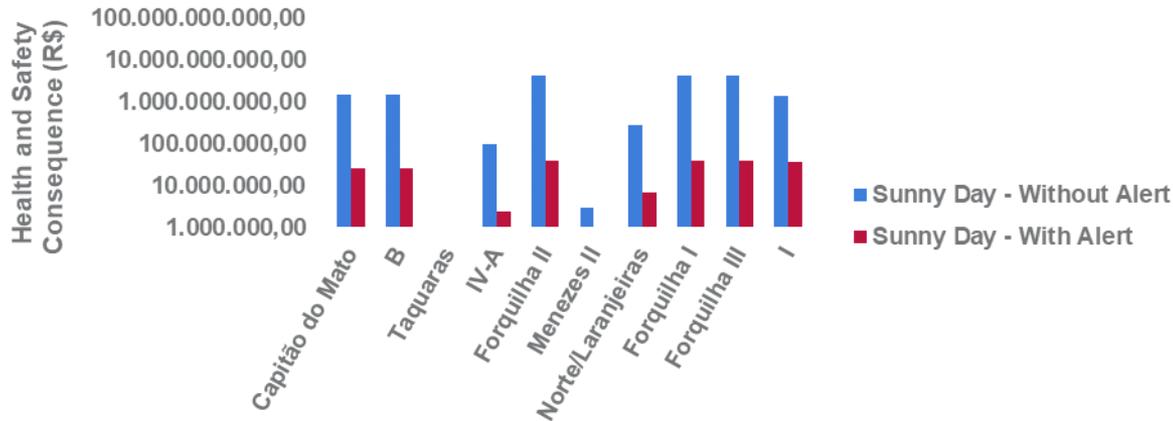
Barragem I: static liquefaction and internal erosion **Probability:** 2×10^{-4} . **Decommissioning work.**

CONSEQUENCES OF DAMS INSIDE ALARP ZONE

Economic Consequence

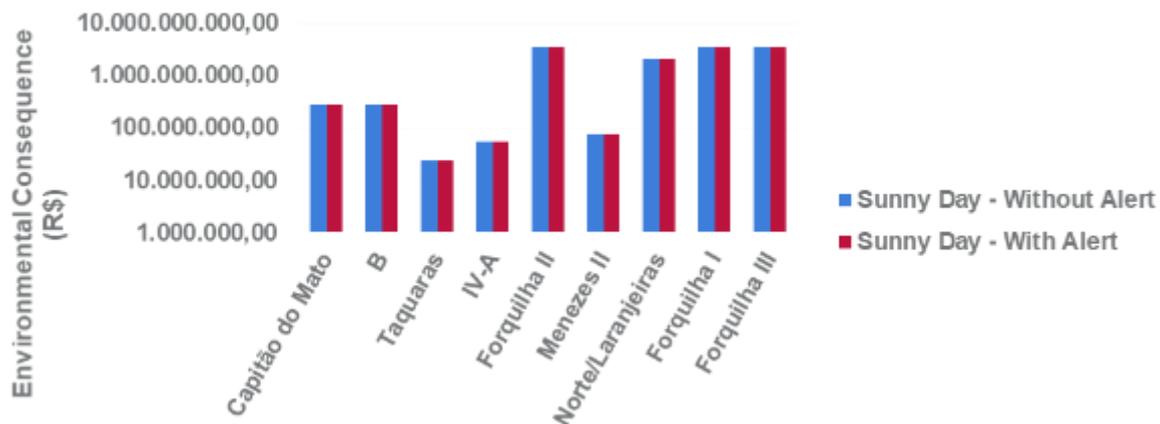


Health and Safety Consequence

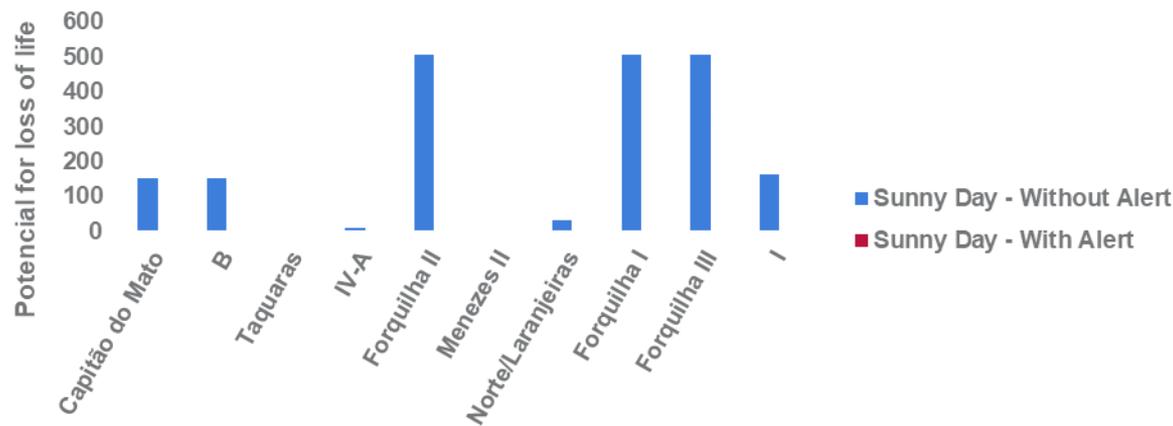


CONSEQUENCES OF DAMS INSIDE ALARP ZONE

Environmental Consequence



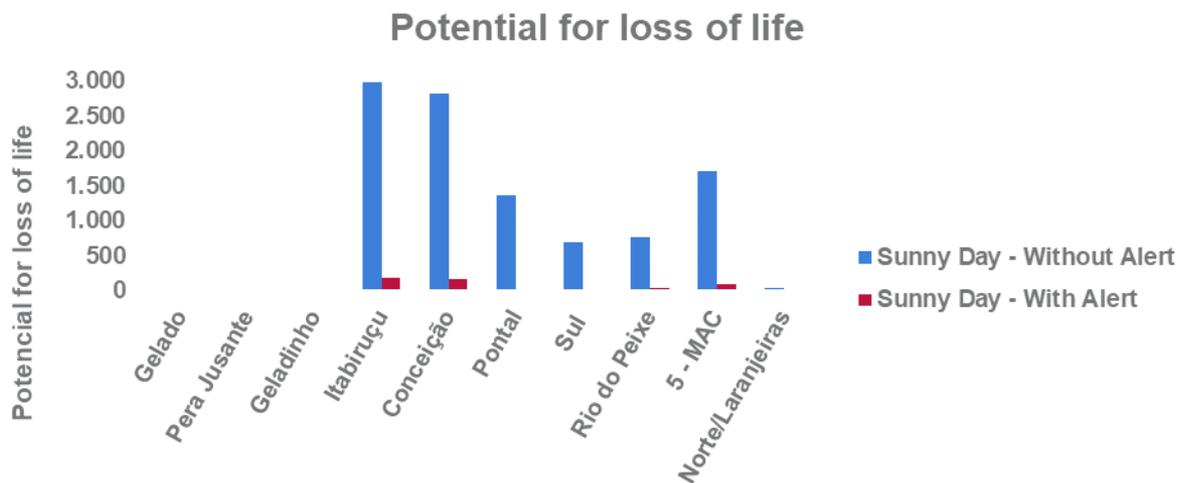
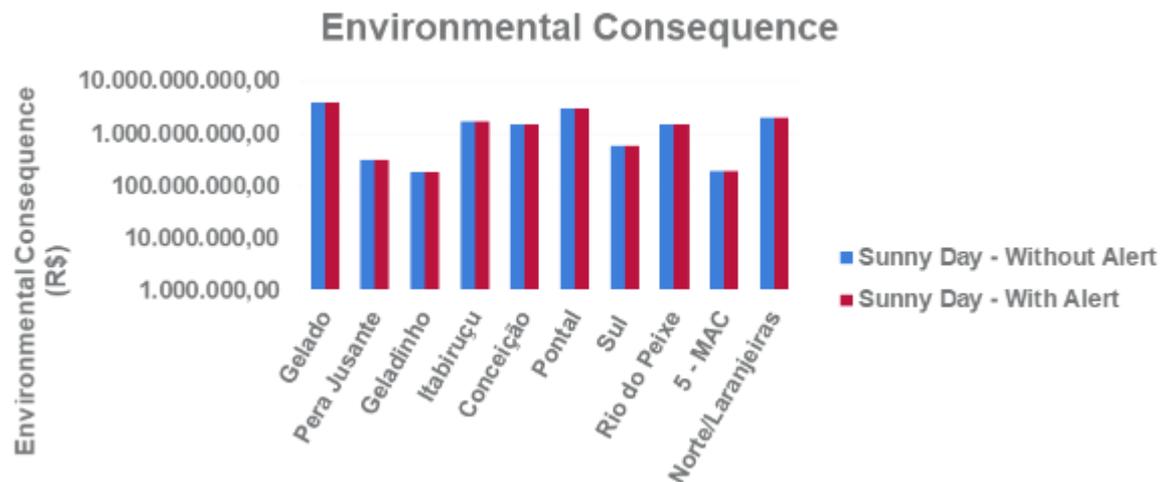
Potencial for loss of life



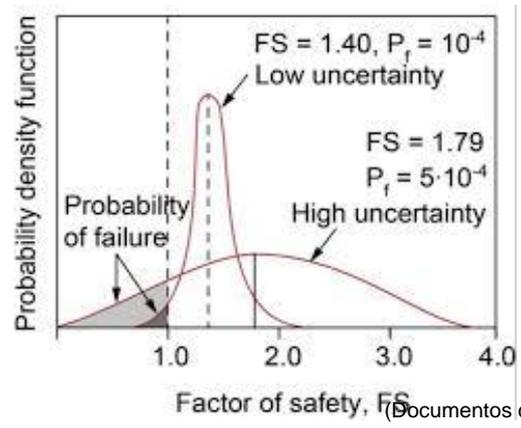
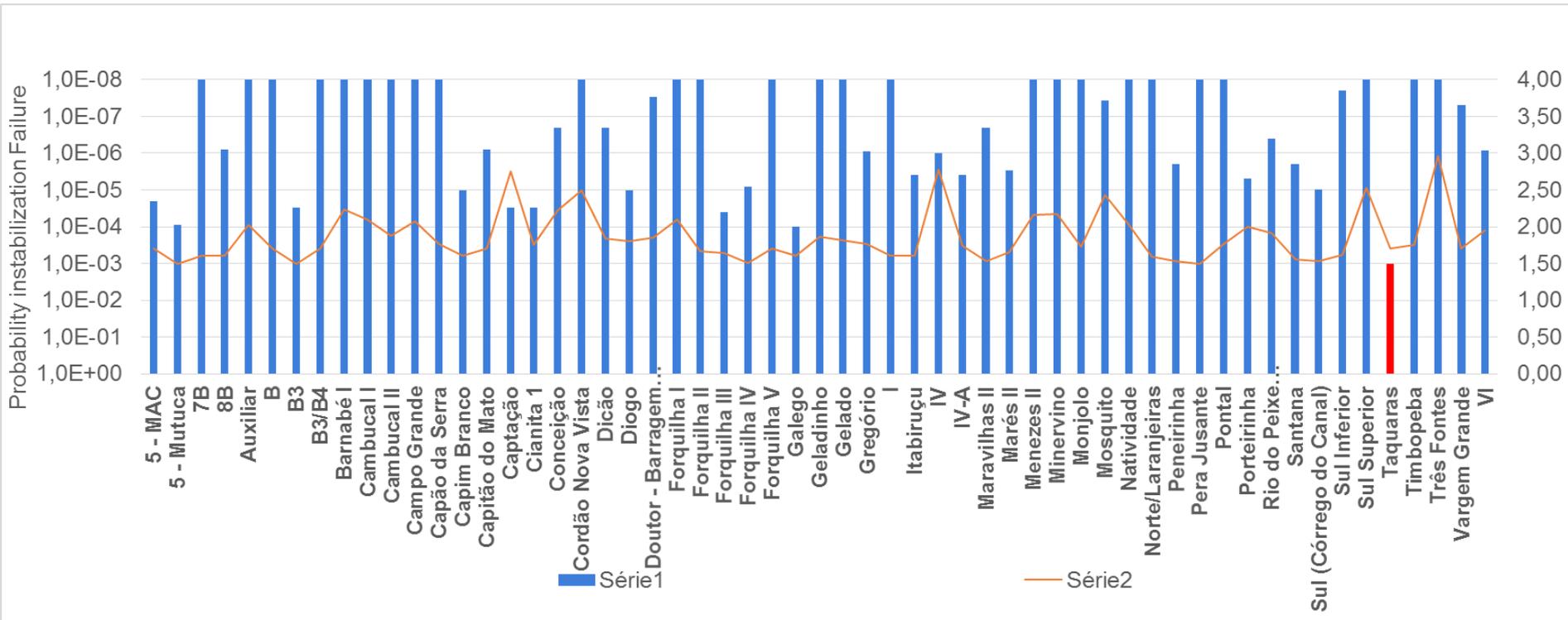
TOP 10 – CONSEQUENCE – WITHOUT ALERT

| Dam | Probability | Consequence US \$ (Billion) | Failure Mode | Risk US \$ (Million) |
|-------------------|-------------|-----------------------------|------------------|----------------------|
| Gelado | 3E-06 | \$ 17,9 | Internal Erosion | \$ 0,1 |
| Pera Jusante | 1E-06 | \$ 16,4 | Internal Erosion | \$ 0,0 |
| Geladinho | 1E-06 | \$ 16,0 | Internal Erosion | \$ 0,0 |
| Itabiruçu | 1E-05 | \$ 12,5 | Internal Erosion | \$ 0,1 |
| Conceição | 7E-05 | \$ 12,0 | Internal Erosion | \$ 0,8 |
| Pontal | 7E-05 | \$ 7,7 | Internal Erosion | \$ 0,5 |
| Sul | 9E-06 | \$ 7,5 | Instabilization | \$ 0,1 |
| Rio do Peixe | 1E-04 | \$ 7,5 | Overtopping | \$ 0,7 |
| 5 - MAC | 2E-05 | \$ 7,1 | Instabilization | \$ 0,1 |
| Norte/Laranjeiras | 3E-04 | \$ 6,8 | Internal Erosion | \$ 2,0 |

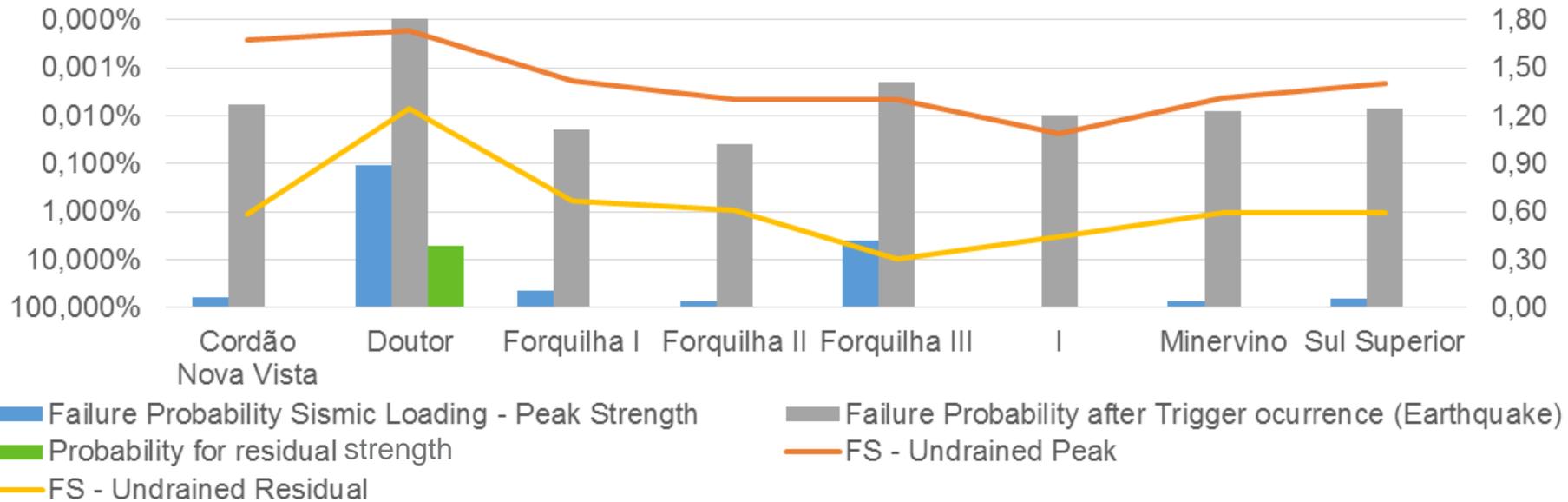
TOP 10 – CONSEQUENCE – WITHOUT ALERT



SAFETY FACTOR x PROBABILITY OF INSTABILIZATION (57 DAMS)



LIQUEFACTION PROBABILITY WITH TRIGGER x LIQUEFACTION WITHOUT TRIGGER



Total Seismic Horizontal acceleration 0,09 g (including amplification 3,5)

Vertical acceleration 0,04 g

Trigger probability – Earthquake Acceleration Curve → 10^{-4}



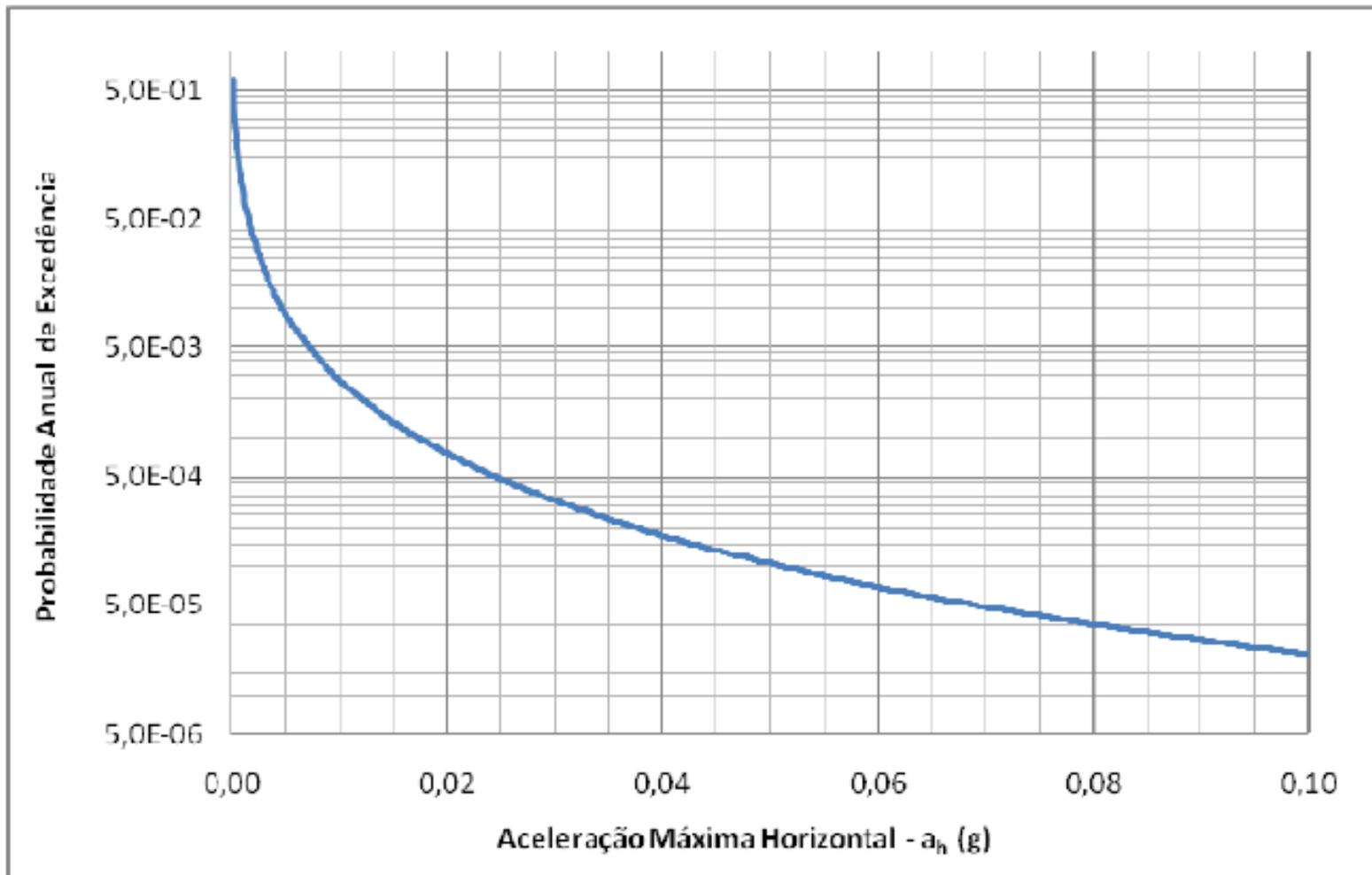


Figura 8.5 - Curva de ameaça sísmica para a área onde serão construídas as barragens de rejeitos Forquilha IV e Forquilha V, obtida pelo método probabilístico. Para uma probabilidade anual de 5×10^{-4} , a aceleração horizontal máxima esperada em rocha do embasamento é 0,024 g (ou 23,52 cm/s²) nesse local.

Closing Remarks

CLOSING REMARKS

- Results obtained were considered consistent with international practice. The GRG helped VALE to make some important risk informed decisions regarding Tailing Dams Safety and design criteria;
- The GRG for Iron Ore Business made possible the definition of a methodology for all the dams of VALE, including Basic Metals and Hydropower;
- An in depth risk analysis review will be conducted together with the Periodic Dam Safety Review (or when the dam context change, eg. rising, descomissioning, repair works).

- I. High Hazard: 3 years interval
- II. Significant Hazard: 5 years interval
- III. Low Hazard: 7 years interval

.

CLOSING REMARKS

- Need to maintain the concept of continuous improvement. It is a long path. *“The journey has just started...”*
- Structures with failure probability inside or above ALARP Zone will be prioritized to verify alternatives for risk reduction;
- Opportunity to reduce parameter uncertainties with field and laboratory test that are being performed for the As Is Project
- Need for improvement of the method for definition of the trigger for liquefaction failure evaluation mode including seismic loading evaluation
- Incorporation of some assumptions of the Piping Toolbox for the refinement of the Event Tree tool (*in progress*)
- With the advance of Risk Culture in VALE it will be necessary to review the Risk Acceptance Criteria
- Need to apply for Filtered Tailings Stack Design (**challenge!**)



| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 1 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

| | |
|--|---|
| Responsável Técnico: Marilene Lopes, Gerência de Geotecnia, Hidrogeologia e Fechamento de Mina | Código de Treinamento: NA Necessidade de Treinamento: Sim |
| Público-alvo: Empregados da Vale e das empresas contratadas no Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Ferroso | Palavras-chave: Estabelecimento do Contexto, Identificação, Eventos de Risco, Risco, Barragens, Diques, Taludes. |

1. OBJETIVO

Descrever o procedimento para estabelecimento do contexto e identificação dos eventos de risco em barramentos, como parte do processo de Gestão de Riscos Geotécnicos – GRG.

2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Gestão de riscos de estruturas geotécnicas de barramentos (barragens e diques de terra e/ou rejeitos) da VALE localizados no Brasil, nas etapas de projeto, implantação, operação ou fechamento.

3. REFERÊNCIAS

POL XXXXX – Política de Gestão de Riscos Geotécnicos

PRO XXXX1 – GRG - Sistema de Gestão de Riscos – Conceituação e Procedimentos

ABNT NBR ISO 31000 – Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes.

CEI- IEC- 60812 - Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis

ISO IEC 56/1268 CDV - IEC 31010 Ed. 1.0: Risk Management - Risk Assessment Techniques.

Fell, R., Macgregor, P., Stapledon, D., Bell, G. (2005). Geotechnical Engineering of Dams.

Kardec, A. & Nascif, J. (2010). Manutenção- Função Estratégica.

Pimenta de Ávila Consultoria, 2014. Documento RD-654-RL-38687. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem 8B - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.

4. ESTABELECIDO DO CONTEXTO

As atividades de gestão de riscos específicas para uma determinada estrutura deverão estar inseridas no contexto externo e interno da organização.

Portanto, nesta etapa deverão ser consultados os Procedimentos de Gestão de Riscos Corporativos e a Política de Riscos Geotécnicos vigentes. Estes documentos articulam os objetivos empresariais da gestão de riscos e definem, em linhas mais amplas, os parâmetros externos e internos a serem considerados.

Faz-se necessário definir os responsáveis pelas atividades a serem desenvolvidas e verificar como deverá ser o envolvimento do Escritório de Riscos no estudo específico, considerando a importância da estrutura, sua inserção geográfica, complexidade técnica e a existência de análises de risco anteriores cadastradas no Sistema GRG.

Convém que sejam estabelecidos o escopo e objetivos dos estudos de riscos da estrutura em questão e que a gestão dos riscos seja realizada com plena consciência da necessidade de justificar os recursos a serem utilizados.

5. IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE RISCO

A etapa de identificação dos eventos de risco tem como finalidade gerar uma lista abrangente de eventos de risco, incluindo fontes de riscos, suas causas e consequências potenciais, estando estas fontes sob controle ou não da organização.

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 2 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

A identificação de um risco geotécnico poderá ser feita por colaborador da VALE, bem como por empresas contratadas e/ou consultores, por ocasião de inspeções visuais, monitoramento, análises de riscos, estudos de engenharia e auditorias.

Os passos e procedimentos para identificação dos eventos de risco em barragens e diques são apresentados nos itens a seguir:

5.1. COLETA DE INFORMAÇÕES

Para que a identificação dos eventos de risco seja possível, faz-se necessário acessar a documentação relevante disponível de projeto, construção e operação do barramento. Estas informações podem incluir:

- Geometria do barramento e estruturas de extravasão, incluindo detalhes das seções do barramento e da drenagem interna;
- Informações geológicas e geotécnicas da fundação;
- Informações (granulometria, parâmetros de resistência, etc.) dos materiais de construção e dos materiais contidos no reservatório;
- Análises de percolação e de tensão-deformação no maciço e fundações;
- Informações hidrometeorológicas;
- Estudos de dimensionamento dos órgãos extravasores e da borda livre;
- Topografia, imagens aéreas ou de satélites;
- Cadastros de ocupação a jusante;
- Histórico de níveis do reservatório e níveis para os quais há registro de percolação ou níveis piezométricos anômalos;
- Histórico de anomalias observadas nas estruturas, reparadas ou não;
- Histórico dos dados da instrumentação civil instalada e análises anteriores;
- Informações de auditorias internas e externas realizadas anteriormente;
- Análises de riscos realizadas previamente.

Na etapa de coleta de informações, deverá ser consultado o **GRG - Módulo Gestão da Estrutura**. Neste módulo foi prevista a organização e disponibilização das informações sobre as estruturas geotécnicas, de modo a permitir às pessoas / áreas responsáveis pela identificação dos riscos, o pleno conhecimento da estrutura geotécnica e busca de informações relevantes. As informações estão disponibilizadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Informações contidas no GRG - Módulo Gestão da Estrutura.

| GRG - Módulo Gestão da Estrutura | Descrição |
|---|---|
| Banco de Dados | Organização da documentação técnica das estruturas geotécnicas e organização das informações associadas às inspeções de campo e resultados do monitoramento geotécnico. |
| Processos de Avaliação | Padronização dos componentes, modos de falha e causas para os riscos das estruturas geotécnicas. |
| Auditorias | Organização das informações associadas às auditorias técnicas realizadas nas estruturas geotécnicas, cujo histórico permite a identificação das não conformidades e riscos mais frequentes para cada tipo de estrutura. |
| Procedimentos | Procedimentos aplicáveis à barramentos. |
| PSB | Organização do Plano de Segurança de Barragens. |
| Estrutura Organizacional | Estrutura organizacional responsável pelas atividades de segurança de barragens. |

É desejável que a equipe de análise faça uma inspeção visual das estruturas, essencial na integração do conhecimento obtido na documentação disponível e no processo posterior de identificação de possíveis modos de falha e suas causas.

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 3 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

5.2. DESMEMBRAMENTO DO SISTEMA

A realização da análise de risco requer o desmembramento do sistema em componentes. Para efeito das análises de risco no âmbito do GRG, o foco é dado na falha do sistema “barramento”, uma vez que o interesse reside na falha global do sistema com possíveis impactos a jusante.

Sistema: Barramento (barragem ou dique).

Função: Contenção de água, resíduos, rejeitos ou sedimentos.

Falha: Incapacidade de retenção de água, sedimentos ou rejeitos e liberação sem controle do conteúdo do reservatório para jusante.

Assim, para este nível de análise, o sistema pode ser desmembrado nos seguintes macro-componentes:

- **Maciço** - aterro, talude de jusante, talude de montante, bermas, crista, sistema de drenagem superficial e sistema de drenagem interna;
- **Fundação sob a barragem e ombreiras;**
- **Sistema Extravasor** - emboque, estrutura vertente e bacia de dissipação;
- **Sistema de Adução / Captação** - emboque e estrutura de adução / captação; e
- **Reservatório** - área do reservatório / bacia de contribuição, incluindo estruturas geotécnicas e taludes naturais adjacentes.

5.3. MODOS DE FALHA POTENCIAIS A SEREM AVALIADOS

Como descrito no item anterior, a falha de um barramento pode ser definida como a perda da sua função principal, ou seja, a perda da capacidade de reter um reservatório de água, lama ou sedimentos.

Assim, um modo de falha potencial de um barramento é uma sequência de eventos começando com um evento iniciador (ou gatilho) que possa levar a uma liberação sem controle do material contido no reservatório para jusante.

Em termos gerais, os principais modos de falha a serem considerados para barragens e diques são **galgamento, erosão interna, instabilização e liquefação**, representados na árvore de falhas mostrada na Figura 1. Estudos recentes desenvolvidos por Taguchi (2014) validam a definição destes modos de falha principais, com base na compilação de modos de falha do ICOLD, UNEP e do *US Department of Interior*.

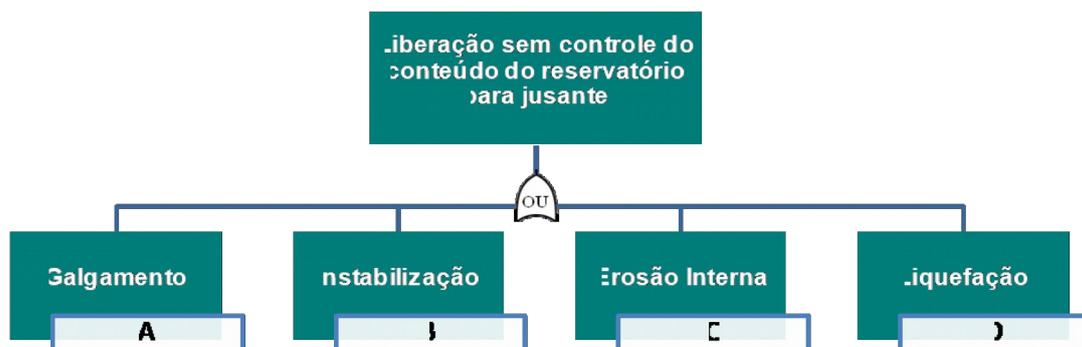


Figura 1 – Árvore de Falhas para Ruptura de Barragens (Pimenta de Ávila Consultoria, 2014, adaptado de Taguchi, G., 2014).

Estes modos de falha finais do barramento deverão ser utilizados nas etapas de análise subsequentes e estão definidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Modos de Falha de Barramentos adotados no GRG.

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 4 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

| Modo de Falha | Definição |
|----------------|---|
| Galgamento | Passagem de água sobre a crista da barragem, levando-a à ruptura por erosão no pé da barragem, instabilização ou erosão do talude de jusante. |
| Instabilização | Ruptura por falta de estabilidade da estrutura ao tombamento, deslizamento ou flutuação no caso de estruturas de concreto ou do movimento de massa do talude de jusante ou de montante no caso de estruturas de terra, enrocamento ou rejeitos. Deve-se observar que o modo de falha Instabilização pode ser subdividido em Instabilização global e localizada, além de Instabilização estática e dinâmica (ação de sismos). |
| Erosão Interna | Carreamento de partículas de um solo, no maciço de uma barragem ou em sua fundação, pelo fluxo de percolação existente, levando-a à ruptura. |
| Liquefação | Fenômeno de levar um material de seu estado natural sólido ao estado liquefeito, como resultado do aumento de poropressão sob carregamento cíclico ou estático. Pode ocorrer em solos granulares, quando as poropressões se elevam a ponto de anular as tensões efetivas. Neste caso a pressão intergranular também será nula, assim como o atrito entre partículas, e o material se comportará como um líquido. |

5.4. IDENTIFICAÇÃO DOS MODOS DE FALHA E CAUSAS ASSOCIADAS

Nesta etapa, deverão ser pesquisados todos os mecanismos de falha dos componentes que poderiam levar à ruptura do barramento com a liberação sem controle do conteúdo do reservatório para jusante. Os mecanismos de falha dos componentes irão constituir as causas de uma eventual ruptura do barramento.

Cabe ressaltar que a definição dos modos de falha, causas de falhas e efeitos da falha dependem do nível de análise e do critério de falha do sistema. Os efeitos das falhas identificados no nível inferior podem se tornar os modos de falha do nível superior. Os modos de falha num nível inferior podem se tornar as causas de falha no nível superior, e assim por diante (CEI- IEC- 60812).

Para facilitar a varredura de todos dos mecanismos de falha possíveis, devem ser consultadas a Figura 2 e Tabelas 3 a 6, onde são listadas as causas mais prováveis de falhas em barragens ou diques de terra e/ ou rejeitos.

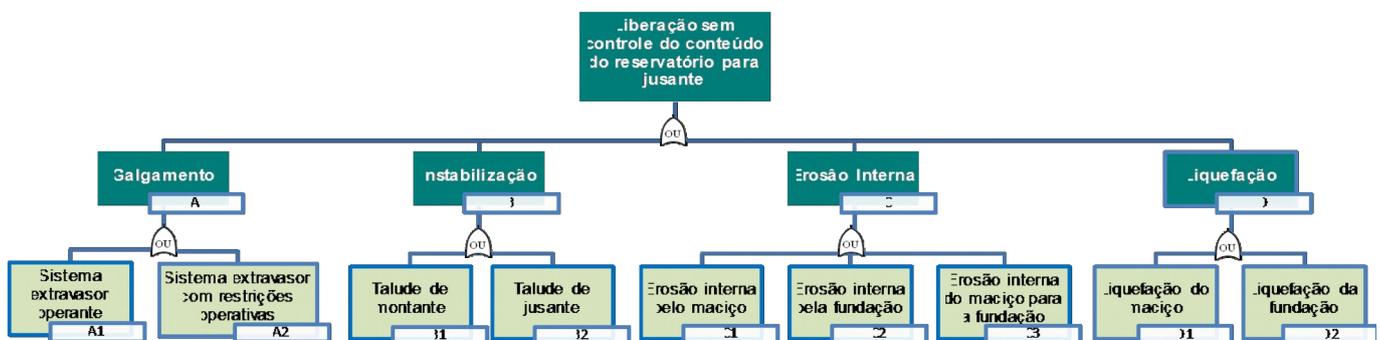


Figura 2 – Árvore de Falhas auxiliando na identificação de modos de falha em barragens e diques de terra e/ou rejeito.

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 5 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

Tabela 3 – Principais causas associadas ao Modo de Falha Galgamento.

| Modo de Falha da Estrutura | Componente | Componen | | |
|----------------------------|--------------|----------|--|--|
| | Reservatório | | | |
| | Reservatório | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabela 4 – Principais causas associadas ao Modo de Falha Instabilização.

| Modo de Falha da Estrutura | Componente | Componen | | |
|----------------------------|------------|---------------------|--|--|
| | Maciço | Fundaçãc Ombreir | | |
| | Maciço | Fundaçãc Ombreir | | |
| | Maciço | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 6 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

Tabela 5 – Principais causas associadas ao Modo de Falha Erosão Interna.

| Modo de Falha da Estrutura | Componente | Componen | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------|--|--|
| | Maciço | | | |
| | Maciço | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos | Nº: PRO – XXXX4 | Pág.: 7 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 02-16/12/2015 |

Tabela 6 – Principais causas associadas ao Modo de Falha Liquefação.

| Modo de Falha da Estrutura | Componente | Componen | | |
|----------------------------|------------|-------------------|--|--|
| | Maciço | Fundação Ombreira | | |
| | Maciço | Fundação Ombreira | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

5.5. CONSOLIDAÇÃO DOS EVENTOS DE RISCO

Os modos de falha potenciais associados aos componentes poderão ser organizados em um **Painel de Controle**, conforme modelo apresentado na Figura 3. Este painel tem o objetivo de consolidar os eventos de risco identificados, além de permitir a visualização daqueles com indícios de formação do mecanismo de falha ou já materializados em campo.

Outros exemplos de Painéis de Controle podem ser vistos nos documentos:

- Pimenta de Ávila Consultoria, 2014. Documento RD-654-RL-38482. Análise de Probabilidade de Ruptura da Barragem do Galego. Relatório Técnico – GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, 2014. Documento RD-643-RL-38685. Análise de Probabilidade de Ruptura da Barragem 5. Relatório Técnico – GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, 2014. Documento RD-654-RL-38686. Análise de Probabilidade de Ruptura da Barragem 7B. Relatório Técnico – GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, 2014. Documento RD-643-RL-38687. Análise de Probabilidade de Ruptura da Barragem 8B. Relatório Técnico – GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.

**Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco –
Barragens e Diques**

Nº: PRO - XXXX4

Pág.: 8 de 10

Classificação: Interno

Rev.: 00-02/06/2015

| item | Modo de falha da estrutura | Meio de Detecção / Origem | Componente | | | | | | | |
|------|----------------------------|--|-----------------------|--|--|---|--|--|--|--|
| 1 | Galgamento | FMEA Fase IV-A RD-533-PL- 27116-00 | Sistema Extravasor | | | | | | | |
| | | | | | |  | | | | |
| | | | | | |  | | | | |
| | | | | | |  | | | | |

Figura 3 - Modelo de Painel de Controle aplicado para o modo de falha “Galgamento” da Barragem 7B (extraído do relatório RD-654-RL-38686. Análise de Probabilidade de Ruptura da Barragem 7B. Relatório Técnico – GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos. Pimenta de Ávila Consultoria Ltda).

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco – Barragens e Diques | Nº: PRO - XXXX4 | Pág.: 9 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-02/06/2015 |

O preenchimento das colunas do Painel de Controle deverá seguir as seguintes orientações:

- **Modo de Falha da Estrutura** - Modo de falha final com potencial de levar o barramento à ruptura;
- **Meio de Detecção/Origem** - Fonte da informação, podendo ser citados como exemplo Inspeção de rotina, Inspeção regular, Revisão de Segurança, Auditoria interna ou externa, Análise da Instrumentação, Análise de risco, dentre outros;
- **Componente** - Componente cuja falha poderá levar o barramento à ruptura;
- **Causa** - Mecanismo de falha do componente considerado como causa da ruptura do barramento;
- **Evidências/Informações Complementares** - Evidências da possibilidade de ocorrência do mecanismo de falha sob análise, observadas em campo ou identificadas em projeto, ensaios ou estudos complementares;
- **Controles Existentes** - Os controles existentes serão considerados conforme as definições clássicas de métodos de manutenção, como proposto por Kardec e Nascif (2010) e apresentado na Figura 4. Salienta-se que não existe um método de manutenção melhor do que outro, e sim aquele adequado ao equipamento, componente e modo de falha em análise.

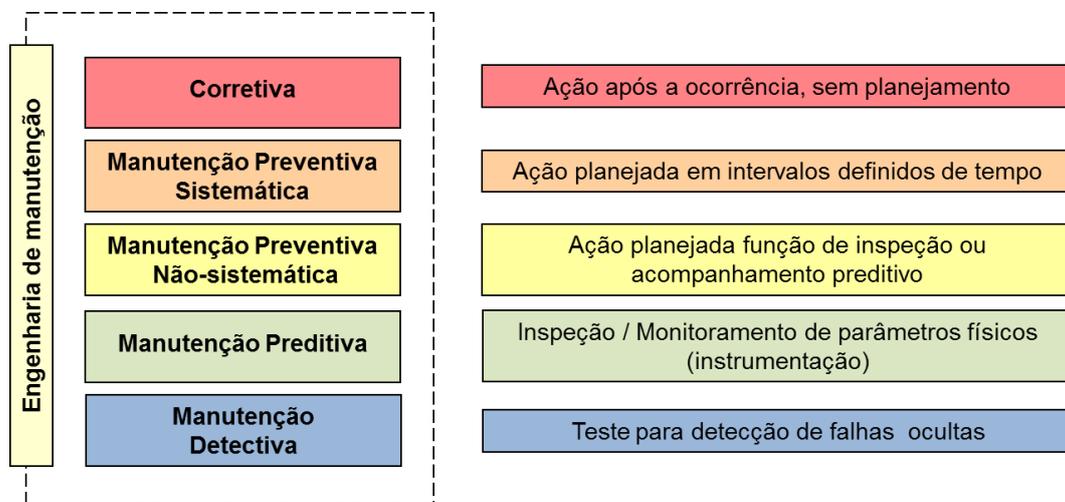


Figura 4 – Tipos de Controle (Adaptado de Kardec e Nascif, 2010).

- **Manutenção Corretiva:** Intervenção somente após o equipamento perder a sua função (“run to failure”, ou seja, “operar até quebrar”). Este método implica em uma situação não planejada para a execução da manutenção e sua utilização racional está limitada a equipamentos em que a consequência da falha não seja significativa para o processo produtivo;
- **Manutenção Preventiva Sistemática:** Manutenção baseada no tempo (ou parâmetro fixo como número de operações, por exemplo), com atuação periódica em intervalos pré-determinados, sem considerar as condições do equipamento. Pode reduzir os níveis de falhas em emergência e melhorar a disponibilidade dos equipamentos, mas pode resultar em custos excessivos devido às paradas desnecessárias de equipamentos, gastos excessivos com componentes e riscos de danos no equipamento devido à montagem incorreta. Um exemplo no caso de barragens é o corte de vegetação em intervalos pré-fixados de tempo;
- **Manutenção Preventiva Não-Sistemática:** Intervenção planejada em função de inspeção ou acompanhamento preditivo, de forma preventiva, ou seja, antes da ocorrência da falha;
- **Manutenção Preditiva (Monitoramento):** Utiliza técnicas para monitorar a evolução do estado do equipamento e permitir a antecipação de falhas. A aplicação da Manutenção Preditiva é possível quando o componente apresenta um “sintoma” que pode caracterizar o seu processo de falha. Existem diversas tecnologias para a avaliação do estado dos equipamentos, tais como: Análise de Vibração, Análise do Óleo, Termografia, Ensaios Não Destrutivos, Medidas de Fluxo, Detecção de

| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco – Barragens e Diques | Nº: PRO - XXXX4 | Pág.: 10 de 10 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-02/06/2015 |

Vazamento, Análise Visual, dentre outros. No caso de barragens, as técnicas preditivas a serem empregadas incluem as inspeções visuais e o monitoramento por meio da instrumentação; e

- **Manutenção Detectiva:** Executada em sistemas de proteção, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis às equipes de operação e manutenção. É adotada quando o processo possui subconjuntos nos quais é praticamente impossível detectar falhas antes que elas ocorram, buscando eliminar falhas ocultas por meio de testes periódicos no sistema.
- **Nível de Confiança** - ALTO / MÉDIO / BAIXO. Avaliação da confiança na qualidade e disponibilidade das informações necessárias para a avaliação do modo de falha;
- **Recomendações** - Recomendações de ações de tratamento do risco já existentes;
- **Plano de Ação** - SIM / NÃO. Existência ou não de plano de ação previamente estabelecido para minimizar o risco;
- **Risco Enviado para Análise** - SIM / NÃO. Item a ser preenchido no final da avaliação e discussões do grupo de análise, contendo a decisão de conduzir ou não a análise de um risco específico.

5.6. CONSEQUÊNCIAS

As consequências decorrentes da ruptura de barragens ou diques deverão ser avaliadas de forma expedita a partir de imagens de satélite, mediante a observação de aspectos tais como: existência ou não de população a jusante, de área(s) de proteção ambiental, de curso(s) de água, de infraestruturas pública e/ou privada e demais peculiaridades da região a jusante potencialmente atingida pela onda de inundação.

5.7. DEFINIÇÃO DOS EVENTOS DE RISCO A SEREM ENVIADOS PARA ANÁLISE

Após a identificação dos eventos de risco e verificação das consequências finais da ruptura, o grupo de trabalho deverá selecionar aqueles que deverão ser enviados para o processo de Análise de Riscos.

Esta seleção será conduzida considerando todos os aspectos resumidos no Painel de Controle, ou seja, modos de falha possíveis, existência de indícios de possibilidade de sua materialização (evidências), controles existentes e nível de confiança nas informações disponíveis sobre o modo de falha em estudo.

No final desta etapa, a coluna “Risco Enviado para Análise” do Painel de Controle será preenchida.

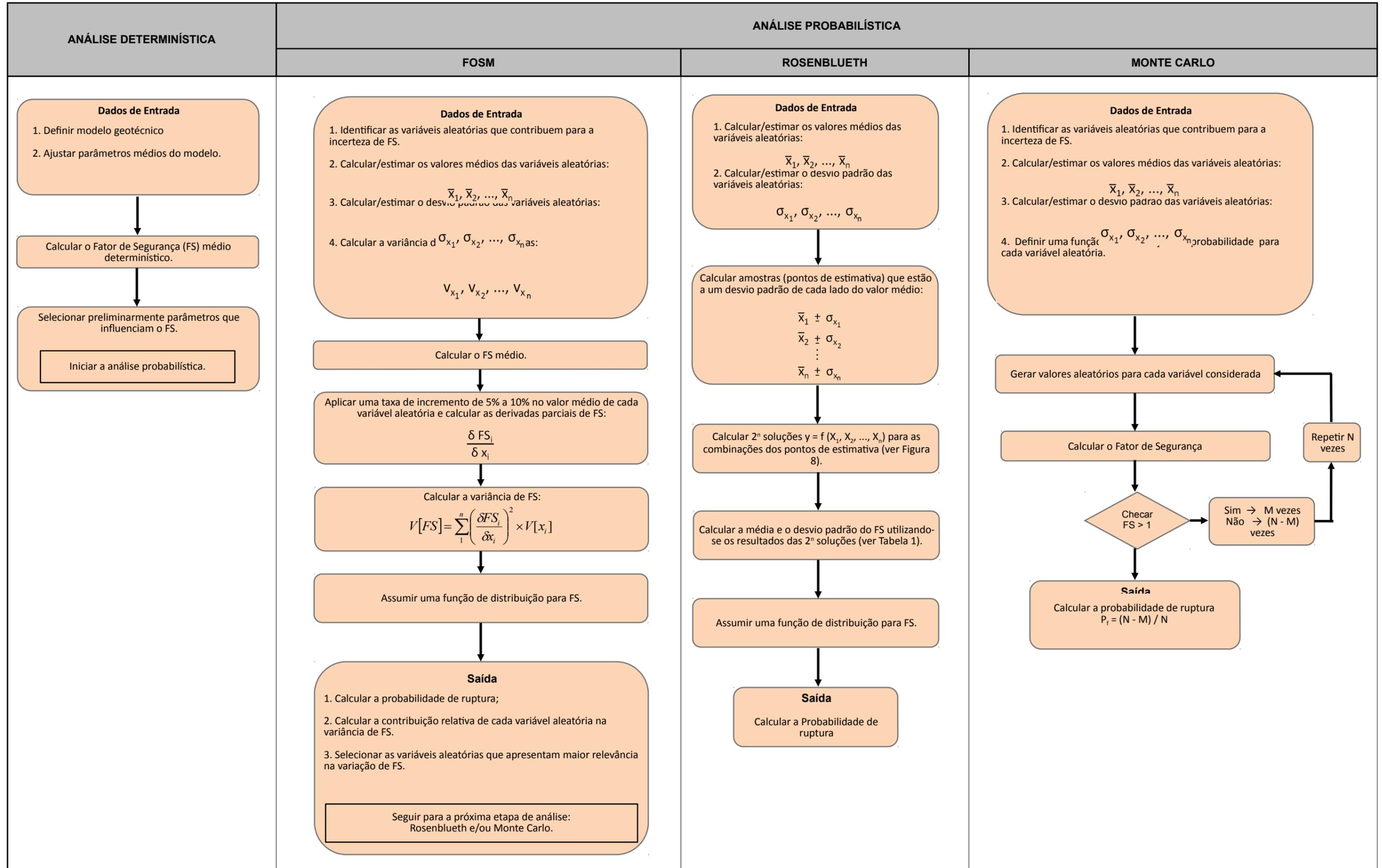
5.8. REGISTRO DE EVENTOS DE RISCO

Os eventos de risco selecionados deverão ser cadastrados no **GRG-Registro de Risco**, conforme detalhado no Manual do Usuário do Sistema Computacional. Deverão ser registradas as seguintes informações sobre cada evento de risco:

- Nome da estrutura;
- Modo de falha da estrutura: Galgamento, Erosão Interna. Instabilização ou Liquefação;
- Componente;
- Causa;
- Descrição das consequências; e
- Descrição do risco.

Além da **Identificação**, o registro de risco inclui as informações e resultados de **Análise** e **Alternativas de Tratamento**, que serão abordados nos procedimentos específicos.

ANEXO A - FLUXOGRAMA PARA A REALIZAÇÃO DE ANÁLISE PROBABILÍSTICA - BARRAMENTOS





| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Riscos em Gestão da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 1 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

| | |
|---|---|
| Responsável Técnico: Marilene Lopes, Gerência de Geotecnia, Hidrogeologia e Fechamento de Mina | Código de Treinamento: NA Necessidade de Treinamento: Sim |
| Público-alvo: Empregados da Vale e das empresas contratadas no Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Ferrosos | Palavras-chave: Probabilidade de ruptura; Métodos probabilísticos; Árvore de Eventos; Árvore de Falhas; Instabilização; Erosão interna; Galgamento; Liquefação; Barragem; Dique. |

1 OBJETIVO

Descrever o procedimento para cálculo da probabilidade de ruptura de barramentos, como parte da análise quantitativa de riscos inserida no processo de Gestão de Riscos Geotécnicos – GRG.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Gestão de riscos de estruturas geotécnicas de barramentos (barragens e diques de terra e/ou rejeitos) da VALE localizados no Brasil, nas etapas de projeto, implantação, operação e fechamento.

3 REFERÊNCIAS

Instabilização:

Assis, A.P., Espósito, T.J., Gardoni, M.G. & Maia, J.A.C. (2004). Métodos Estatísticos e Probabilísticos Aplicados a Geotecnia. Publicação G.AP-002/01, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177 p.

Baecher, G. B. & Christian, J.T. (2003). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley and Sons LTD, England, 605 p.

Hidalgo, C. & Assis, A. (2011). Avaliação da Incerteza na Análise de Estabilidade de um Talude Escavado em Solos Residuais. (em espanhol) Anais da XII Conferência Pan-americana de Geotecnia, Toronto, Ontario, Canada.

Lee, I. K., White, W. and Ingles, O. G. (1983). Geotechnical Engineering. Boston, Pitman.

Maia, J.A.C. (2003). Métodos Probabilísticos Aplicados à Estabilidade de Taludes e Cavidades em Rocha. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-099/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 192 p.

Rosenblueth, E. (1975). Point Estimates for Probability Moments. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, USA, 72(10): 3812–3814

UNSW (2003). Risk Management Course Notes. Dept. of Safety Science, Faculty of Science, University of New South Wales, Sydney.

USACE. (2006). Reliability Analysis and Risk Assessment for Seepage and Slope Stability Failure Modes for Embankment Dams.

Erosão Interna:

Bureau of Reclamation (2010). Chapter 24, Internal Erosion and Piping Risks for Embankments. Technical Service Center, Denver, Colorado.

Caldeira, L.M.M.S. (2008). Análise de Riscos em Geotecnia – Aplicação a Barragens de Aterro. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal.

Fell, R., Macgregor, P., Stapledon, D., Bell, G. (2005). Geotechnical Engineering of Dams.

Fell, R. & Fry, J.J (eds.) (2007). Internal Erosion of Dams and Their Foundations, 245 p.

Perini, D. S. (2009). Estudo dos Processos Envolvidos na Análise de Riscos de Barragens de Terra. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-180/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128 p.



| | | |
|--|------------------------|---------------------|
| Riscos em Gestão da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 2 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Pimenta de Ávila Consultoria, 2014. Documento RD-654-RL-38687. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem 8B - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.

USBR - 26-InternalErosion20121207 Disponível em : <http://www.usbr.gov/ssle/damsafety/Risk/methodology.html>. Acesso em 01/08/2014.

Galgamento:

USBR (2012) - 16-FloodOvertopping20121126. Disponível em : <http://www.usbr.gov/ssle/damsafety/Risk/methodology.html>. Acesso em 01/08/2014.

Pinheiro, M.C. Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração. 1ª Edição 2011, ABRH, 171p.

4 ANÁLISES QUANTITATIVAS DE RISCOS APLICADAS A BARRAGENS E DIQUES

A etapa de análise de risco consiste no processo de definição das probabilidades de ocorrência e as consequências de um determinado evento sobre os indivíduos ou populações, propriedades ou meio ambiente. No GRG o risco é expresso em unidade monetária (R\$), o que permite a comparação e hierarquização de todos os riscos geotécnicos, independente do tipo de estrutura, localização, etapa da vida útil, etc.



Para barragens e diques, os principais modos de falha a serem considerados são: **galgamento, erosão interna, instabilização e liquefação**, considerando que estes eventos são excludentes. A Figura 1 apresenta a árvore de falhas representativa da ruptura de um barramento a partir destes modos de falha. Estudos recentes desenvolvidos por Taguchi (2014) validam a definição destes modos de falha principais, com base na compilação de modos de falha pelo ICOLD, UNEP e do *US Department of Interior*.



Figura 1 – Árvore de Falhas para Ruptura de Barragens (Pimenta de Ávila Consultoria, 2014, adaptado de Taguchi, G., 2014).

Tendo em vista o conceito utilizado de risco monetizado, se faz necessária a utilização de metodologias que permitam definir o valor da probabilidade e o custo das consequências. A metodologia a ser adotada para definição dos valores das probabilidades e dos custos das consequências, seja qualitativa ou quantitativa, dependerá do nível de informações disponíveis, do modo de falha avaliado, do tempo e recursos disponíveis para a realização da análise e do nível de confiabilidade desejado. É importante destacar que o GRG não limitará a realização da análise de risco às metodologias e processos sugeridos, ou seja, poderão ser empregadas outras ferramentas que porventura sejam mais apropriadas para cada caso.

O presente procedimento apresentará as seguintes metodologias aplicadas a barragens e diques:

- **INSTABILIZAÇÃO - Análises de estabilidade probabilísticas:** As análises de estabilidade probabilísticas podem ser realizadas a partir de softwares específicos (Slide, GeoStudio/Slope, etc.) que



**Riscos em
Análise da Probabilidade**

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 3 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

possibilitam a definição da probabilidade de ruptura da estrutura geotécnica. Destaca-se que, no GRG estas análises foram realizadas a partir dos métodos de FOSM, Rosenblueth e Monte Carlo;

- **EROSÃO INTERNA - Árvore de eventos e falhas:** Método de análise de risco quantitativa que segmenta o evento em etapas e define a probabilidade de ocorrência de cada nó, sendo obtida a probabilidade final de falha do evento considerado;
- **GALGAMENTO - Cálculos hidrológicos associados ou não a árvores de eventos e falhas:** Com base no histórico de vazões e precipitações, é possível calcular os períodos de retorno para os dispositivos de extravasão, bombeamento e de drenagem implantados nas estruturas geotécnicas e operando com ou sem restrições. A partir destes dados, é possível obter a probabilidade da ocorrência de uma cheia superior ao dimensionamento destes sistemas; e
- **LIQUEFAÇÃO – Árvore de eventos e falhas associados métodos probabilísticos.**

Em muitos casos poderá ocorrer o emprego de diferentes metodologias de análises de riscos de forma associada ou complementar.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 4 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

5 INSTABILIZAÇÃO – ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS

Diferentemente da **abordagem determinística**, onde os parâmetros de projeto são assumidos **constantes** e se calcula um valor único para o fator de segurança (FS), na **abordagem probabilística** é considerada a **variabilidade** de parâmetros chave de entrada (propriedades dos materiais, cargas aplicadas, poropressões etc) e se obtém uma distribuição de probabilidade do fator de segurança.

Destaca-se que os métodos probabilísticos a serem apresentados neste procedimento são os mais comumente utilizados e correspondem aos seguintes métodos: **FOSM, Método dos Pontos de Estimativa de Rosenblueth e Monte Carlo**. A aplicação desses métodos está condicionada à existência de uma formulação matemática empírica, analítica ou numérica que relacione o indicador de falha (ex. deformação, fator de segurança) com os dados de entrada (propriedades dos materiais, carregamentos etc.), que correspondem às variáveis aleatórias (variáveis independentes), tal como:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (\text{Eq.1})$$

onde:

y = indicador de falha (ex. fator de segurança)

x_1, x_2, \dots, x_n = variáveis aleatórias (ex. coesão, ângulo de atrito, peso específico etc.)

Conseqüentemente, para as situações onde não existe formulação matemática, recomenda-se a utilização de outras metodologias para o cálculo da probabilidade de ruptura, tais como árvore de eventos e árvore de falhas.

A **probabilidade de ruptura** corresponde no contexto da engenharia à probabilidade de o FS ser igual ou inferior a 1, ou seja ($P [FS \leq 1]$). A Figura 2 ilustra uma função de distribuição de probabilidade do FS, resultante da aplicação de um método probabilístico, onde a área da região hachurada no histograma corresponde à probabilidade da estrutura analisada.

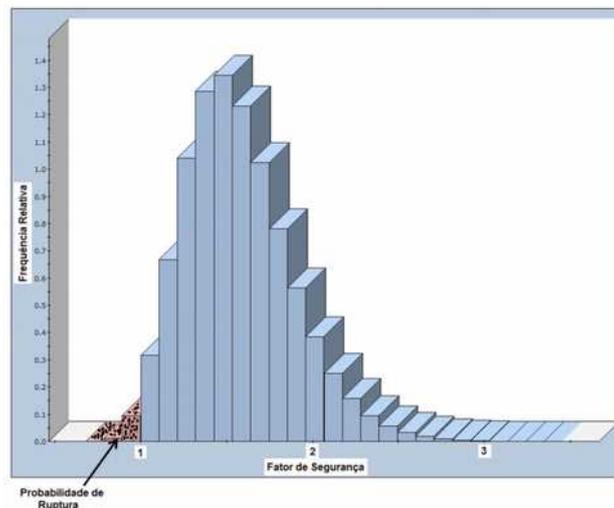


Figura 2 – Função de Distribuição de FS e Probabilidade de Ruptura.

Ressalta-se, no entanto, que os valores das probabilidades calculados são aproximados e devem ser tomados com cautela para que não seja atribuído um nível de acurácia e precisão inconsistente com a acurácia dos dados de entrada e métodos de cálculo empregados na análise (USACE, 2006).

Finalmente, deve-se observar que, para fins do cálculo da probabilidade no GRG, o **valor mínimo** considerado para a probabilidade de ruptura corresponde a 10^{-8} e o **valor máximo** corresponde a **1,0**, ou seja, valores calculados inferiores a 10^{-8} serão tomados como iguais ao valor mínimo fixado.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 5 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

O Anexo A apresenta as etapas para realização da análise probabilística com o objetivo de calcular a probabilidade de ruptura por instabilização dos maciços de barragens e diques. Destaca-se que a análise se inicia com a definição do modelo de engenharia e ajuste de parâmetros médios para, em seguida, considerar a variabilidade dos parâmetros do modelo e serem aplicados os métodos probabilísticos. No final da análise, calcula-se para os três métodos apresentados neste procedimento a probabilidade de ruptura do talude.

A aplicação da metodologia de análise probabilística seguirá as etapas listadas abaixo e detalhadas nos itens seguintes.

- ⇒ **Definição do modelo geotécnico e realização de análise determinística;**
- ⇒ **Identificação das variáveis aleatórias e determinação das medidas estatísticas de variabilidade;**
- ⇒ **Aplicação do método FOSM;**
- ⇒ **Aplicação do método de Rosenblueth e/ou método Monte Carlo;**

5.1 Análise Determinística

ETAPA 1 Definição do Modelo Geotécnico e Realização de Análise Determinística

- Estimativa dos parâmetros médios;
- Determinação do FS médio determinístico;
- Seleção preliminar de parâmetros que influenciam o FS a partir da observação dos materiais interceptados pela superfície crítica resultante da análise determinística e do julgamento de engenharia.

Inicialmente, devem ser selecionadas para análise uma ou mais seções representativas da barragem para a realização das análises de estabilidade.

Recomenda-se fazer análises de estabilidade utilizando-se os **valores médios** dos parâmetros dos materiais para a determinação do **fator de segurança crítico médio determinístico**. Essa etapa de análise tem as seguintes finalidades principais:

- Definir e/ou ajustar os parâmetros geotécnicos médios a serem utilizados nas análises probabilísticas;
- Realizar uma busca da superfície crítica de ruptura de maneira a conhecer e criar sensibilidade quanto ao problema analisado;
- Definir de maneira preliminar os parâmetros que podem influenciar no valor do FS;
- Calibrar o modelo utilizado na análise.

Observa-se que não existem restrições quanto à ferramenta computacional (*software*) ou método de cálculo a ser utilizado, podendo ser aplicados tanto métodos de equilíbrio limite como métodos numéricos (análise tensão-deformação), desde que os mesmos estejam adequados ao modo de falha em estudo.

Da mesma maneira, caso sejam aplicados métodos de equilíbrio limite, pode-se utilizar qualquer método de análise (Bishop, Spencer, Morgenstern-Price etc), para determinação da superfície crítica e do fator de segurança mínimo, sabendo-se que cada método apresenta vantagens e limitações.

Ressalta-se também a importância da realização da **análise determinística** com o intuito de criar um modelo de **engenharia** adequado às análises do problema em questão, dado que este será o *input* da **análise probabilística**.

Desta forma, recomenda-se que a determinação dos parâmetros geotécnicos médios e a análise de estabilidade determinística sejam feitas de maneira bastante criteriosa, contemplando o maior número de possibilidades e de métodos de busca no programa de cálculo de estabilidade utilizado antes de dar início ao próximo estágio da análise, haja vista o impacto dessas considerações no valor final da probabilidade de ruptura estimada.



5.2 Variabilidade das Propriedades Geotécnicas

ETAPA 2
Identificação das Variáveis Aleatórias e Determinação das Medidas Estatísticas de Variabilidade

- Estimativa do desvio padrão dos parâmetros a partir de dados de ensaios ou do coeficiente de variação, na falta de dados com representatividade estatística.

5.2.1 Aspectos Gerais

As propriedades dos materiais que constituem o maciço e a fundação de barragens e diques, em geral, apresentam grande variabilidade natural devido às condições de compactação do solo, a maneira ou processo ocorrido para a sua formação, assim como, à diversidade de materiais dos quais eles são formados. Outras variáveis que podem ser consideradas na análise de um barramento correspondem, por exemplo, à geometria do problema, às cargas aplicadas e às proressões desenvolvidas.

Cabe ressaltar que o valor real de qualquer parâmetro de solo, rocha ou rejeito dificilmente será conhecido, podendo estimá-lo a partir de um número de medidas, as quais estão sujeitas a erros, tais como, a **variabilidade do material, erros de amostragem e erros de ensaios** (UNSW,2003).

Observa-se que, independentemente da quantidade de ensaios realizados para a determinação do parâmetro geotécnico de interesse, sempre se terá um grau de incerteza quanto ao seu valor médio e desvio padrão, pois os ensaios realizados não conseguirão abranger todos os valores possíveis para aquele parâmetro ensaiado (UNSW,2003). Assim, o número de amostras necessárias para garantir que a média amostral seja igual à media populacional será dificilmente alcançado.

Os resultados dos ensaios realizados nas amostras podem ser representados a partir de **histogramas**, os quais representam a frequência proporcional dos valores observados dentro de um determinado número de intervalos. Destaca-se que as principais medidas estatísticas que resumem os n resultados de ensaios (x_1, x_2, \dots, x_n) são: média; variância; desvio padrão e coeficiente de variação. A Tabela 1 mostra o símbolo e as fórmulas utilizadas para calculá-los.

Tabela 1 – Formulação Aplicada aos Dados das Amostras.

| Medida | Símbolo | Fórmula |
|-----------------------------|-----------|---|
| Média amostral | \bar{X} | $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ |
| Variância amostral | s^2 | $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$ |
| Desvio Padrão amostral | s | $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ |
| Coeficiente de Variação (%) | CV | $CV = \left(\frac{s}{\bar{X}}\right)100\%$ |

Nota: n = número de elementos da amostra ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$).

5.2.2 Coeficiente de Variação



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 7 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Na falta de resultados de ensaios de laboratório ou de campo, recomenda-se determinar o desvio padrão da amostra por meio de coeficientes de variação. A Tabela 2 apresenta faixas de coeficientes de variação dos parâmetros geotécnicos de interesse para análises de estabilidade de barramentos. Essa tabela corresponde a uma compilação de valores encontrados na literatura (Assis *et. al.*, 2004; Lee *et. al.*, 1983 *apud* Baecher & Christian, 2003, USACE, 1994 *apud* Hidalgo & Assis, 2011 e USACE, 2006) para ensaios em amostras de solo, porém, recomenda-se neste procedimento a utilização da mesma para a estimativa do coeficiente de variação em rochas e rejeitos.

Tabela 2 – Valores Típicos de Coeficiente de Variação de Parâmetros Geotécnicos.

| Parâmetro | Coeficiente de Variação (%) | | Fonte |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| | Valores Reportados | Valor Recomendado | |
| Ângulo de Atrito Efetivo | 05 a 15 | 10 | (1) e (5) |
| Coesão (argila) | 20 a 80 | 40 | (3) |
| Coesão Não Drenada (argila) | 20 a 50 | 30 / 40 | (1) e (4) |
| Módulo de Elasticidade | 02 a 42 | 30 | (1) |
| Coeficiente de Permeabilidade | 20 a 90 | 90 | (2) e (4) |
| Peso Específico | 01 a 10 | 03 | (1) e (4) |
| Resistência à Tração | 15 - 29 | 20 | (1) |
| Resistência à Compressão Uniaxial | 6 - 100 | 40 | (1) |

- (1) Lee *et. al.* (1983) (4) Harr (1987)
 (2) USACE (1994) (5) USACE (2006)
 (3) Assis *et. al.* (2004).

Observa-se que a definição do valor do coeficiente de variação a ser adotado depende do julgamento de engenharia, assim como, do significado físico da variação dos parâmetros envolvidos na análise.

5.2.3 Determinação dos Limites Inferior e Superior do Intervalo de Dados

A determinação dos **limites inferior e superior** do intervalo de dados que representa a **variável aleatória** pode ser feita a partir de regras que se baseiam na **distribuição normal** (USACE, 2006). A Figura 3 mostra uma função de densidade de probabilidade normal com a porcentagem de área abaixo da curva para o valor médio mais ou menos um desvio padrão (variação de 2σ), mais ou menos dois desvios padrão (variação de 4σ) e mais ou menos três desvios padrão (variação de 6σ).

Para o último caso, ou seja, **mais ou menos três desvios padrão**, **99,7%** de todos os valores possíveis da variável aleatória estão incluídos neste intervalo. Similarmente, considerando **mais ou menos dois desvios padrão** esse valor passa a ser **95,5%**. Finalmente, considerando **mais ou menos um desvio padrão**, **68,3%** de todos os valores possíveis estão dentro deste intervalo.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 8 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

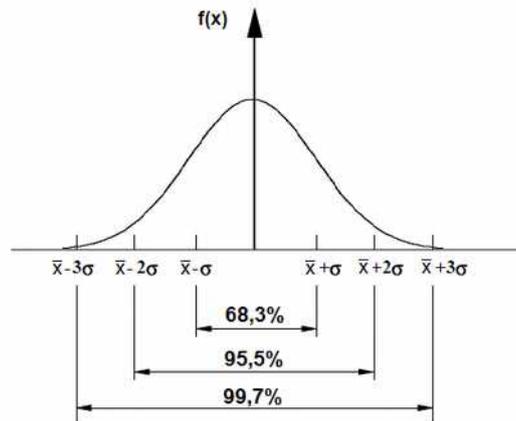


Figura 3 – Distribuição Normal.

Como recomendação geral do presente procedimento, se há praticamente 100% de confiança na estimativa dos limites superior e inferior da variável aleatória, deve ser utilizada uma variação de mais ou menos três desvios padrão em torno da média. Para um nível de confiança de 95%, deve ser utilizada uma variação de mais ou menos dois desvios padrão em torno da média. Cabe ressaltar novamente que os limites utilizados devem levar em consideração o julgamento de engenharia e o significado físico dessa variação.

5.3 Método FOSM (“First Order Second Moment”)

ETAPA 3 Aplicação do Método FOSM

- Cálculo do FS médio probabilístico e da variância do FS;
- Cálculo preliminar da probabilidade de ruptura;
- Determinação das variáveis aleatórias que mais influenciam na variação do FS.

O **método FOSM** corresponde a um método probabilístico que pode ser empregado para uma estimativa preliminar da probabilidade de ruptura. Além disso, o método permite saber a contribuição de cada variável aleatória na variância do fator de segurança, o que possibilita a seleção das variáveis aleatórias mais importantes para a realização do próximo estágio da análise probabilística, com a aplicação do método de Rosenblueth e/ou Monte Carlo.

Recomenda-se, portanto, que este seja o primeiro método probabilístico a ser aplicado dada a sua simplicidade e os resultados que o mesmo proporciona.

5.3.1 Aspectos Teóricos

O truncamento da função de expansão da Série de Taylor forma a base deste método. Assumindo múltiplas variáveis aleatórias de dados de entrada, mas independentes entre si, as equações do método FOSM correspondem a:

$$E[FS] = F(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (\text{Eq.2})$$

$$V[FS] = \sum_1^n \left(\frac{\delta FS_i}{\delta X_i} \right)^2 \times V[X_i] \quad (\text{Eq.3})$$

onde:



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 9 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

F = função de desempenho que, neste caso, se refere ao fator de segurança (FS);

E [FS] = valor médio esperado para F;

V [FS] = variância de F, igual ao quadrado do seu desvio padrão;

δFS_i = Variação de F que ocorre quando se variam de um valor igual a δX_i cada um dos n parâmetros X_i ;

δX_i = Taxa de variação das variáveis envolvidas no estudo;

V [X_i] = variância de cada um dos X_i .

O valor de δFS_i corresponde à variação do FS quando se varia cada um dos n parâmetros X_i de um valor δX_i , recomendado entre 5 e 10%, mantendo-se as demais variáveis constantes.

Informações adicionais sobre o método FOSM podem ser encontradas em Baecher & Christian (2003).

5.3.2 Metodologia

As etapas de cálculo para aplicação do método FOSM podem ser resumidas conforme apresentam o fluxograma do Anexo A e a Figura 4.

| Etapas da Análise | Observações |
|--|---|
| Identificação das variáveis aleatórias que contribuem para a incerteza de FS | • Por meio de análises determinísticas preliminares, análises de sensibilidade, julgamento de engenharia. |
| Cálculo da média de cada variável aleatória | • Baseado em dados de ensaios de laboratório ou de campo. Na falta de dados com representatividade estatística, assumir o dado existente como valor médio. |
| Cálculo do desvio padrão e da variância de cada variável aleatória | • Baseado em dados de ensaios de laboratório ou de campo. Na falta de dados com representatividade estatística, utilizar o coeficiente de variação para determinação do desvio padrão. |
| Cálculo do FS médio | • Cálculo do FS médio utilizando os parâmetros médios, conforme Eq. 2. |
| Aplicação de uma taxa de incremento no valor médio de cada variável aleatória e cálculo das derivadas parciais de FS | • Recomenda-se uma taxa de incremento entre 5 e 10%. Cada iteração será feita aplicando-se a taxa de incremento em um variável (ΔX_i) e mantendo-se as demais constantes. Calcula-se a variação no valor de FS, ou seja, ΔFS_i . Em seguida, calculam-se as derivadas parciais $\Delta FS_i / \Delta X_i$. |
| Cálculo da variância de FS: V [FS] | • Cálculo da variância do FS conforme Eq. 3. |
| Cálculo da probabilidade de ruptura | • Assumindo uma função de densidade de probabilidade para o FS, deve-se calcular a probabilidade de ruptura, conforme Eq.4 (no caso de distribuição normal). |
| Cálculo da contribuição relativa de cada variável aleatória na variância de FS | • Essa contribuição pode ser representada graficamente, sendo resultante da aplicação da Eq. 3. As variáveis aleatórias que apresentam maior relevância poderão ser selecionadas para a próxima etapa da análise probabilística. |

Figura 4 – Etapas de Cálculo para Aplicação do Método FOSM.

Observa-se que o **valor médio do FS** corresponde ao resultado da análise de estabilidade para os valores médios das variáveis aleatórias, considerando que as mesmas sejam independentes entre si.



| | | |
|---|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 10 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Em relação ao cálculo da probabilidade de ruptura, deve-se assumir uma distribuição de densidade de probabilidade para o fator de segurança. Caso seja assumida uma distribuição normal, o valor da probabilidade de ruptura pode ser calculado a partir da seguinte equação por meio do programa Excel:

$$\text{DIST.NORM.N}(x; \text{média}; \text{desvio padrão}; \text{cumulativo}) \quad (\text{Eq.4})$$

onde o valor x corresponde ao valor referente à falha ($x = 1$). Observa-se também que o valor lógico “cumulativo” deve ser definido como VERDADEIRO para considerar uma função de distribuição cumulativa.

Em relação à Eq. 4, observa-se que o programa Excel possui equações similares para outras distribuições, tais como: lognormal, exponencial e beta.

Observa-se que a aplicação do método FOSM requer a realização de $n + 1$ análises, onde n é o número de variáveis aleatórias utilizadas. Uma análise será, portanto, realizada com os parâmetros médios, obtendo o fator de segurança médio e as demais análises serão realizadas variando cada variável aleatória por uma taxa de incremento de 5 a 10% e mantendo as demais variáveis constantes.

Desta forma, deverá ser calculada, para cada iteração i , a derivada parcial $\delta FS_i / \delta X_i$ apresentada na Eq. 3. Essa derivada corresponde à diferença entre o fator de segurança obtido na iteração i e o fator de segurança médio dividido pela variação da variável aleatória. Aplicando a Eq. 3, calcula-se a variância do FS.

Vale observar que o método FOSM calcula a variância de FS tendo como base tão somente o mecanismo de ruptura obtido com os parâmetros médios.

O método FOSM permite, além do cálculo da probabilidade de ruptura, a verificação da contribuição relativa de cada variável aleatória no valor total da variância do fator de segurança. Desta forma, pode-se utilizar esse resultado para selecionar quais variáveis aleatórias são mais importantes na variação do FS e utilizar somente essas variáveis na próxima etapa de análise com a aplicação de outro método probabilístico (Rosenblueth e/ou Monte Carlo, por exemplo).

A Figura 5 ilustra o resultado da aplicação do método FOSM, onde é representada graficamente a contribuição de cada variável aleatória na variação do FS. No eixo horizontal são representadas as variáveis aleatórias consideradas no exemplo em questão e no eixo vertical o valor em porcentagem da contribuição de cada variável aleatória na variância do fator de segurança.

Neste exemplo poderiam ser selecionados como variáveis aleatórias para o próximo estágio da análise probabilística, os ângulos de atrito dos materiais AT1 e AT2 e a coesão dos materiais AT1 e AT2. As demais variáveis poderiam ser desprezadas no estudo. A soma da contribuição das quatro variáveis aleatórias, neste caso, corresponderia a 99,7%. Entretanto, destaca-se que não existe uma regra geral para definir um valor mínimo de porcentagem de contribuição para o qual a variável poderá ser desprezada. A recomendação geral é, portanto, utilizar o julgamento de engenharia para essa definição.

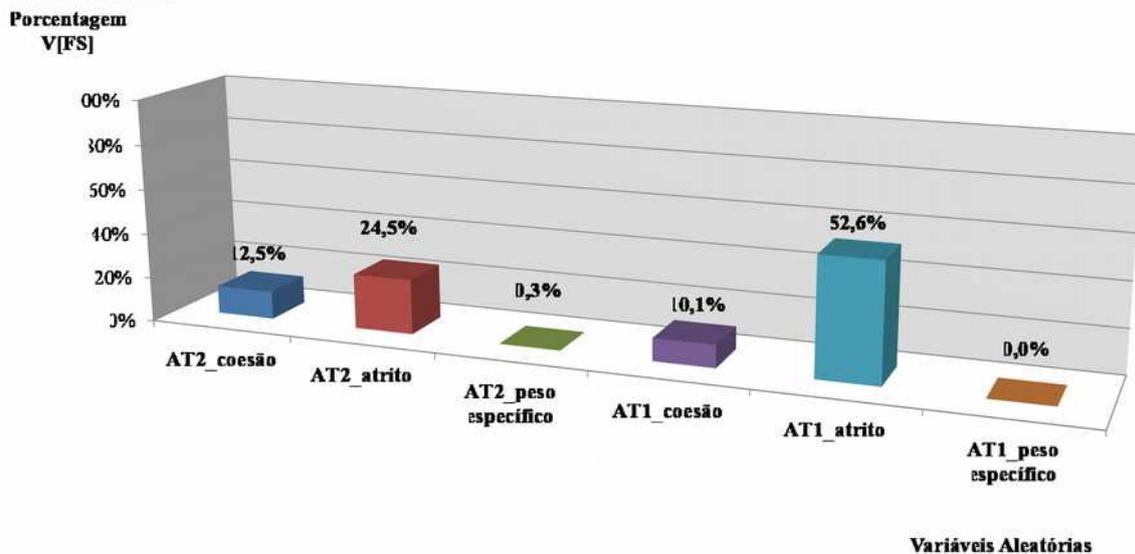


Figura 5 – Exemplo de Representação Gráfica da Contribuição de Cada Variável Aleatória na Variação do FS.

5.3.3 Comentários Finais

O método FOSM apresenta como vantagens o fato de ser um método simples e que fornece resultados importantes, tais como, a probabilidade de ruptura e a contribuição de cada variável aleatória na variação do fator de segurança. O método apresenta, portanto, um ganho em relação à análise de sensibilidade convencional, pois quantifica de maneira estruturada e metodológica a influência de cada variável.

Como ponto negativo está o fato de que se deve assumir uma distribuição estatística para o FS no cálculo da probabilidade de ruptura e, conseqüentemente, os resultados podem variar dependendo da função escolhida. Além disso, pode-se ter uma variação na porcentagem de contribuição de cada variável aleatória em função da taxa de incremento utilizada. Contudo, em geral, essa variação não compromete de maneira importante os resultados fornecidos pelo método.

Observa-se também que o método FOSM não pode ser aplicado aos casos onde a posição da superfície crítica se altera de forma significativa em função da variação das variáveis aleatórias. Neste caso, recomenda-se a aplicação dos métodos de Rosenblueth ou Monte Carlo.

Exemplos de aplicação do método FOSM no cálculo da probabilidade de ruptura de taludes de barragens e diques podem ser encontrados nos seguintes relatórios:

- Pimenta de Ávila Consultoria, Novembro 2013. Documento RD-643-RL-32769. Análise da Probabilidade de Ruptura dos Modos de Falha da Barragem Sul Superior - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, Dezembro 2014. Documento RD-654-RL-38182-00. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem Peneirinha - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, Dezembro 2014. Documento RD-654-RL-38482-00. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem do Galego - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, Dezembro 2014. Documento RD-654-RL-38685-00. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem 5 - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, Dezembro 2014. Documento RD-654-RL-38686-00. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem 7B - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.
- Pimenta de Ávila Consultoria, Dezembro 2014. Documento RD-654-RL-38687-00. Análise da Probabilidade de Ruptura da Barragem 8B - Relatório Técnico - GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos.

5.4 Método de Rosenblueth ou Método dos Pontos de Estimativa (PEM)



ETAPA 4
Aplicação do Método de
Rosenblueth e/ou
Método Monte Carlo

- Cálculo do FS médio probabilístico;
- Cálculo do desvio padrão do FS;
- Cálculo da probabilidade de ruptura.

O **método dos pontos de estimativa de Rosenblueth** corresponde a um método probabilístico largamente utilizado na engenharia geotécnica para uma variedade de casos práticos. É um método simples, direto e efetivo para o cálculo dos momentos (i.e. média, desvio padrão, coeficiente de assimetria etc.) das funções de variáveis aleatórias (fator de segurança, recalques, deformações etc) conhecendo apenas a média e o desvio padrão dessas variáveis ou as suas estimativas. Além disso, assumindo uma dada distribuição para o fator de segurança, pode-se calcular a probabilidade de ruptura.

5.4.1 Aspectos Teóricos

O método dos pontos de estimativa é um método numérico que, a partir dos momentos das variáveis independentes X_i , fornece aproximações para os momentos das variáveis dependentes Y . As variáveis independentes podem ser as propriedades dos materiais, parâmetros geométricos, carregamentos, entre outros. As variáveis dependentes podem ser o fator de segurança, recalques, vazão, entre outros. Neste método, a distribuição de uma variável aleatória X_i é concentrada em dois pontos particulares localizados por:

$$X_{i+\hat{\epsilon}} = \hat{X}_i + \sigma_i \hat{\epsilon} \quad (\text{Eq.5})$$

$$X_{i-\hat{\epsilon}} = \hat{X}_i - \sigma_i \hat{\epsilon} \quad (\text{Eq.6})$$

onde:

\hat{X}_i e σ_i são o valor médio e o desvio padrão da distribuição da variável aleatória X_i .

Informações adicionais sobre o método de Rosenblueth podem ser encontradas em Rosenblueth (1975) e Baecher & Christian (2003).

5.4.2 Metodologia

As etapas de cálculo para aplicação do método de Rosenblueth podem ser resumidas conforme apresenta a Figura 6. A Figura 7 ilustra esquematicamente o processo de análise.

Em termos gerais, inicialmente, para cada variável aleatória, calculam-se amostras (pontos de estimativa) que estão a um desvio padrão de cada lado do valor médio (Eq. 5 e Eq. 6). Para o caso de n variáveis correlacionadas ou não, são necessários 2^n valores estimados para cada combinação dos pontos particulares X_{i+} e X_{i-} . Após o cálculo das 2^n soluções, o valor médio e o desvio padrão do fator de segurança são calculados, utilizando as expressões gerais de média e desvio padrão. Assumindo-se uma distribuição para o fator de segurança, calcula-se a probabilidade de ruptura, conforme Eq. 4, caso se assumida uma distribuição normal. A Figura 8 ilustra as combinações necessárias a serem realizadas para aplicação do método de Rosenblueth considerando n variáveis aleatórias.



| Etapas da Análise | Observações |
|---|--|
| Identificação das variáveis aleatórias que contribuem para a incerteza de FS. | • Por meio de análises determinísticas preliminares, análises de sensibilidade, julgamento de engenharia e/ou aplicação do método FOSM. |
| Cálculo da média de cada variável aleatória | • Baseado em dados de ensaios de laboratório ou de campo. Na falta de dados com representatividade estatística, assumir o dado existente como valor médio. |
| Cálculo do desvio padrão de cada variável aleatória | • Baseado em dados de ensaios de laboratório ou de campo. Na falta de dados com representatividade estatística, utilizar o coeficiente de variação para determinação do desvio padrão. |
| Cálculo das amostras (pontos de estimativa) que estão a um desvio padrão de cada lado do valor médio. | • Realizar 2 ^o combinações conforme Figura 8. |
| Após o cálculo de 2 ^o soluções, cálculo do valor médio e o desvio padrão de FS | • O valor médio e o desvio padrão de FS são calculados utilizando os resultados de FS obtidos em cada iteração realizada, conforme formulação apresentada na Tabela 1. |
| Cálculo da probabilidade de ruptura | • Assumindo uma função de densidade de probabilidade para o FS, deve-se calcular a probabilidade de ruptura, conforme Eq.4 (no caso de distribuição normal). |

Figura 6 - Etapas de Cálculo para Aplicação do Método de Rosenblueth.

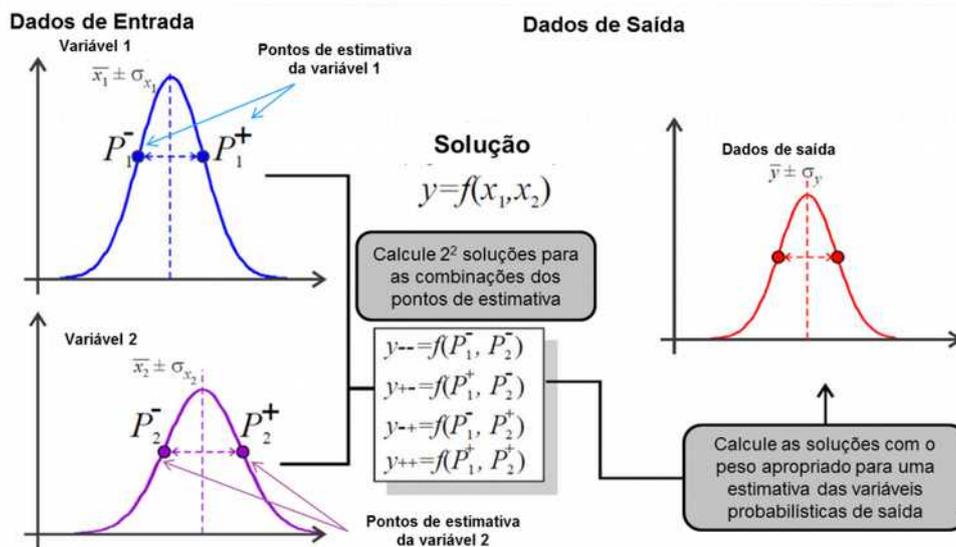


Figura 7 – Metodologia Esquemática para Aplicação do Método de Rosenblueth (modificado de Rocscience, 2013).



| | | |
|---|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 14 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Número de Variáveis Aleatórias

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | ... | n |
|----------|----|---|---|---|---|-----|---|
| <i>N</i> | 1 | - | - | - | - | | |
| | 2 | + | - | - | - | | |
| 2^1 | 3 | - | + | - | - | | |
| | 4 | + | + | - | - | | |
| 2^2 | 5 | - | - | + | - | | |
| | 6 | + | - | + | - | | |
| <i>d</i> | 7 | - | + | + | - | | |
| | 8 | + | + | + | - | | |
| 2^3 | 9 | - | - | - | + | | |
| | 10 | + | - | - | + | | |
| <i>T</i> | 11 | - | + | - | + | | |
| | 12 | + | + | - | + | | |
| <i>r</i> | 13 | - | - | + | + | | |
| | 14 | + | - | + | + | | |
| <i>m</i> | 15 | - | + | + | + | | |
| | 16 | + | + | + | + | | |
| 2^4 | 17 | | | | | | |
| | 18 | | | | | | |
| 2^n | 19 | | | | | | |
| | 20 | | | | | | |

Figura 8 – Combinação (2^n) dos Pontos Particulares X_{i+} e X_{i-} . (Maia, 2003)

Deve-se observar que o **valor médio probabilístico do FS** é obtido como a média dos valores de FS calculados em cada iteração mostrada na Figura 8 e de acordo com a formulação apresentada na Tabela 1. Da mesma maneira, calcula-se a **variância e o desvio padrão do FS** utilizando os resultados das 2^n iterações e a formulação da Tabela 1. Ressalta-se que, em geral, o valor médio probabilístico do FS deve estar próximo do FS médio determinístico, obtido com os valores médios das variáveis aleatórias.

5.4.3. Comentários Finais

O método de Rosenblueth apresenta como vantagem o fato de ser um método simples, direto e efetivo que fornece a média, o desvio padrão e outros momentos das funções de variáveis aleatórias conhecendo-se apenas a média e o desvio padrão dessas variáveis ou as suas estimativas. Além disso, assumindo-se uma dada distribuição para o fator de segurança, pode-se calcular a probabilidade de ruptura.

Ademais, é um método razoavelmente robusto sendo satisfatoriamente acurado para uma gama de problemas práticos, requerendo pouco conhecimento da teoria da probabilidade (Baecher & Christian, 2003). Observa-se também que este método proporciona uma busca maior da superfície crítica no talude quando comparado ao método FOSM, pois não limita esta busca aos parâmetros médios.

Como desvantagem do método, pode-se citar que o número de cálculos necessários e, conseqüentemente, o esforço computacional aumentam rapidamente com o número de variáveis aleatórias utilizadas. Além disso, Baecher & Christian (2003) recomendam a sua aplicação para estimativa de momentos até segunda ordem (média e variância), e acima disso, o método deve ser usado com cautela.

Exemplos de aplicação do método de Rosenblueth no cálculo da probabilidade de ruptura de taludes de barragens e diques podem ser encontrados nos relatórios citados no Item 5.3.3.

5.5 Método Monte Carlo



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 15 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

O **método Monte Carlo** corresponde a um método probabilístico largamente utilizado em vários campos da engenharia e da ciência como um todo. Esse método vem sendo empregado para estudar tanto sistemas estocásticos (aleatórios) como sistemas determinísticos (Baecher & Christian, 2003).

É um método prático que permite a determinação de uma função de distribuição do fator de segurança, a partir da qual se pode determinar a média e o desvio padrão do FS, além da probabilidade de ruptura.

5.5.1 Aspectos Teóricos

O método Monte Carlo é um procedimento iterativo onde cada variável aleatória é representada por uma **função de densidade de probabilidade**. Análises convencionais (iterações) são repetidas e o valor de cada variável aleatória é modificado por meio de um gerador de números aleatórios (USACE, 2013).

Observa-se que o método Monte Carlo pode ser dividido em duas categorias que algumas vezes se sobrepõem: simulação de um processo que é fundamentalmente estocástico (aleatório) e análise de problemas que não são inerentemente estocásticos, mas que podem ser resolvidos pela simulação com variáveis aleatórias, como por exemplo, a integração de uma função (Baecher & Christian, 2003).

5.5.2 Metodologia

As etapas de cálculo para aplicação do método Monte Carlo podem ser resumidas conforme apresenta a Figura 9 e o fluxograma do Anexo A. A Figura 10 ilustra esquematicamente o processo da análise.

| Etapas da Análise | Observações |
|--|--|
| Identificação das variáveis aleatórias que contribuem para a incerteza de FS. | • Por meio de análises determinísticas preliminares, análises de sensibilidade, julgamento de engenharia e/ou aplicação do método FOSM. |
| Cálculo da média de cada variável aleatória. | • Baseado em dados de ensaios de laboratório ou de campo. Na falta de dados com representatividade estatística, assumir o dado existente como valor médio. |
| Cálculo do desvio padrão de cada variável aleatória. | • Baseado em dados de ensaios de laboratório ou de campo. Na falta de dados com representatividade estatística, utilizar o coeficiente de variação para determinação do desvio padrão. |
| Estimativa da função de distribuição de probabilidade para cada variável aleatória. | • O ajuste da função de distribuição aos dados disponíveis pode ser realizado por meio de um teste de hipóteses, tal como, o teste K-S. Na falta de dados, pode-se também assumir uma forma para a distribuição. |
| Geração de valores aleatórios para cada variável considerada. | • Programas de estabilidade de taludes comerciais apresentam geralmente embutido um gerador de números aleatórios. |
| Cálculo de FS | • Registrar número de vezes em que $FS < 1,0$ |
| Repetição do processo N vezes e, em seguida, determinação da probabilidade de ruptura. | • A probabilidade de ruptura é calculada pelo número de vezes em que $FS < 1,0$ dividido pelo número total de iterações N. • O valor médio e o desvio padrão de FS são calculados. |

Figura 9 - Etapas de Cálculo para Aplicação do Método Monte Carlo.

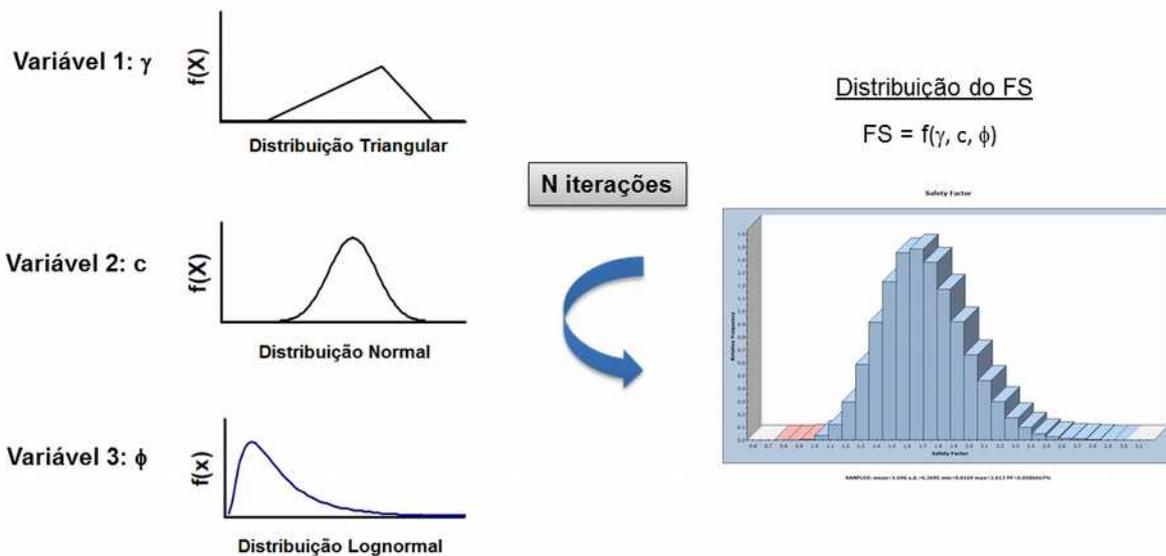


Figura 10 - Metodologia Esquemática para Aplicação do Método Monte Carlo.

De maneira geral, as simulações realizadas pelo método Monte Carlo utilizam as análises convencionais de busca da superfície crítica e do fator de segurança mínimo. Contudo, essas análises são repetidas milhares de vezes até a convergência do método. Além disso, as variáveis aleatórias são representadas por funções de densidade de probabilidade e os valores determinísticos são representados como constantes.

O método Monte Carlo usa um gerador de números aleatórios para selecionar o valor de cada variável aleatória de acordo com a função de densidade de probabilidade especificada. Para cada iteração (análise), um fator de segurança é calculado. Ao término de um número N de iterações, a probabilidade de ruptura (P_f) é calculada dividindo-se o número de iterações, para os quais o FS foi inferior a 1,0, pelo número total de iterações realizadas, tal como apresenta a equação abaixo:

$$P_f = (N - M)/N \quad (\text{Eq. 7})$$

onde:

N: número total de iterações;

M: número de vezes em que o FS é maior que 1,0;

Além disso, o fator de segurança médio e o desvio padrão de FS são calculados utilizando as expressões gerais de média e desvio padrão.

Observa-se que as iterações são repetidas um número N de vezes até a convergência do processo. O número total de cálculos N pode ser estimado considerando uma tolerância assumida, conforme a seguinte equação:

$$N = \left(\frac{Z^2 \frac{\alpha}{2}}{4 \alpha^2} \right)^n \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

N: número total de iterações;

Z: parâmetro de confiabilidade;



| | | |
|---|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 17 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

α = tolerância

n = número de variáveis aleatórias.

Observa-se que, dependendo do número de variáveis aleatórias consideradas e do nível de confiança desejado, pode-se obter um valor muito elevado de iterações, de acordo com a Eq. 8. Desta forma, quando se tem a impossibilidade de rodar o número de iterações indicado pela Eq. 8 ou quando o número de análises foi insuficiente para a determinação da probabilidade de ruptura, deve-se utilizar a média e o desvio padrão do FS obtidos a partir do número de cálculos realizados e depois assumir uma função de distribuição de probabilidade para a estimativa da probabilidade de ruptura.

Outra forma para avaliar a convergência do processo de análise consiste na obtenção de uma curva suave de distribuição do FS e em uma variação desprezível ou nula do valor médio probabilístico, do desvio padrão do FS e da probabilidade de ruptura com o aumento do número de iterações. Ressalta-se também que, em geral, o valor médio probabilístico do FS deve estar próximo do FS médio determinístico, obtido com os valores médios das variáveis aleatórias.

5.5.3 Distribuição Estatística

Como observado anteriormente, quando se aplica o método Monte Carlo, cada variável aleatória deve ser representada por uma função de densidade de probabilidade. Existem diversas funções de densidade de probabilidade, porém as mais comumente utilizadas em engenharia geotécnica são a distribuição uniforme, a distribuição triangular, a distribuição normal e a distribuição lognormal. Recomenda-se que outras funções de distribuição sejam utilizadas no caso de existirem dados de ensaios que se ajustem a essas funções.

A USACE (2006) listou parâmetros que são utilizados em engenharia geotécnica e as funções de densidade de probabilidade que tipicamente melhor representam aqueles parâmetros, tal como mostra a Tabela 3. Essa tabela pode ser utilizada para orientar a escolha da função de densidade de probabilidade que melhor represente a variável aleatória.

5.5.4 Comentários Finais

O método Monte Carlo apresenta como vantagem o fato de ser um método robusto e que fornece uma função de distribuição do fator de segurança como resultado das N iterações realizadas, permitindo o cálculo do fator de segurança médio probabilístico, desvio padrão e probabilidade de ruptura.

Além disso, o método permite que sejam utilizados diferentes tipos de distribuição e qualquer número de variáveis aleatórias, as quais podem ou não ser independentes entre si (Harr, 1977; Athanasiou-Grivas, 1980 citado por Willie & Mah, 2004).

Como desvantagem do método, pode-se citar o grande número de iterações necessárias para a convergência do processo, o qual pode ser muito lento. Observa-se, no entanto, que essa desvantagem pode ser minimizada pelo fato de que ferramentas computacionais de análise de estabilidade de taludes já apresentam inserido o método Monte Carlo como ferramenta para análise probabilística.

Exemplos de aplicação do método Monte Carlo no cálculo da probabilidade de ruptura de taludes de barragens e diques podem ser encontrados nos relatórios citados no Item 5.3.3.



Tabela 3 – Funções de Densidade de Probabilidade para Variáveis Aleatórias em Engenharia Geotécnica (USACE, 2006).

| Parâmetro | Função de Densidade de Probabilidade | Referência |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Variáveis que não podem tomar valores negativos | LN | Lacasse & Nadim (1996) ¹ |
| Pesos específicos | N | Lacasse & Nadim (1996) |
| Resistência de Cone: | | |
| Areia | LN | Lacasse & Nadim (1996) |
| Argila | N/LN | Lacasse & Nadim (1996) |
| Resistência ao cisalhamento não drenada S_u : | | |
| Argila | LN | Lacasse & Nadim (1996) |
| Silte Argiloso | N | Lacasse & Nadim (1996) |
| Razão S_u/σ'_{v0} - Argila | N/LN | Lacasse & Nadim (1996) |
| Limites líquido e plástico | N | Lacasse & Nadim (1996) |
| Ângulo de atrito - Areia | N | Lacasse & Nadim (1996) |
| Índice de vazios e porosidade | N | Lacasse & Nadim (1996) |
| Razão de sobreadensamento | N/ LN | Lacasse & Nadim (1996) |
| Informações limitadas: | | |
| Apenas valor mais alto & mais baixo | U | Mosher ² |
| Mais alto, mais baixo & mais provável | T | Mosher |
| Sem informação | U | Hobbs ³ |
| Distribuições resultantes de: | | |
| Soma | N | - |
| Multiplicação | LN | - |

N: distribuição normal

N/LN: distribuições normal e lognormal

LN: distribuição lognormal

U: distribuição uniforme

T: distribuição triangular

¹ Lacasse, Suzanne, and Nadim, Farrokh (1996) , "Uncertainties in Characterizing Soil Properties," Uncertainty in the Geologic Environment: From Theory to Practice, ASCE Geotechnical Special Report No. 58, Volume 2, American Society of Civil Engineers, New York, NY, 1996.

² Mosher, David, (1997), PROSPECT Training Course: "Risk Analysis for Water Resources Planning and Management."

³ Hobbs, Benjamin, (1997), PROSPECT Training Course: "Risk Analysis for Water Resources Planning and Management."

5.6 Conclusões

Os métodos probabilísticos apresentados neste procedimento (FOSM, Rosenblueth e Monte Carlo) vêm sendo largamente utilizados em várias áreas da engenharia e das ciências como um todo. A aplicação dos mesmos permite a estimativa da probabilidade de ruptura do barramento, o qual será utilizado para o cálculo do risco.

Deve-se ressaltar que a aplicação dos métodos probabilísticos não substitui o julgamento de engenharia na definição do modelo geológico-geotécnico a ser utilizado na análise, na escolha das variáveis aleatórias e/ou na interpretação dos resultados obtidos nas análises.



| | | |
|---|------------------------|---------------------|
| Riscos em Modo de Falha da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 19 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

5.7 Instabilização por Colmatação do Dreno de Pé

Ainda considerando o modo de falha primário de Instabilização, esta poderá ser devida à colmatação do dreno de pé, com a elevação das poropressões no interior do maciço. Neste caso, a quantificação da probabilidade de instabilização do barramento poderá ser calculada por métodos probabilísticos associados ou não a árvores de eventos e árvores de falhas, de acordo com as orientações gerais do Item 6 deste procedimento.

Caso o risco de colmatação do dreno já esteja materializado em campo, ou seja, o dreno encontra-se visualmente obstruído ou a instrumentação indica esta obstrução, o método de análise probabilística deverá ser utilizado diretamente, já utilizando estas informações.

No caso de uma possível colmatação do dreno de pé, pode ser empregada a árvore de eventos apresentada na Figura 11, sendo as probabilidades nos nós atribuídas como descrito a seguir:

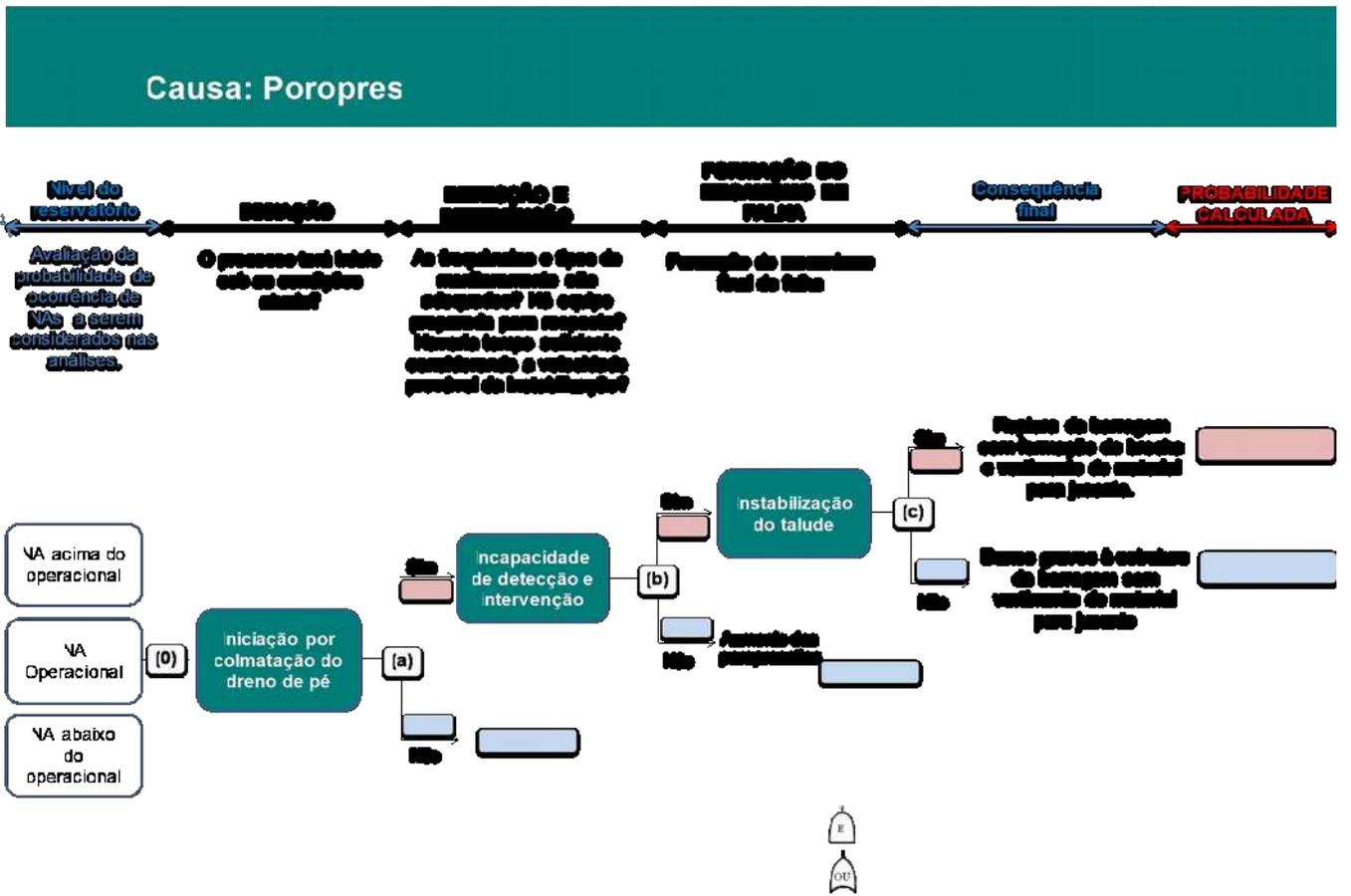


Figura 11 – Árvore de Falhas Padronizada para o Modo de Falha INSTABILIZAÇÃO devido à colmatação do dreno de pé.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 20 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Nó 0 – NÍVEL DO RESERVATÓRIO

Quando o reservatório for operado no NA Operacional, atribuir a probabilidade $P = 1$ para este nó.

Quando a regra operativa determinar NAs inferiores ao operacional e/ou os registros de leitura da régua do reservatório mostrarem níveis d'água inferiores ao operacional com frequência considerável, atribuir para este nó a probabilidade de permanência do NA acima do requerido para a instabilização do talude.

Nó a - INICIAÇÃO

Caso o dreno de pé já se encontre colmatado, deverá ser atribuída probabilidade $P=1$ para o nó (a).

Caso seja feita a opção de se utilizar árvores de falhas para a definição da probabilidade neste nó, poderão ser utilizadas as árvores apresentadas neste procedimento.

Para a definição da probabilidade de iniciação por colmatagem do dreno de pé, poderá ser empregada a árvore de falhas apresentada na Figura 12 e Tabela 4, a seguir.

Nas tabelas de fatores de influência na probabilidade de ocorrência de cada evento, a coluna “Observação” deverá ser preenchida com evidências e justificativas da quantificação escolhida (mais provável, provável, neutro, pouco provável).

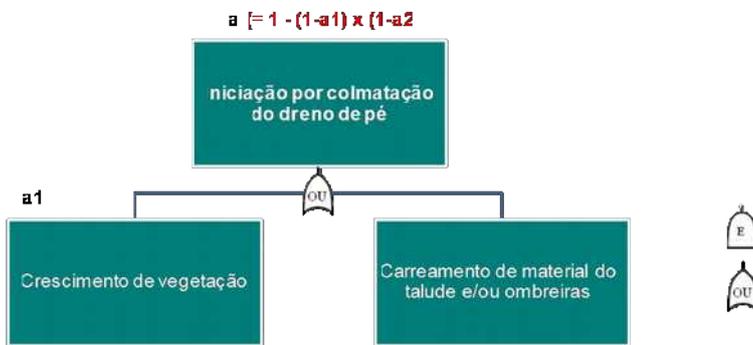


Figura 12 – Árvore de Falha para Iniciação por Colmatagem do Dreno de Pé.

Tabela 4 – Fatores de Influência na Probabilidade Iniciação por Colmatagem do Dreno de Pé.

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|--------------------------------------|---|--|------------|
| Crescimento de vegetação | Inexistência de manutenção corretiva | Existência de Manutenção preventiva não-sistemática | Existência de manutenção preventiva sistemática (limpeza cuidadosa com periodicidade definida) | - |
| Carreamento de material do talude e/ou ombreiras | Inexistência de manutenção corretiva | Existência de manutenção corretiva | Existência de manutenção preditiva | - |

Nó b – INCAPACIDADE DE DETECÇÃO E INTERVENÇÃO

Caso o dreno de pé já se encontre colmatado e já existirem evidências do início de instabilização, deverá ser atribuída probabilidade $P=1$ para o nó (b).

Caso contrário, a probabilidade poderá ser definida por julgamento de engenharia ou empregando a árvore de falhas apresentada na **Figura 13** e **Tabela 5**.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 21 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |



Figura 13 – Árvore de Falha para Incapacidade de Detecção e Intervenção.

Tabela 5 – Fatores de Influência na Probabilidade de Incapacidade de Detecção e Intervenção.

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|--|---|--|---|------------|
| Efetividade do ambiente de controle ⁽¹⁾ | Ambiente de controle informal ⁽²⁾ | Ambiente de controle padronizado ⁽³⁾ | Ambiente de controle monitorado ⁽⁴⁾ | Ambiente de controle otimizado ⁽⁵⁾ | |
| Tempo de formação da brecha | Rápido (horas) | - | Médio (dias a semanas) | Lento (semanas ou meses) | |
| Adequação dos acessos | Acesso precário, em especial nos períodos chuvosos | - | Obra em local de difícil acesso | Obra em local de fácil acesso | |
| Prontidão para resposta | Inexistência de PAE, equipes sem treinamento | - | Existência de PAE, equipes sem treinamento | Disponibilidade e preparo da equipe de resposta | |

Nota1: A efetividade do ambiente de controle é um indicativo da probabilidade de não identificar um risco geotécnico em tempo hábil para sua neutralização antes da ocorrência da ruptura da barragem.

Nota 2: Ambiente de controle informal: Realização de inspeções visuais e leituras da instrumentação sem padronização, com controle parcial das ocorrências identificadas e de planos de ação. Ausência de treinamento formal ou comunicação dos controles.

Nota 3: Ambiente de controle padronizado: Realização de inspeções visuais e leituras da instrumentação padronizadas e com a periodicidade adequada; com controle das ocorrências identificadas e de planos de ação de forma estruturada. A instrumentação instalada pode ser parcialmente adequada para o monitoramento dos modos de falha e os tipos de controle existentes parcialmente adequados ou insuficientes.

Nota 4: Ambiente de controle monitorado: Controles existentes adequados e suficientes e suportados por sistema informatizado bem estruturado. Existência de treinamento formal e comunicação dos controles. Os dados da instrumentação são analisados periodicamente e o banco de dados da instrumentação possui alertas automáticos.

Nota 5: Ambiente de controle otimizado: Controles existentes adequados e suficientes e suportados por sistema informatizado que integra as informações de inspeções e auditorias internas e externas e sistema padronizado de análise de riscos, permitindo tomadas de decisão rápidas e eficientes. Equipe treinada e responsabilidades bem definidas.

Nó c – INSTABILIZAÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

Calcular a estabilidade do talude por método probabilístico, conforme itens 5.3 a 5.5, simulando a condição de obstrução do dreno seja pela redução da permeabilidade, seja pela elevação da linha freática.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 22 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

6 EROSÃO INTERNA – ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS

As análises quantitativas de riscos para o modo de falha Erosão Interna de barragens e diques poderão ser realizadas utilizando as metodologias de Árvores de Eventos (ETA) e Árvores de Falhas (FTA).

Árvore de Eventos (ETA) é uma técnica gráfica para representar as sequências mutuamente excludentes de eventos após um evento iniciador (ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012). Pode ser aplicada qualitativa e quantitativamente e tem como diferencial a apresentação dos cenários potenciais analisados que sucedem um evento iniciador e o impacto do sucesso ou falha dos sistemas ou funções de atenuação de uma forma gráfica bastante clara.

Árvore de Falhas (FTA) é uma técnica para identificar e analisar os fatores que podem contribuir para um evento específico indesejado (chamado “evento de topo”). Fatores causais são identificados por dedução e organizados de maneira lógica (ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012). Ao contrário da árvore de eventos, que começa com os eventos iniciais ou causas no lado esquerdo do diagrama e progride em direção a um maior detalhamento das consequências, a árvore de falhas começa com as consequências (e.g. rupturas), tipicamente no topo do diagrama e progride “para trás” em direção a um maior detalhamento das causas, localizadas na parte inferior do diagrama.

Estes métodos têm sido usados por várias organizações, incluindo o USBR, USACE e organizações australianas desde o final da década de 90. Por outro lado, o processo de erosão interna é um fenômeno complexo que pode ser avaliado por múltiplas abordagens, todas em desenvolvimento no meio técnico especializado.

A padronização do método traz vantagens e desvantagens associadas: há uma padronização dos resultados, mas há tendência da equipe de análise focar mais na quantificação do que no entendimento do processo.

Deve-se ter em mente que a metodologia aqui apresentada se encontra em fase de desenvolvimento em nível mundial e que novas propostas de quantificação do risco associado a erosão interna em barragens e diques vêm evoluindo e passando por alterações nos últimos anos. Por isso, sugere-se que as probabilidades de ruptura associadas à erosão interna sejam truncadas em $P \geq 10^{-8}$.

A aplicação das metodologias para o caso específico seguirá as etapas a seguir:

6.1 Seleção de um Evento Iniciador

ETAPA 1
Seleção de um evento iniciador

- O evento iniciador ou gatilho pode ser um fator externo como precipitação de grande magnitude ou sismo natural ou artificial, fator interno como o nível d’água no reservatório excepcional ou não.

- Selecionar os níveis do reservatório para os quais as análises deverão ser realizadas.
- Selecionar os modos de falha pelos quais a erosão interna poderá se iniciar sob as condições de percolação existentes, utilizando a Árvore de Falha da Figura 14, considerando os eventos de riscos identificados e selecionados conforme o procedimento PRO - XXXX4 - Estabelecimento do Contexto e Identificação dos Eventos de Risco em Barramentos.

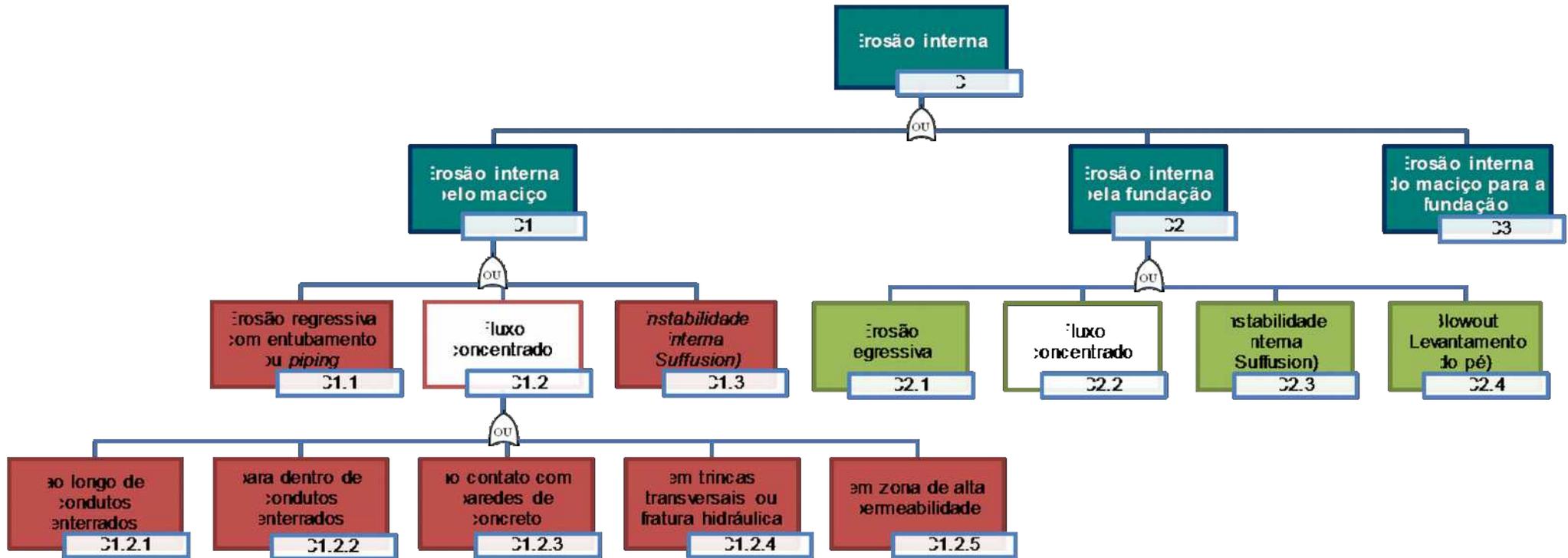


Figura 14 – Mecanismos de iniciação para o Modo de Falha EROSÃO INTERNA.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 24 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

6.2 Traçado da árvore de eventos desencadeados como resposta da estrutura

ETAPA 2

Traçado da árvore de eventos desencadeados como resposta da estrutura

- A construção da árvore de eventos é sequencial, da esquerda para a direita, em uma série de possíveis episódios decorrentes do evento iniciador;
- Ramo é a designação de cada trajeto que parte do evento iniciador. Cada ramo da árvore dá origem a dois outros, que representam uma situação de sucesso e o outro a situação de falha;
- As ocorrências consideradas em cada nó são mutuamente excludentes (não podem ocorrer ao mesmo tempo) e coletivamente exaustivas (um dos eventos deve necessariamente ocorrer) (Levine *et al.*, 2000).

A árvore de eventos para o modo de falha **EROSÃO INTERNA** poderá ser elaborada com base na sequência genérica de eventos proposta pelo USBR (2012), que compreende as seguintes etapas:

- ⇒ **Condições do nível d'água do reservatório;**
- ⇒ **Iniciação:** Início da erosão;
- ⇒ **Continuação:** Fluxo de água com saída sem filtro ou com filtro inadequado;
- ⇒ **Progressão:** Formação de tubo (teto estável e contínuo ou paredes laterais);
- ⇒ **Progressão:** Tubo permanece aberto (falha da zona de montante na limitação do fluxo);
- ⇒ **Insucesso na detecção e intervenção;**
- ⇒ **Progressão:** Formação do mecanismo final de ruptura; e
- ⇒ **Ruptura da barragem** (liberação sem controle do volume do reservatório).

A árvore de eventos para quantificação de um risco específico poderá ser traçada empregando o modelo apresentado na Figura 15. Erro: Origem da referência não encontrada ou utilizando diretamente o padrão existente no sistema computacional do GRG.

Segundo Fell (2005) os mecanismos finais de falha potenciais para erosão interna seriam alargamento do tubo, recalque da crista ou *sinkhole*, desembriçamento ou solapamento do pé da estrutura e instabilização do talude. Salienta-se que as árvores de evento e de falha apresentadas neste procedimento consideram apenas o mecanismo final de falha de "alargamento do tubo", o mais comum de acordo com estatísticas de ruptura de barragens como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Mecanismos Finais de Falha para o Caso de Erosão Interna pelo Maciço (segundo Fell et al., 2005).

| Mecanismos de formação da brecha | Nº de casos de ruptura |
|---------------------------------------|------------------------|
| Alargamento do tubo | 22 |
| Recalque da crista ou <i>sinkhole</i> | 3 |
| Desembriçamento ou solapamento do pé | 1 |
| Instabilização do talude | 1 |
| Desconhecido | 24 |

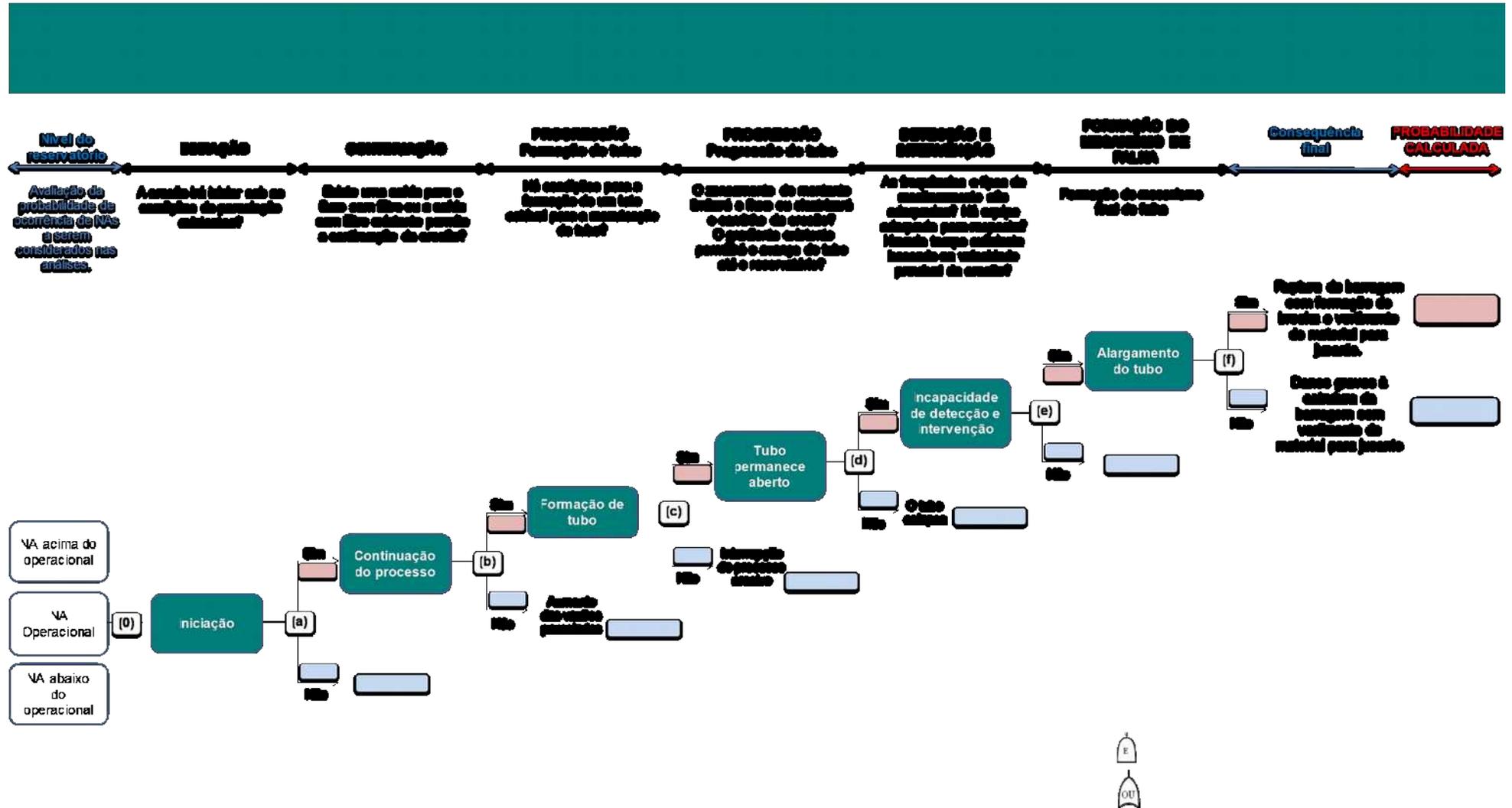


Figura 15 – Árvore de Eventos Padronizada para o Modo de Falha EROSÃO INTERNA.



6.3 Atribuição das probabilidades de cada nó da árvore de eventos

ETAPA 3
Atribuição das probabilidades de cada nó da árvore

- A estimativa da probabilidade de cada nó da árvore pode ser realizada por meio de análises estatísticas, modelos de confiabilidade, análises por árvores de falhas ou probabilidades subjetivas, extraídas da opinião qualificada de peritos;
- A probabilidade para cada par de eventos tem a soma igual a 1,0.

A estimativa da probabilidade de cada nó da árvore de eventos poderá ser efetuada, de acordo com o modo de falha sob análise e informações disponíveis, pelos métodos abaixo, empregados de forma isolada ou em conjunto:

- Baseada em análise probabilística;
- Utilizando árvores de falhas e planilhas de referência disponíveis na bibliografia, que avaliam os principais fatores de influência na probabilidade de ocorrência dos eventos; e
- Empregando julgamento de engenharia e descrições verbais, no caso da ausência de referenciais técnicos adequados para o caso em estudo, ou quando estes referenciais também apresentam descrições verbais para as probabilidades.

As descrições verbais para a correspondência com a probabilidade de ocorrência do evento avaliado são as apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Correspondência entre a Descrição Verbal da Chance de Ocorrência do Evento e o Valor de Probabilidade Adotado.

| DESCRIÇÃO VERBAL | PROBABILIDADE EQUIVALENTE |
|--|---------------------------|
| Virtualmente impossível | 0,01 |
| Pouco provável | 0,15 |
| Neutro Não se tem informação sobre as chances do evento ocorrer ou as chances de ocorrência são iguais. | 0,50 |
| Bastante provável | 0,70 |
| Mais provável | 0,85 |
| Virtualmente certo | 0,99 |

Fonte: Baseada em Vick, 1997; Lichtenstein & Newman, 1967 *apud* Baecher & Christian, 2003.



Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 27 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

Poderão ser utilizadas as árvores de falhas associadas a cada nó da árvore de eventos, com as respectivas planilhas de fatores de influência na probabilidade de ocorrência dos eventos (Tabela 7 a Tabela 45). Estas árvores de falhas também podem ser obtidas diretamente no sistema computacional do GRG.

Quando forem utilizadas as árvores de falhas (FTA) para a quantificação da probabilidade do nó, o cálculo das probabilidades deverá ser feito “de baixo pra cima”, empregando a álgebra Booleana:

Porta “E”: Probabilidade $P = P1 \times P2 \times \dots \times Pn$;

Porta “OU”: Probabilidade $P = (1 - (1 - P1) \times (1 - P2) \times \dots \times (1 - Pn))$.

São listados a seguir os passos para a quantificação da probabilidade de cada nó.

Salienta-se que a metodologia em questão encontra-se em desenvolvimento a nível mundial e que as tabelas apresentadas são orientativas, podendo as probabilidades de cada nó serem estimadas empregando informações estatísticas de séries históricas (podendo inclusive ser utilizado o histórico de falhas de barragens do portfólio da Vale) ou julgamento de engenharia, como citado anteriormente neste item.

6.3.1 EROSÃO INTERNA PELO MACIÇO

Atribuição das probabilidades de cada nó da árvore de eventos

Caso o risco de erosão interna já esteja materializado em campo, ou seja, já existir surgência com carreamento de material, a árvore de eventos deverá ter início no nó (c), ou seja, formação de tubo. Isto tem o mesmo significado de atribuir probabilidade $P = 1$ para os nós predecessores. A mesma observação vale para a situação na qual já exista a formação do tubo, quando a árvore de eventos deverá ter início no nó (d).

Nas tabelas de fatores de influência na probabilidade de ocorrência de cada evento, a coluna “Observação” deverá ser preenchida com evidências e justificativas da quantificação escolhida (mais provável, provável, neutro, pouco provável).

Nó 0 – NÍVEL DO RESERVATÓRIO

Avaliar para qual nível do reservatório o processo de erosão interna seria possível. Na ausência de informações, considerar que a erosão interna poderá ter início com o reservatório no NA Operacional.

Quando o processo puder ter início com o reservatório no NA Operacional e o reservatório for operado neste nível, atribuir a probabilidade $P = 1$ para este nó.

Quando a regra operativa determinar NAs inferiores ao operacional e/ou os registros de leitura da régua do reservatório mostrarem níveis d’água inferiores ao operacional com frequência considerável, atribuir para este nó a probabilidade de permanência do NA acima do requerido para o início do processo de erosão interna.

Nó a - INICIAÇÃO



Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 28 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

Caso seja feita a opção de se utilizar árvores de falhas para a definição da probabilidade neste nó, poderão ser utilizadas as árvores apresentadas neste procedimento.

Deve ser observada a numeração das Figuras e Tabelas a serem utilizadas de acordo com o evento iniciador e com o ramo da árvore de eventos apresentada na Figura 15 e árvore de falhas da Figura 14, cujo extrato para o modo de falha sob análise é mostrado na Figura 16.

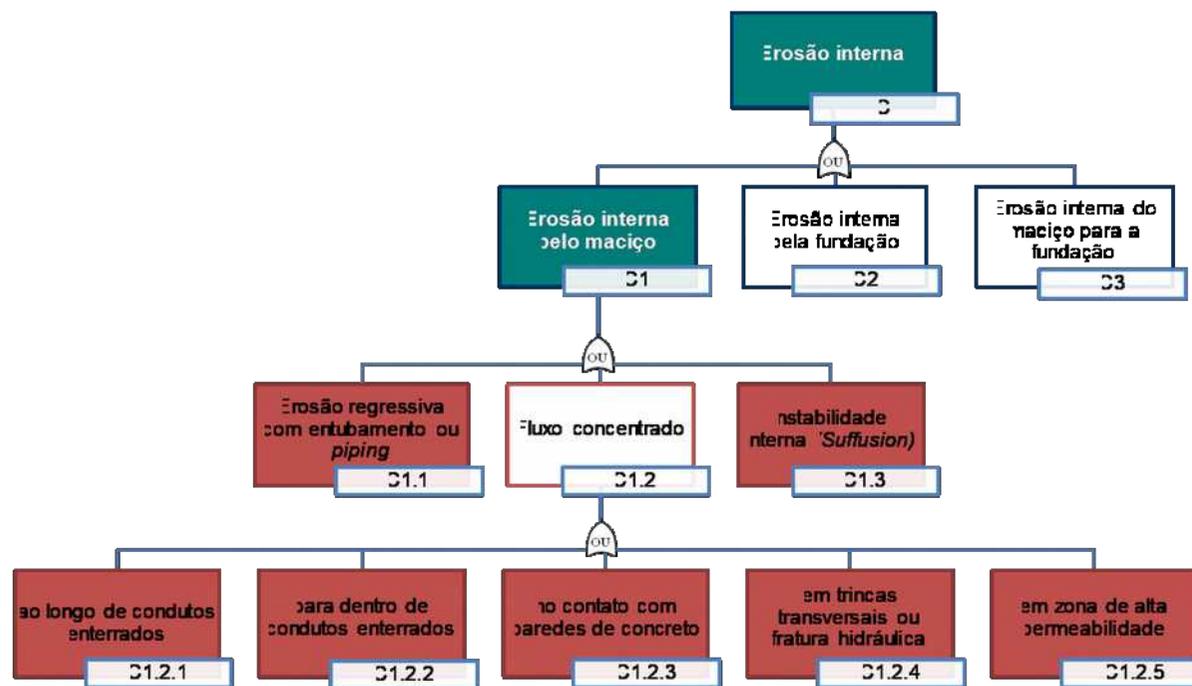


Figura 16 – Eventos Iniciadores para o Mecanismo de Falha de Erosão Interna pelo Maciço.



Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 29 de 57

Classificação: Interno

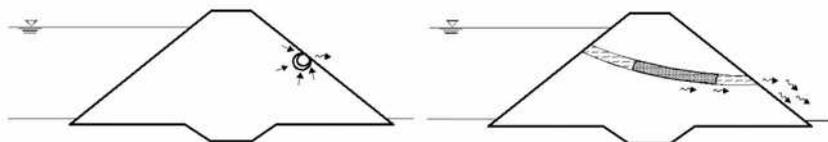
Rev.: 00-16/12/2015

Nó
PELO MACIÇO

a - C1.1 EROSÃO INTERNA

Tabela 8 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.

INICIAÇÃO POR EROSÃO REGRESSIVA
COM ENTUBAMENTO OU PIPING

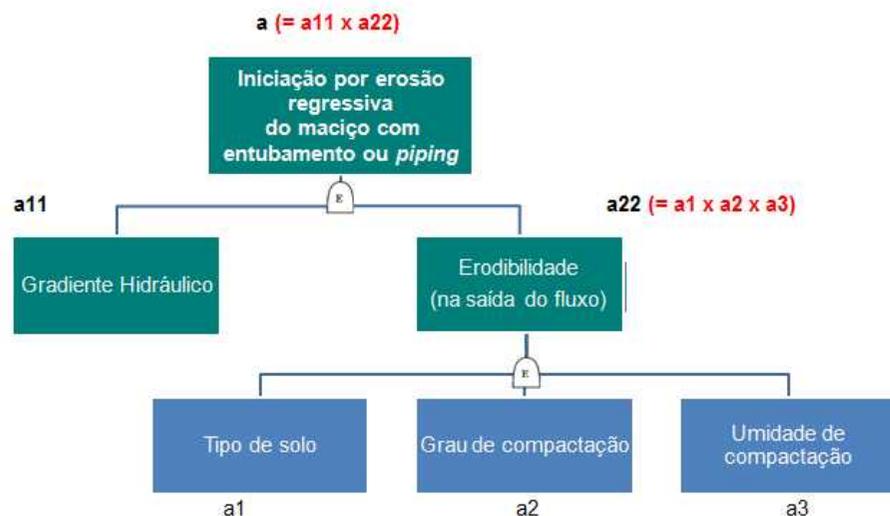


| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Tabela 9 - Fatores de Influência na Probabilidade de Início de Erosão Regressiva - Erodibilidade (na Saída do Fluxo) (modificado de Foster & Fell, 2000 *apud* Fell *et. al.*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-----------------------------------|---|--|--|------------|
| Tipo de solo⁽¹⁾ | Muito uniforme, areia fina sem coesão (IP < 6) Solo bem graduado sem coesão (IP < 6) | Solo bem graduado com coesão (6 < IP < 15) | Argila plástica (IP > 15) | |
| Grau de Compactação | Mal compactado, GC < 95% do grau de compactação normal | 95-98% do grau de compactação normal | Bem compactado, GC ≥ 98% do grau de compactação normal | |
| Umidade de Compactação | Mais seco do que a umidade ótima de compactação (cerca de -3% ou menor) | Compactação entre -1% e -2% da umidade ótima | Compactado na umidade ótima ou no ramo úmido | |

Árvore de Falhas 1



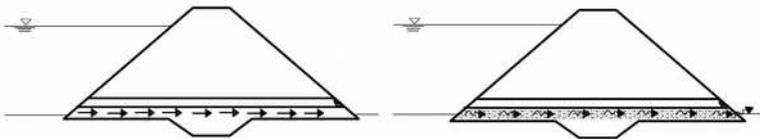
Nota 1: Avaliações do material do aterro na saída do fluxo.



Nó
PELO MACIÇO

a - C1.2.1 EROSÃO INTERNA

INICIAÇÃO POR FLUXO CONCENTRADO AO LONGO DE CONDUTO ENTERRADO



Árvore de Falhas 1

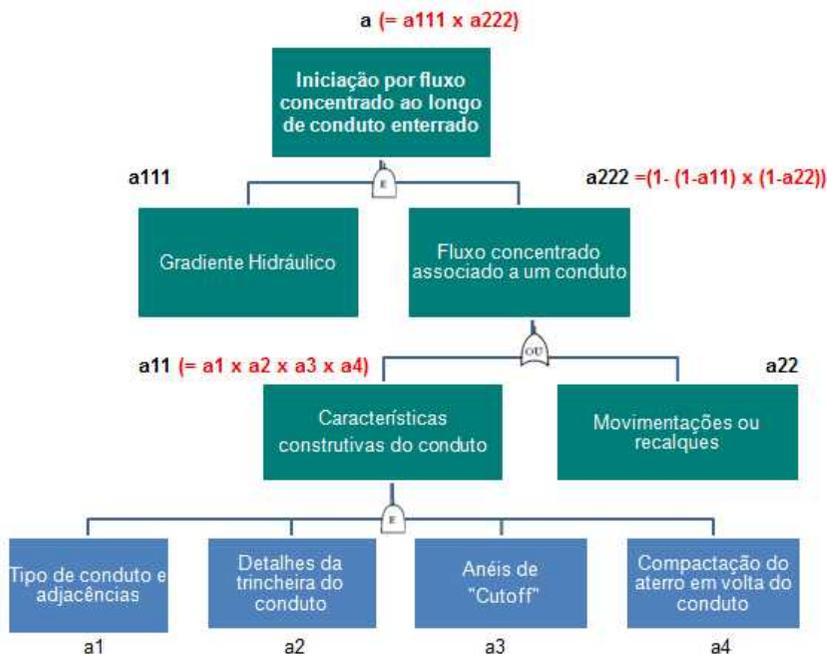


Tabela 10 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna-Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|----------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

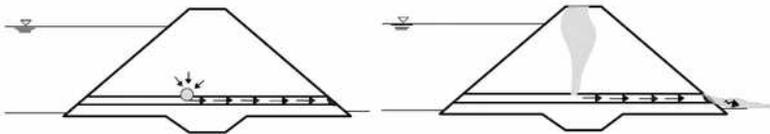
Tabela 11 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Fluxo Concentrado Associado a um Conduto (modificado de Fell et al, 2004 *apud* Fell & Fry, 2007).

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-----------------------------------|--|--|---|--|------------|
| Tipo de conduto e adjacências | Qualquer conduto circular, não envelopado com concreto | Conduto de pedra, tijolo, metal corrugado | Conduto circular envelopado com concreto, concreto pré-moldado ou moldado in loco, paredes laterais verticais | Conduto circular envelopado com concreto, concreto pré-moldado ou moldado in loco, laterais inclinadas (com trincheira larga para compactação) | |
| Detalhes da trincheira do conduto | Estreita, profunda, laterais quase verticais em solo ou rocha, repleta com solo | Largura, profundidade e inclinação das laterais com dimensões médias | Larga, inclinação mais suave que 1H:1V, largura da base superior à do conduto mais 2m para cada lado | Trincheira totalmente em rocha não erodível, preenchida até a superfície com concreto | |
| Anéis de Cutoff | Anéis de <i>cutoff</i> mal detalhados, pouco espaçados | Anéis de <i>cutoff</i> mal detalhados, muito espaçados | Anéis de <i>cutoff</i> bem detalhados, modelo USBR | Sem anéis de <i>cutoff</i> | |
| Compactação em volta do conduto | Sem compactação especial adjacente ao conduto | - | Compactação normal | Compactação cuidadosa adjacente ao conduto | |
| Movimentações ou recalques | Recalques significativos ou presença de solos de fundação altamente compressíveis. Junção com shaft dentro do maciço | Fundação em solo compressível espesso, grandes recalques calculados | - | Fundação em solo compressível pouco profundo, pequenos recalques calculados | |

Nó a - C1.2.2 EROSÃO INTERNA PELO MACIÇO



INICIAÇÃO POR
FLUXO CONCENTRADO
PARA DENTRO DE CONDUTO ENTERRADO



Árvore de Falhas 1

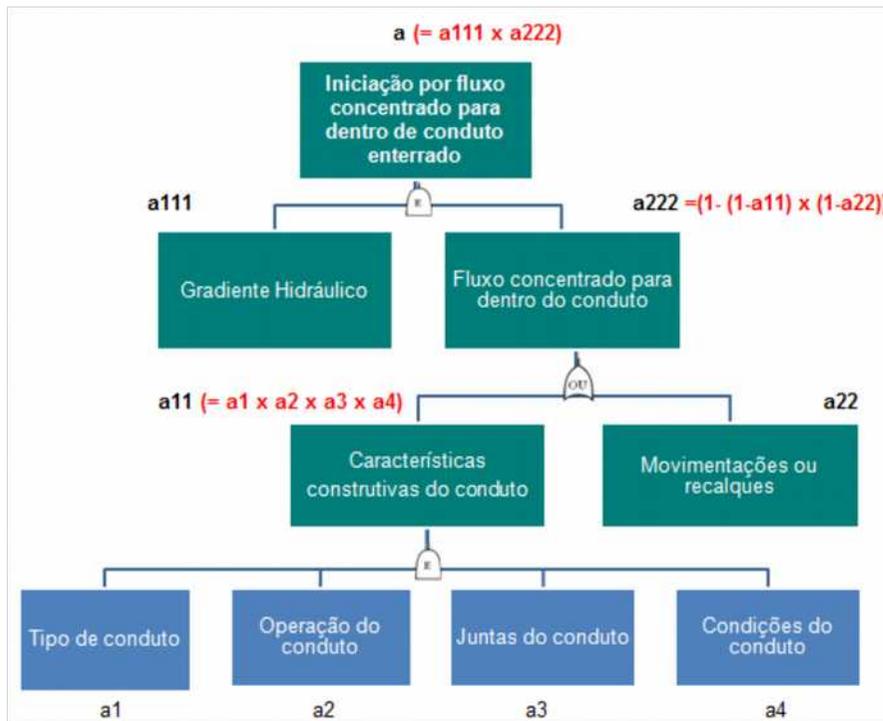


Tabela 12 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|----------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Tabela 13 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Fluxo Concentrado para Dentro do Conduto (modificado de Fell et al, 2004 *apud* Fell & Fry, 2007).

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|----------------------------|--|---|--|---|------------|
| Tipo de conduto | Alvenaria, tijolos, metal corrugado | Aço, ferro fundido, não envelopado | Ferro fundido envelopado com concreto. Concreto pré-moldado | Aço envelopado com concreto ou abrigado em galeria de concreto armado | |
| Operação do conduto | Conduto molhado, alta velocidade do fluxo na saída | Conduto molhado, velocidade do fluxo média a alta | Conduto molhado, veloc. do fluxo baixa, esvaziado regularmente para inspeções, ou seco | Conduto seco, inspecionado regularmente | |
| Juntas do conduto | Juntas abertas ou trincas com sinais de erosão | Juntas ou trincas | Juntas de alta qualidade, com aberturas de até 5mm com vedação | Juntas de alta qualidade com vedação, sem aberturas | |
| Condições do conduto | Envelhecido, material corroído | Material envelhecido | - | Aço novo com proteção contra a corrosão | |
| Movimentações ou Recalques | Recalques significativos ou presença de solos de fundação altamente compressíveis. Junção com shaft dentro do maciço | Fundação em solo compressível espesso, grandes recalques calculados | Fundação em solo compressível pouco profundo, pequenos recalques calculados | Fundação em rocha ou pequenos recalques medidos | |

Nó a- C1.2.3 EROÇÃO INTERNA PELO MACIÇO

INICIAÇÃO POR FLUXO CONCENTRADO NO CONTATO COM PAREDES DE CONCRETO



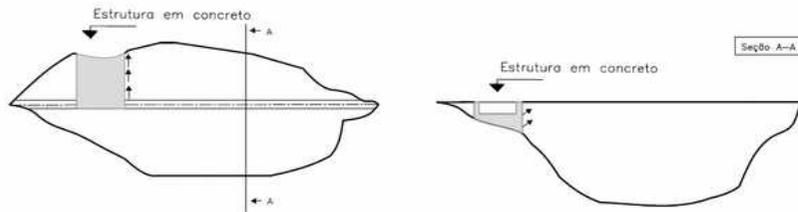
Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 32 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015



Árvore de Falhas 1

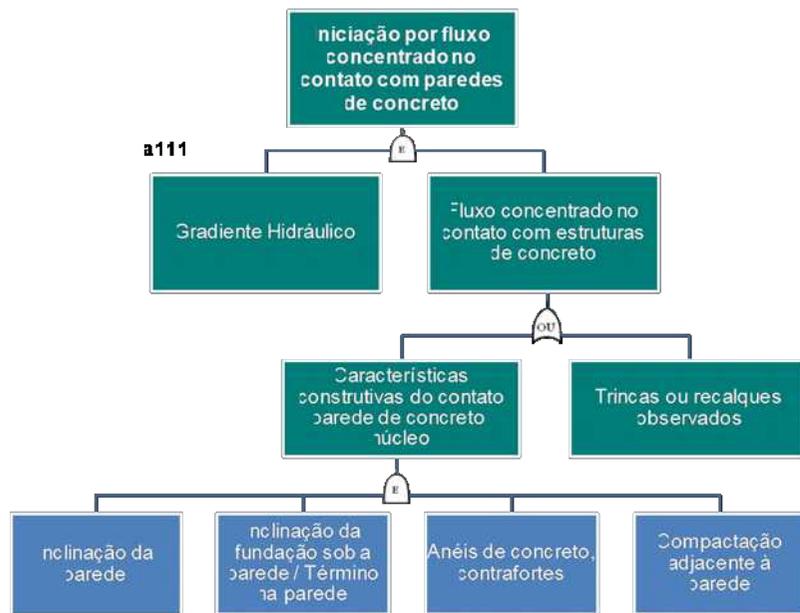


Tabela 14 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---------------------|--------------------|---------------|--------|----------------|------------|
|---------------------|--------------------|---------------|--------|----------------|------------|

| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--|
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--|

Tabela 15 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Fluxo Concentrado no Contato com Estruturas de Vertedouro ou Muro de Concreto (modificado de Fell et al, 2004 apud Fell & Fry, 2007).

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|--|---|---|------------|
| Inclinação da parede | Inclinada na direção do núcleo ou vertical com inclinação mais suave na parte inferior | Vertical | Inclinação 0,1H - 1V a 0,5H a 1V | Inclinação mais suave que 0,5H a 1V | |
| Inclinação da fundação sob a parede | Inclinação acentuada a partir do muro | Inclinação inferior a 30° a partir do muro | Horizontal | Inclinação na direção do muro | |
| Término na parede | Degraus verticais e horizontais | Áspero e irregular | Liso e planar | Plano liso além de talude plano | |
| Anéis de concreto, contrafortes | Vários, próximos uns dos outros. | Um único | - | Nenhum | |
| Compactação adjacente à parede | Sem compactação especial adjacente ao muro | - | - | Compactação cuidadosa adjacente ao muro | |
| Trincas ou recalques observados | Poços mostram trinca aberta no contato, estendendo abaixo do NA considerado na análise (P=1,0 neste caso) | Trinca na superfície entre a parede e o aterro e/ou grande recalque localizado na crista do maciço próx. ao muro | Nenhuma trinca ou recalque localizado significativo | Nenhuma trinca observada em poços de inspeção abertos no contato muro-núcleo (baixa probabilidade neste caso) | |

Nó a- C1.2.4 EROÇÃO INTERNA PELO MACIÇO

INICIAÇÃO POR FLUXO CONCENTRADO EM TRINCAS TRANSVERSAIS OU FRATURA HIDRÁULICA



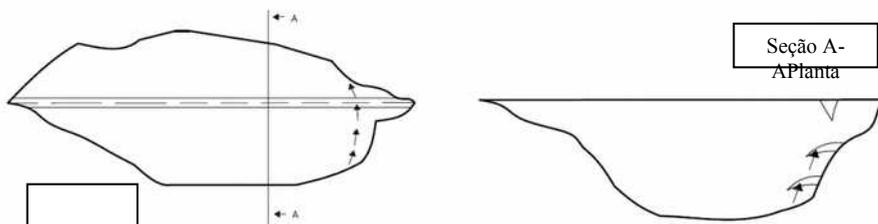
Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 33 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015



Verificar separadamente a probabilidade de fluxo concentrado em trincas transversais ou fratura hidráulica:

- na porção superior do maciço (Árvore de Falhas 1A e Tabela 17); e
- nas porções média e inferior do maciço (Árvore de Falhas 1B e Tabela 18).

| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--|
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--|

Tabela 17 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Trincas Transversais ou Fraturamento Hidráulico – Erodibilidade (na Saída do Fluxo) (modificado de Foster & Fell, 2000 *apud* Fell *et. al.*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-----------------------------------|---|--|--|------------|
| Tipo de solo⁽¹⁾ | Muito uniforme, areia fina sem coesão (IP < 6) Solo bem graduado sem coesão (IP < 6) | Solo bem graduado com coesão (6 < IP < 15) | Argila plástica (IP > 15) | |
| Grau de Compactação | Mal compactado, GC < 95% do grau de compactação normal | 95-98% do grau de compactação normal | Bem compactado, GC ≥ 98% do grau de compactação normal | |
| Umidade de Compactação | Compactação no ramo seco (cerca de -3% ou menor) | Compactação entre -1% e -2% da umidade ótima | Compactado na umidade ótima ou no ramo úmido | |

Nota 1: Avaliações do material do aterro na saída do fluxo.

Tabela 16 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Obser-vação |
|---------------------|--------------------|---------------|--------|----------------|-------------|
|---------------------|--------------------|---------------|--------|----------------|-------------|



TRINCAS TRANSVERSAIS OU
FRATURAMENTO HIDRÁULICO NA PORÇÃO SUPERIOR DO
MACIÇO

Árvore de Falhas 1A

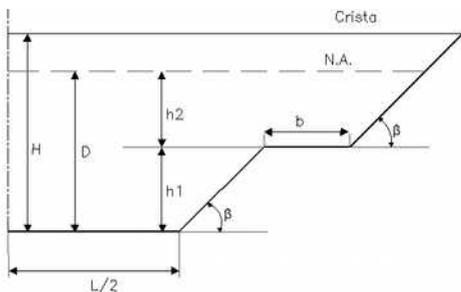
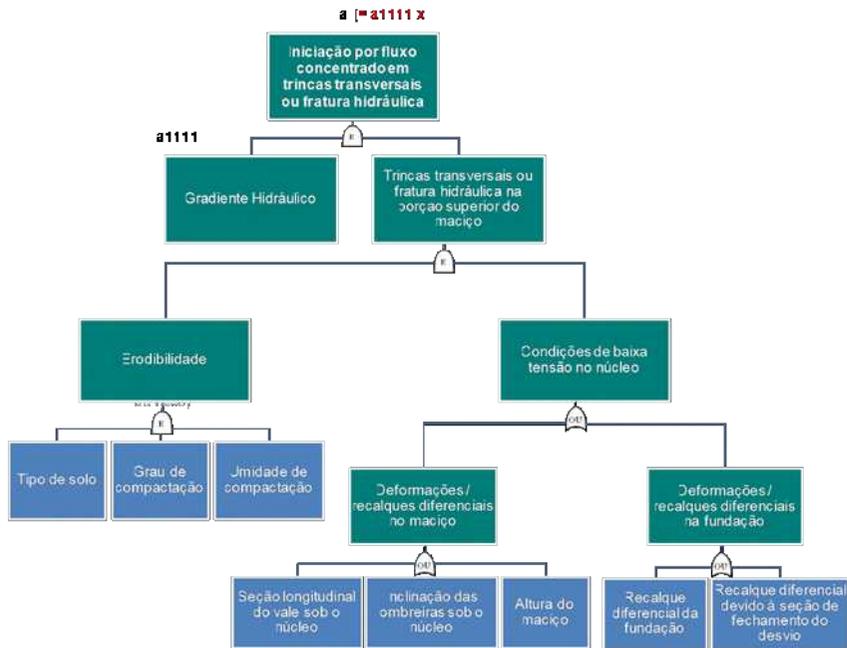


Figura 17 – Seção longitudinal da barragem: parâmetros geométricos do maciço no encontro com o terreno natural (ombreiras).

Tabela 18 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Trincas Transversais ou Fraturamento Hidráulico na Porção Superior do Maciço (modificado Fell & Fry, 2007).

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|---|---|---|------------|
| Seção longitudinal do vale sob o núcleo | Bancada larga perto da crista na ombreira $b/h_2 > 1$; $0 < h_2/h_1 < 0,5$ | Bancada larga na metade superior até um terço do maciço $b/h_2 > 1$; $0,5 < h_2/h_1 < 1$ | Bancada larga na porção baixa do maciço $b/h_2 > 1$; $h_2/h_1 > 1$ ou Bancada curta na metade superior até 1/3 do maciço | Linha da ombreira uniforme, sem bancadas | |
| Inclinação das ombreiras sob o núcleo | Ombreiras muito inclinadas, $\beta > 60^\circ$ | Ombreiras inclinadas, $45^\circ < \beta < 60^\circ$ | Ombreiras com taludes moderados, $30^\circ < \beta < 45^\circ$ | Ombreiras com taludes suaves, $\beta < 30^\circ$ | |
| Altura do maciço | Barragens muito altas $H > 60\text{m}$ | Barragens altas $30 < H < 60\text{m}$ | Barragens médias $15 < H < 30\text{m}$ | Barragens baixas $H < 15\text{m}$ | |
| Recalque diferencial da fundação | Fundação em camada de solo espessa adjacente a fundação em rocha Solos espessos compressíveis no interior de solos menos compressíveis | Fundação em camada de solo rasa adjacente a fundação em rocha Solos de fundação com profundidade e compressibilidade variáveis | Solos pouco profundos ou solos com variação gradual de profundidade e compressibilidade | Fundação em rocha | |
| Recalque diferencial devido à seção de fechamento do desvio | Seção de fechamento profunda em solos compressíveis profundos, $h_2/D < 0,5$ | Seção de fechamento em solos compressíveis, $h_2/D > 0,05$ | Sem seção de fechamento (rio desviado por tubulação ou túnel) | Sem seção de fechamento (rio desviado por tubulação ou túnel) | |

Nota 1: Outros de fatores de influência como Zoneamento do maciço, Fissuração por ressecamento, Recalques observados em função da altura do maciço e Trincas observadas em poços de investigação no núcleo podem ser considerados caso pertinente.

Nota 2: Caso já possam ser observadas visualmente trincas transversais na crista, considerar as condições de baixa tensão no núcleo como virtualmente certas.



TRINCAS TRANSVERSAIS OU FRATURAMENTO HIDRÁULICO NA PORÇÃO MÉDIA E INFERIOR DO MACIÇO

Árvore de Falhas 1B

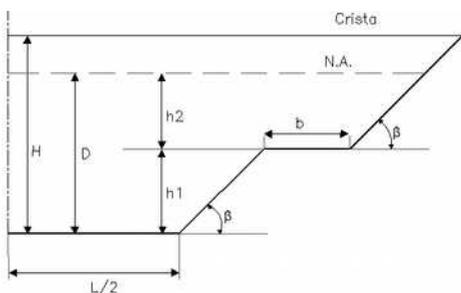
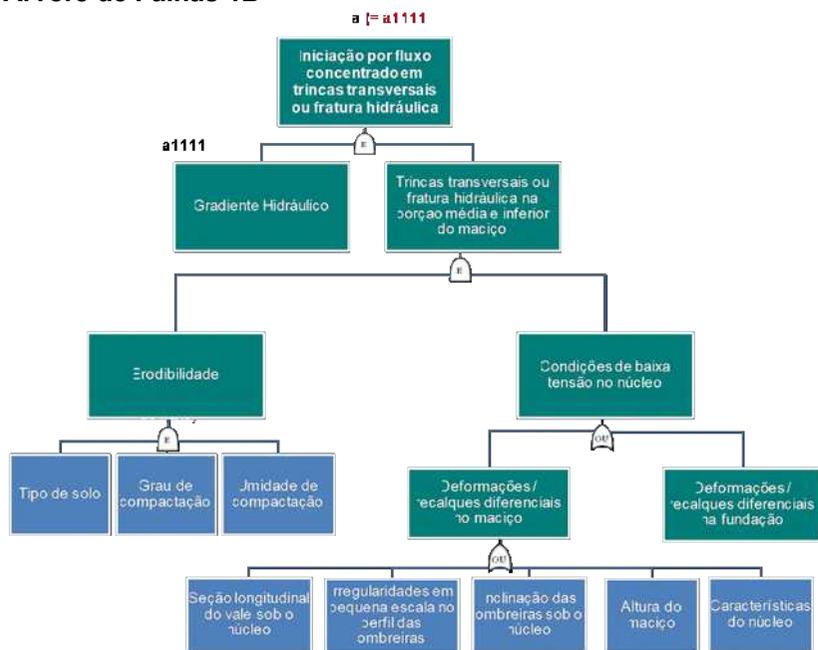


Figura 18 – Seção longitudinal da barragem: parâmetros geométricos do maciço no encontro com o terreno natural (ombreiras).

Tabela 19 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Trincas Transversais ou Fraturamento Hidráulico nas Porções Média e Inferior do Maciço – (modificado de Fell & Fry, 2007).

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|--|---|--|------------|
| Seção longitudinal do vale sob o núcleo | Bancada larga na metade inferior do maciço, $b/h_2 > 1$; $1 < h_2/h_1 < 1,5$ | Bancada na metade inferior do maciço $b/h_2 > 0,5$; $1,5 < h_2/h_1 < 2$ | Bancada menor na metade inferior do maciço, não persistente ao longo do núcleo | Linha do maciço uniforme, sem bancadas | |
| Irregularidades em pequena escala no perfil das ombreiras | Degraus, bancadas, depressões na rocha de fundação, persistentes ao longo do núcleo | Degraus, bancadas, depressões na rocha de fundação, mas não inteiramente persistentes ao longo do núcleo | Irregularidades presentes apenas em menos de 50% da largura do núcleo | Perfil uniforme das ombreiras, ou irregularidades tratadas por meio de modificação da inclinação | |
| Inclinação das ombreiras sob o núcleo | Ombreiras muito inclinadas, $\beta > 60^\circ$ | Ombreiras inclinadas, $45^\circ < \beta < 60^\circ$ | Ombreiras com taludes moderados, $30^\circ < \beta < 45^\circ$ | Ombreiras com taludes suaves, $\beta < 30^\circ$ | |
| Altura do maciço | Barragens muito altas $H > 60m$ | Barragens altas $30 < H < 60m$ | Barragens médias $15 < H < 30m$ | Barragens baixas $H < 15m$ | |
| Características do núcleo | Núcleo muito esbelto ($H/W > 4$), compactado no ramo seco umidade ótima | Núcleo esbelto $2 < H/W < 4$, compactado no ramo seco umidade ótima | Núcleo $1 < H/W < 2$ compactado em torno da umidade ótima | Núcleo amplo $H/W < 1$, compactado no ramo seco ou na umidade ótima | |
| Deformação / Recalque diferencial da fundação | Solos espessos compressíveis no interior de solos menos compressíveis | Solos de fundação com profundidade e compressibilidade variáveis | Solos pouco profundos ou solos com variação gradual de profundidade e compressibilidade | Fundação em rocha | |

Nota: Outros de fatores de influência, como Rigidez relativa do núcleo e espaldares, por exemplo, podem ser considerados caso pertinente.

Nó a- C1.2.5 EROÇÃO INTERNA PELO MACIÇO



Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

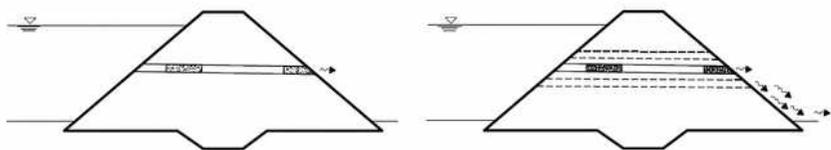
Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 36 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

INICIAÇÃO POR FLUXO CONCENTRADO EM ZONAS DE ALTA PERMEABILIDADE



Árvore de Falhas 1

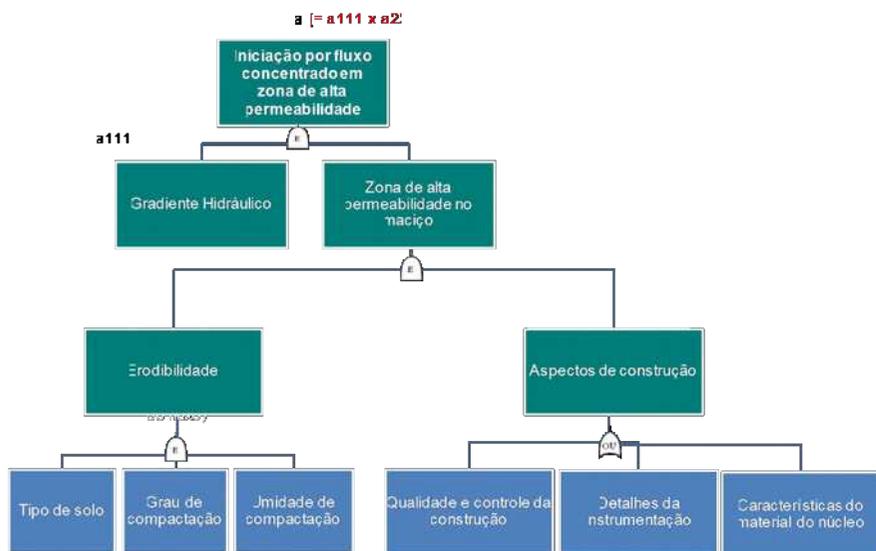


Tabela 20 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---------------------|--------------------|---------------|--------|----------------|------------|
|---------------------|--------------------|---------------|--------|----------------|------------|

| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--|
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-------|--|

Tabela 21 - Fatores de Influência na Probabilidade de Ocorrência de Fluxo Concentrado em Zonas de Alta Permeabilidade no Maciço (modificado de Fell et al, 2000 *apud* Fell et al, 2004).

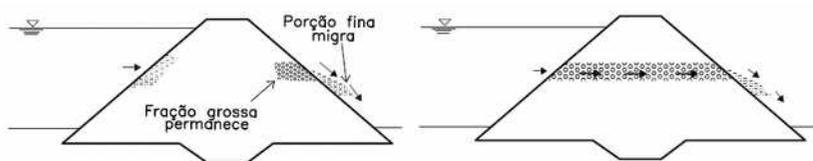
| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|--|--|------------|
| Tipo de solo⁽¹⁾ | Muito uniforme, areia fina sem coesão (IP < 6) Solo bem graduado sem coesão (IP < 6) | Solo bem graduado com coesão (6 < IP < 15) | Argila plástica (IP > 15) | |
| Compactação⁽²⁾ | Mal compactado, GC < 95% do grau de compactação normal | 95-98% do grau de compactação normal | Bem compactado, GC ≥ 98% do grau de compactação normal | |
| Umidade de compactação | Compactação no ramo seco (cerca de -3% ou menor) | Compactação entre -1% e -2% da umidade ótima | Compactado na umidade ótima ou no ramo úmido | |
| Qualidade e controle da construção | Limpeza insuficiente após períodos úmidos, secos ou gelados durante a construção Inexistência supervisão de engenharia na construção | Supervisão deficiente na construção | Remoção de camadas de material seco ou molhado Supervisão adequada da obra | |
| Detalhes da instrumentação | Compactação deficiente em torno dos instrumentos / Existência de trincheiras para cabos no núcleo | - | Inexistência de instrumentos no núcleo | |
| Características do material do núcleo | Grande variabilidade dos materiais da área de empréstimo, teor de umidade e tamanho dos grãos Material do núcleo susceptível a trincas de retração devido à secagem Material do núcleo bem graduado, susceptível à segregação | - | Baixa variabilidade materiais nas áreas de empréstimo Baixo potencial de retração Granulometria uniforme | |

Nota 1: Avaliações do material do aterro na saída do fluxo.

Nota 2: <93% de compactação, ramo seco, muito mais provável.



Nó a- C1.3 EROSIÃO INTERNA PELO MACIÇO
INICIAÇÃO POR INSTABILIDADE INTERNA
(SUFUSÃO)



Árvore de Falhas 1

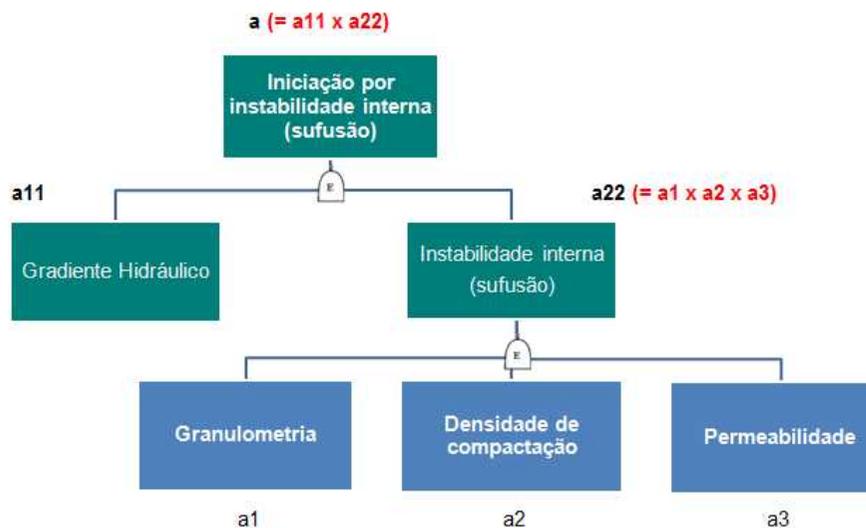


Tabela 22 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna-Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|----------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Tabela 23 – Fatores de Influência na Probabilidade de Sufusão em Solos sem Coesão (Foster and Fell, 2000 apud Fell, 2005)

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|---|--------------------------------------|---|------------|
| Granulometria | | | | |
| - Geral | Granulometria aberta | | Graduação uniforme, bem graduado | |
| - Solos de granulometria aberta (Sherard, 1979) | Cauda de finos na porção fina $d_{15c}/d_{15f} > 5^{(2)}$ | - | $d_{15c}/d_{15f} < 5^{(2)}$ | |
| - Graduação suave com cauda de finos baseado em Kenney and Lau (1985) ou Burenkova (1993) | Potencialmente instável | | Estável | |
| Densidade de compactação | Mal compactado, <95% do grau de compactação normal ⁽¹⁾ | 95-98% do grau de compactação normal | Bem compactado, >98% do grau de compactação normal ⁽¹⁾ | |
| Permeabilidade | Alta | Moderada | Baixa | |

Nota 1: Caso <93% do grau de compactação normal, ramo seco da umidade, muito mais provável.

Nota 2: d_{15c} = diâmetro da partícula da fração grossa da curva granulométrica para a qual 15% das partículas teriam diâmetro inferior; d_{15f} = diâmetro da partícula da fração fina da curva granulométrica para a qual 15% das partículas teriam diâmetro inferior.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 38 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Nó b - CONTINUAÇÃO

Este nó da árvore de eventos avalia subjetivamente se o sistema de drenagem interna da barragem seria capaz de impedir a evolução do processo.

Segundo Von Thun, 1996 apud Fell et al, 2005, o requisito necessário para a ocorrência de erosão interna pelo maciço é a presença de um ponto de saída para a percolação sem filtro, que permita a remoção continuada de materiais erodidos. A avaliação envolve a verificação da granulometria do filtro, buscando verificar se ele é capaz de evitar o carreamento de partículas do material-base. Simplificadamente é sugerida a avaliação utilizando a Tabela 24.



Tabela 24 - Fatores de Influência na Probabilidade de Continuação do Processo Erosivo – Existência de Filtro no Ponto de Saída da Percolação.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais Provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|------------|
| Existência de filtro no ponto de saída da percolação | Ausente ou saída livre | Presente mas Inadequado | Sem informações | Presente e Adequado | |

Nota: Segundo USBR (2012), quando há uma saída aberta ou livre para o fluxo d’água, a probabilidade de continuação da erosão é virtualmente certa.

Nó c - PROGRESSÃO: FORMAÇÃO DO TUBO

$P = [c1 \times c2]$



Tabela 25 - Fatores de Influência na Probabilidade de Formação do Tubo - Habilidade em Suportar o Teto (modificado Foster & Fell, 2000 apud Fell et. al, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-------------------------------------|---|----------------------------|---------------------------------|------------|
| Teor de finos (% menor que 0,075mm) | Teor de finos > 15% | Teor de finos < 15% e > 5% | Sem finos ou teor de finos < 5% | |
| Grau de saturação | Parcialmente saturado (primeiro enchimento) | - | Saturado | |

Nó d - PROGRESSÃO: O TUBO PERMANECE ABERTO

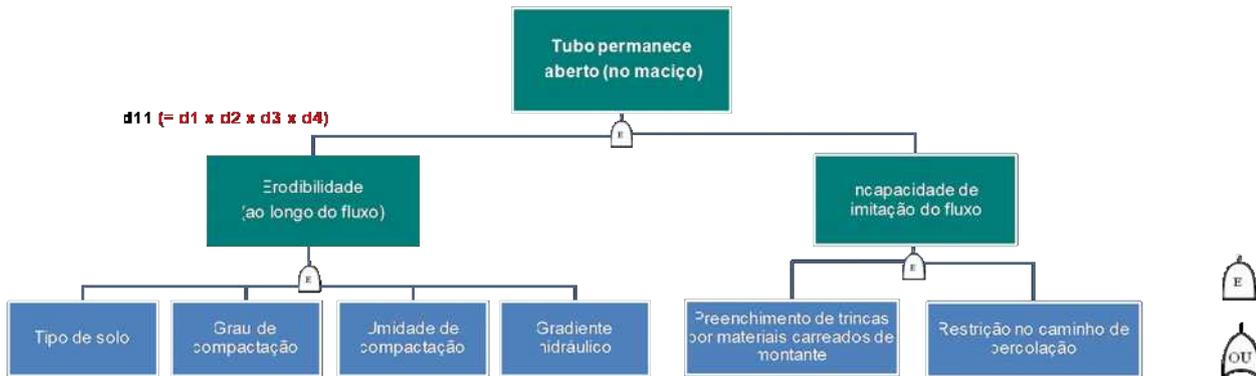


Tabela 26 - Fatores de Influência na Probabilidade de Progressão do Tubo - Erodibilidade (ao Longo do Fluxo) (modificado Foster & Fell, 2000 *apud* Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|--|--|------------|
| Tipo de solo ⁽¹⁾ | Muito uniforme, areia fina sem coesão (IP < 6) Solo bem graduado sem coesão (IP < 6) | Solo bem graduado com coesão (6 < IP < 15) | Argila plástica (IP > 15) | |
| Grau de Compactação | Mal compactado, GC < 95% do grau de compactação normal | 95-98% do grau de compactação normal | Bem compactado, GC ≥ 98% do grau de compactação normal | |
| Umidade de Compactação | Mais seco do que a umidade ótima de compactação (cerca de -3% ou menor) | Compactação entre -1% e -2% da umidade ótima | Compactado na umidade ótima ou no ramo úmido | |
| Gradiente Hidráulico ⁽²⁾ | Alto | Médio | Baixo | |

Nota 1: Avaliações do material do aterro ao longo do fluxo.

Nota 2: Mesmo barragens com gradientes baixos, como 0,05 por exemplo, podem experimentar ruptura por erosão interna.

Nota 3: Caso exista a possibilidade do solo ser dispersivo, este fator de influência também poderá ser incluído nas análises, conforme Fell *et. al*, 2005.

Tabela 27 - Fatores de Influência na Probabilidade de Progressão do Tubo - Limitação do Fluxo (modificado Foster & Fell, 2000 *apud* Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|--|--|------------|
| Preenchimento de trincas por materiais carregados de montante | Barragem Homogênea. Zona de montante com material coesivo | - | Zona a montante do núcleo com capacidade para o preenchimento de trincas (solo não coesivo) | |
| Restrição do fluxo pelo zoneamento de montante | Barragem homogênea. Zona de alta permeabilidade a montante do núcleo | Zona a montante do núcleo com permeabilidade média a alta. | Em barragens zonadas, zona granular a montante do núcleo com permeabilidade média a baixa / Barragem com núcleo de concreto ou de enrocamento com face de concreto | |



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 40 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Nó e - INCAPACIDADE DE DETECÇÃO E INTERVENÇÃO

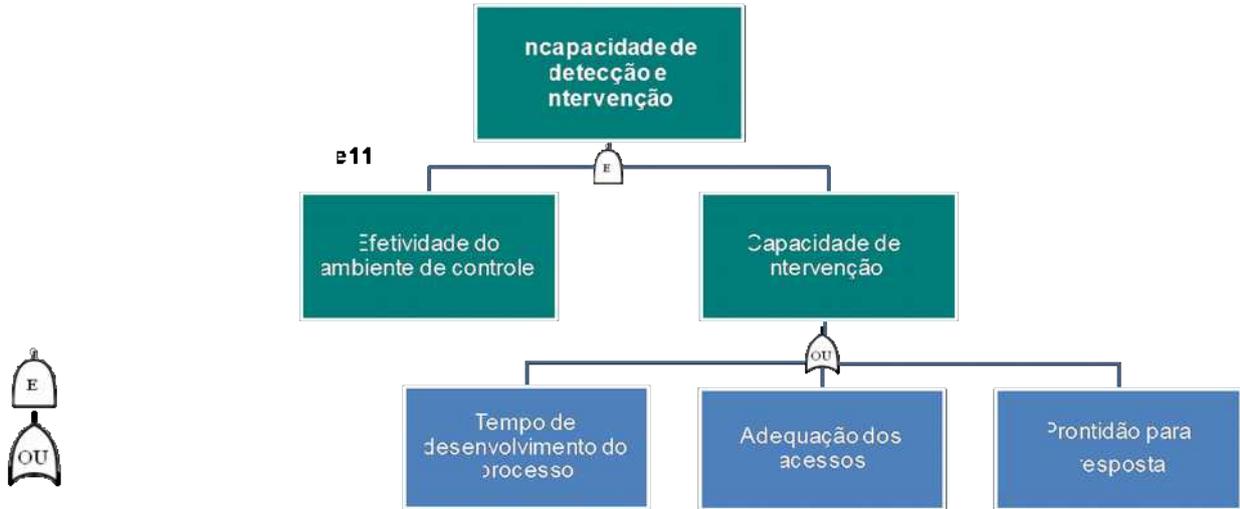


Tabela 28 – Fatores de Influência na Probabilidade de Incapacidade de Detecção e Intervenção - Efetividade do Ambiente de Controle.

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|--|---|--|---|------------|
| Efetividade do ambiente de controle ⁽¹⁾ | Ambiente de controle informal ⁽²⁾ | Ambiente de controle padronizado ⁽³⁾ | Ambiente de controle monitorado ⁽⁴⁾ | Ambiente de controle otimizado ⁽⁵⁾ | |

Nota1: A efetividade do ambiente de controle é um indicativo da probabilidade de não identificar um risco geotécnico em tempo hábil para sua neutralização antes da ocorrência da ruptura da barragem.

Nota 2: Ambiente de controle informal: Realização de inspeções visuais e leituras da instrumentação sem padronização, com controle parcial das ocorrências identificadas e de planos de ação. Ausência de treinamento formal ou comunicação dos controles.

Nota 3: Ambiente de controle padronizado: Realização de inspeções visuais e leituras da instrumentação padronizadas e com a periodicidade adequada; com controle das ocorrências identificadas e de planos de ação de forma estruturada. A instrumentação instalada pode ser parcialmente adequada para o monitoramento dos modos de falha e os tipos de controle existentes parcialmente adequados ou insuficientes.

Nota 4: Ambiente de controle monitorado: Controles existentes adequados e suficientes e suportados por sistema informatizado bem estruturado. Existência de treinamento formal e comunicação dos controles. Os dados da instrumentação são analisados periodicamente e o banco de dados da instrumentação possui alertas automáticos.

Nota 5: Ambiente de controle otimizado: Controles existentes adequados e suficientes e suportados por sistema informatizado que integra as informações de inspeções e auditorias internas e externas e sistema padronizado de análise de riscos, permitindo tomadas de decisão rápidas e eficientes. Equipe treinada e responsabilidades bem definidas.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 41 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Tabela 29 – Fatores de Influência na Probabilidade de Incapacidade de Detecção e Intervenção – Capacidade de Intervenção.

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|--|--|---|------------|
| Tempo de formação da brecha ⁽¹⁾ | Rápido (horas) | Médio (dias a semanas). | Lento (semanas ou meses) | |
| Adequação dos acessos ⁽²⁾ | Acesso precário, em especial nos períodos chuvosos | Obra em local de difícil acesso | Obra em local de fácil acesso | |
| Prontidão para resposta ⁽³⁾ | Inexistência de PAE, equipes sem treinamento | Existência de PAE, equipes sem treinamento | Disponibilidade e preparo da equipe de resposta | |

Nota 1: Tempo de evolução do processo ou tempo de formação da brecha: processos que evoluem rapidamente reduzem o tempo disponível para intervenções corretivas. A métrica utilizada está de acordo com o indicado a seguir, adaptada de USBR, 2012 *apud* Fell et al., 2003.

Nota 2: A existência de acessos adequados reduz o tempo de execução de obras emergenciais.

Nota 3: A disponibilidade do Plano de Ação Emergencial (PAE) e de equipes treinadas reduz o tempo de resposta.

Nó f - FORMAÇÃO DO MECANISMO DE FALHA

Mecanismo Final de Falha – ALARGAMENTO DO TUBO

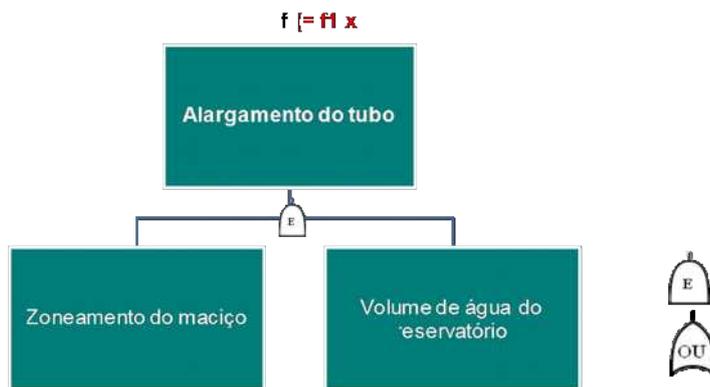


Tabela 30 - Fatores de Influência na Probabilidade de Formação de Brecha - Alargamento do Tubo (modificado Foster & Fell, 2000 *apud* Fell et. al, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---------------------------|---|---|--|------------|
| Zoneamento do maciço | Seção Homogênea Barragem zonada com zona de jusante capaz de suportar o teto do tubo | Barragem zonada, talude de jusante de areia ou pedregulho com finos | Barragem zonada com talude de jusante de pedregulho ou enrocamento | |
| Volume de água armazenado | Elevado | - | Pequeno | |

Nota: Segundo Fell et. al, 2005, o zoneamento da barragem é importante apenas quando a saída do fluxo se der pelo talude de jusante da barragem.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 42 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

6.3.2 EROSIÃO INTERNA PELA FUNDAÇÃO E DO MACIÇO PARA A FUNDAÇÃO

Atribuição das probabilidades de cada nó da árvore de eventos

Caso o risco de erosão interna já esteja materializado em campo, ou seja, já existir surgência com carreamento de material, a árvore de eventos deverá ter início no nó (c), ou seja, formação de tubo. Isto tem o mesmo significado de atribuir probabilidade $P = 1$ para os nós predecessores. A mesma observação vale para a situação na qual já existir a formação do tubo, quando a árvore de eventos deverá ter início no nó (d).

Nas tabelas de fatores de influência na probabilidade de ocorrência de cada evento, a coluna “Observação” deverá ser preenchida com evidências e justificativas da quantificação escolhida (mais provável, provável, neutro, pouco provável). As tabelas apresentadas foram desenvolvidas para fundações em solo.

Nó 0 – NÍVEL DO RESERVATÓRIO

Avaliar para qual nível do reservatório o processo de erosão interna seria possível. Na ausência de informações, considerar que a erosão interna poderá ter início com o reservatório no NA Operacional.

Quando o processo puder ter início com o reservatório no NA Operacional e o reservatório for operado neste nível, atribuir a probabilidade $P = 1$ para este nó.

Quando a regra operativa determinar NAs inferiores ao operacional e/ou os registros de leitura da régua do reservatório mostrarem níveis d’água inferiores ao operacional, atribuir para este nó a probabilidade de permanência do NA acima do requerido para o início do processo de erosão interna.

Nó a - INICIAÇÃO

Caso seja feita a opção de se utilizar árvores de falhas para a definição da probabilidade neste nó, poderão ser utilizadas as árvores apresentadas neste procedimento.

Deve ser observada a numeração das Figuras e Tabelas a serem utilizadas de acordo com o evento iniciador e com o ramo da árvore de eventos apresentada na Figura 15 e na árvore de falhas da Figura 14, cujo extrato para o modo de falha sob análise é mostrado na Figura 19, a seguir.

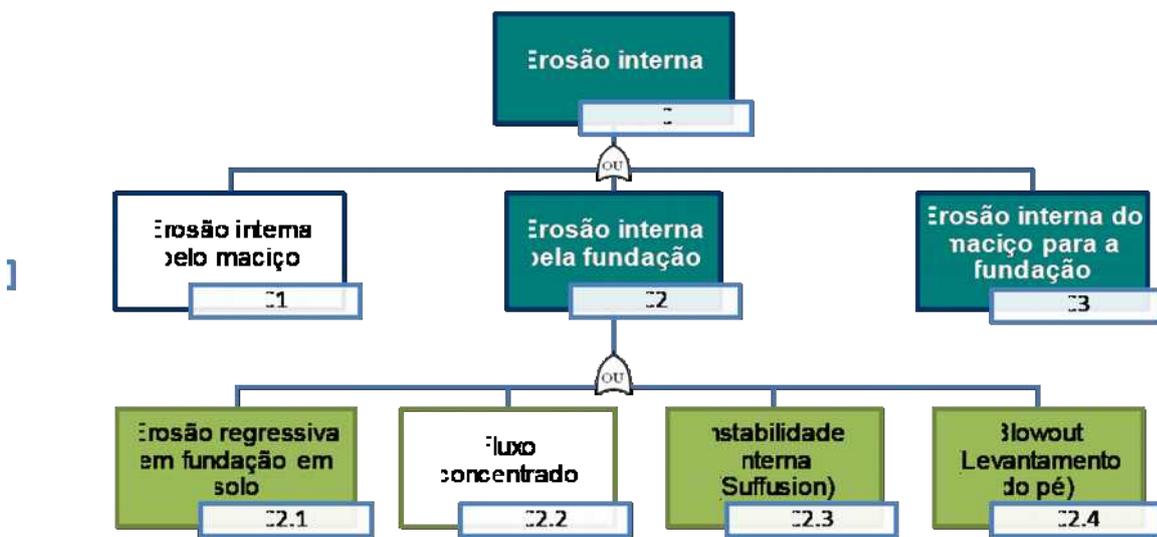
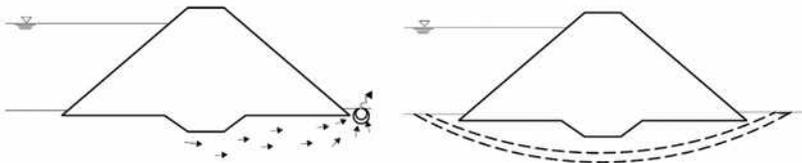


Figura 19 – Eventos Iniciadores para o Mecanismo de Falha de Erosão Interna pela Fundação e do Maciço para a Fundação.



**Nó a- C2.1 EROSÃO INTERNA PELA FUNDAÇÃO
INICIAÇÃO POR EROSÃO REGRESSIVA PELA
FUNDAÇÃO EM SOLO**



Árvore de Falhas 1

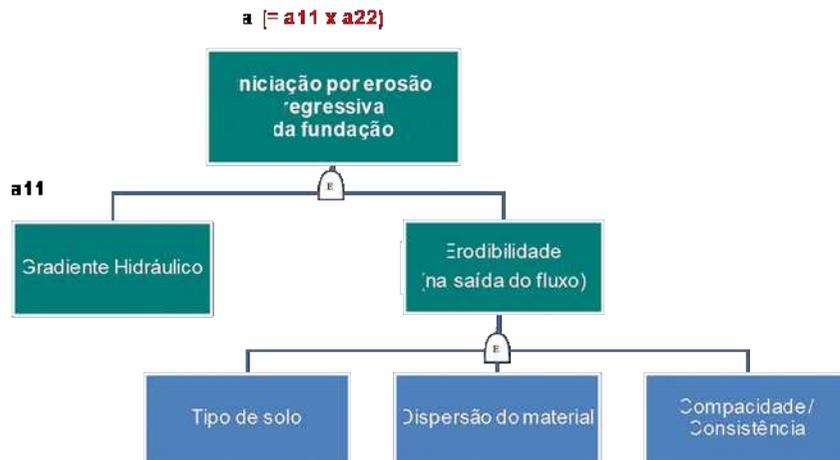


Tabela 31 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna-Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|----------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Tabela 32 - Fatores de Influência na Probabilidade de Início do Processo Erosivo - Erodibilidade da Fundação (modificado de Foster & Fell, 1999b *apud* Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-----------------------------|---|---|--|------------|
| Tipo de solo | Muito uniforme, areia fina sem coesão (IP < 6). Solo bem graduado sem coesão (IP < 6). | Solo bem graduado com coesão (6 < IP < 15) | Argila plástica (IP > 15) | |
| Dispersão do material | Solos dispersivos, <i>Pinhole</i> D1, D2 | Solos potencialmente dispersivos, <i>Pinhole</i> PD1, PD2 | Solos não dispersivos, <i>Pinhole</i> ND1, ND2 | |
| Compacidade ⁽¹⁾ | Fofo | Medianamente Compacto | Muito compacto | |
| Consistência ⁽¹⁾ | Muito Mole / Mole | Média / Rija | Muito Rija / Dura | |

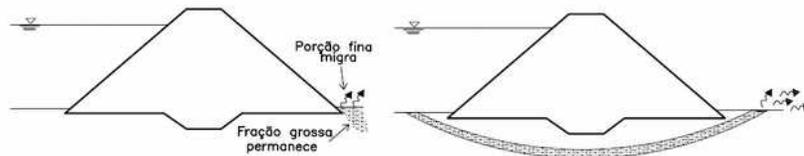
Nota 1: Empregar compacidade para solos sem coesão e consistência para solos coesivos.



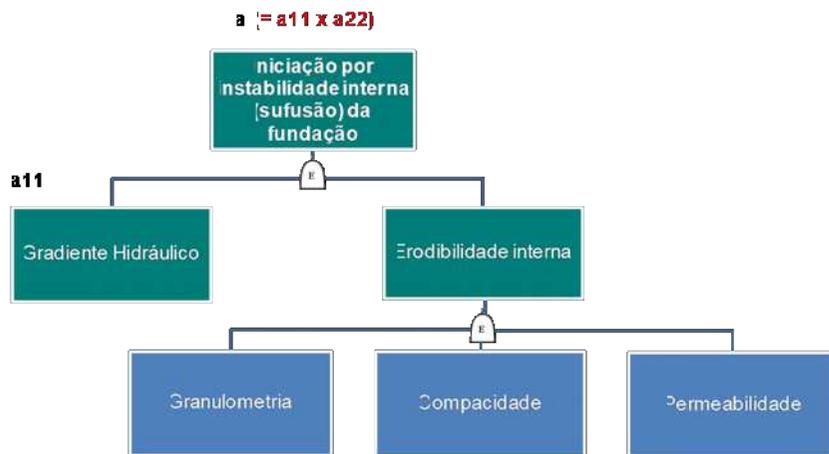
Nó a- C2.3

EROSÃO INTERNA PELA FUNDAÇÃO

INICIAÇÃO POR INSTABILIDADE INTERNA (SUFUSÃO)



Árvore de Falhas 1



| influência | certo | provável | | Provável | vação |
|-----------------------------|-------------------------------|----------|-------|----------|-------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Tabela 34 – Fatores de Influência na Probabilidade de Sufusão em Solos sem Coesão (Foster and Fell, 2000 apud Fell, 2005)

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|--|-----------------------|--------------------------------------|------------|
| Granulometria | | | | |
| - Geral | Granulometria aberta | | Graduação uniforme, bem graduado | |
| - Solos de granulometria aberta (Sherard, 1979) | Cauda de finos na porção fina $d_{15c}/d_{15f} > 5$ ⁽¹⁾ | - | $d_{15c}/d_{15f} < 5$ ⁽¹⁾ | |
| - Gradação suave com cauda de finos baseado em Kenney and Lau (1985) ou Burenkova (1993) | Potencialmente instável | | Estável | |
| Compacidade | Fofo | Medianamente Compacto | Muito compacto | |
| Permeabilidade | Alta | Moderada | Baixa | |

Nota 1: d_{15c} = diâmetro da partícula da fração grossa da curva granulométrica para a qual 15% das partículas teriam diâmetro inferior; d_{15f} = diâmetro da partícula da fração fina da curva granulométrica para a qual 15% das partículas teriam diâmetro inferior.

Tabela 33 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.

| Fator de | Virtualmente | Mais | Neutro | Pouco | Obs- |
|----------|--------------|------|--------|-------|------|
|----------|--------------|------|--------|-------|------|



Riscos em Barramentos – Definição da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

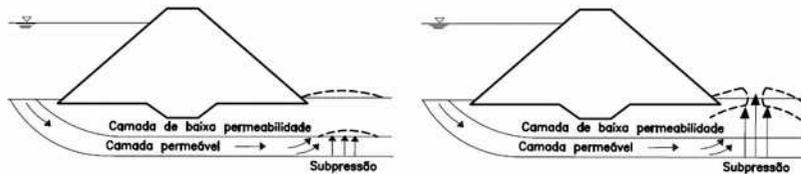
Pág.: 45 de 57

Classificação: Interno

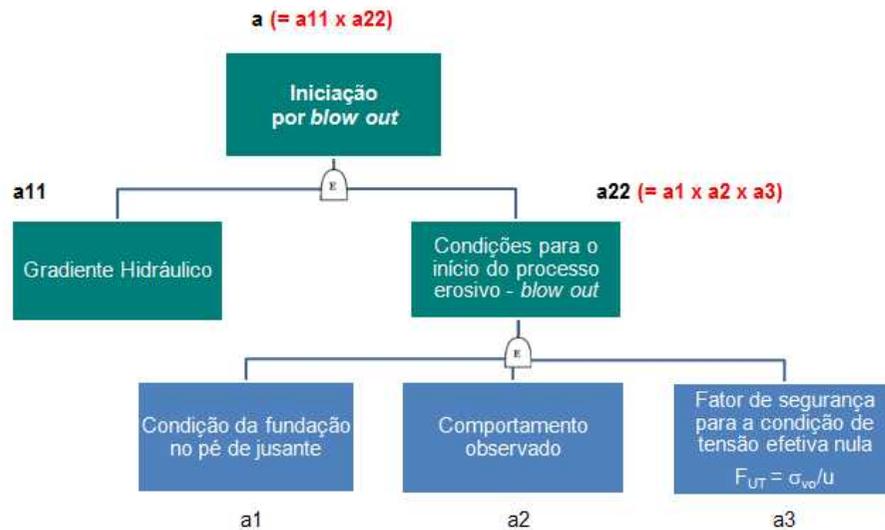
Rev.: 00-16/12/2015

Nó a- C2.4

EROSÃO INTERNA PELA FUNDAÇÃO
INICIAÇÃO POR “BLOW OUT”
(LEVANTAMENTO DE PÉ)



Árvore de Falhas 1



| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|----------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Tabela 36 - Fatores de Influência na Probabilidade de Condições para o Início do Processo Erosivo – “Blow Out” (modificado de Foster & Fell, 1999b *apud* Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|--|-------------------|--|------------|
| Condição da fundação no pé de jusante | Camada de baixa permeabilidade sobre camada de alta permeabilidade | - | Apenas camada de alta ou baixa permeabilidade. | |
| Comportamento observado | Sand boils no pé de jusante Condições para areia movediça | - | Sem presença de sand boils | |
| Fator de segurança para a condição de tensão efetiva nula $F_{UT} = \sigma_{vo}/u$ | $F_{UT} < 1,2$ | $F_{UT} \sim 1,5$ | $F_{UT} > 2,0$ | |

Tabela 35 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna- Gradiente Hidráulico.



Nó a- C3

EROSÃO INTERNA DO MACIÇO PARA A FUNDAÇÃO

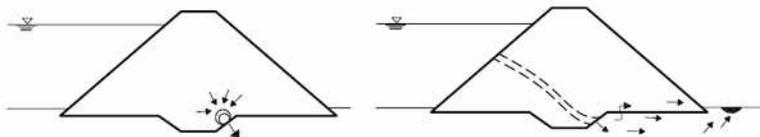


Tabela 37 – Fatores de Influência na Probabilidade de Iniciação de Erosão Interna-Gradiente Hidráulico.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------|--------|----------------|------------|
| Gradiente Hidráulico | Presença de surgência de água | Alto | Médio | Baixo | |

Árvore de Falhas 1

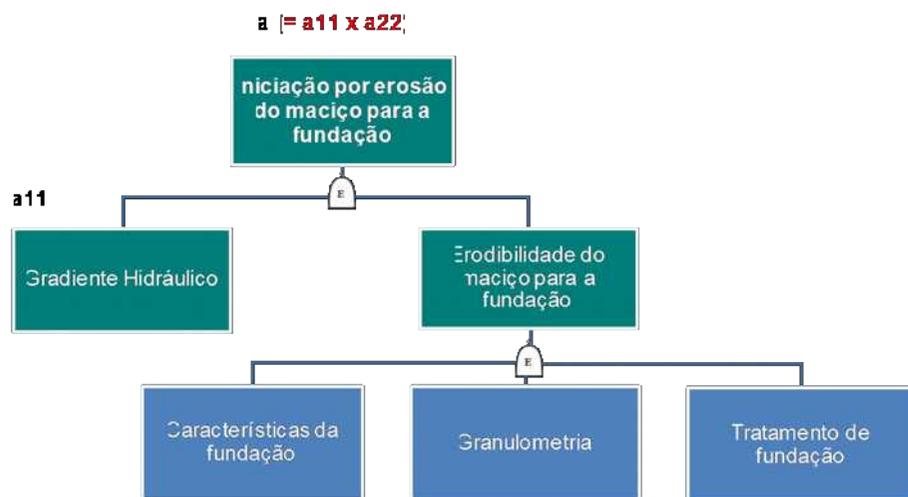


Tabela 38 - Fatores de Influência na Probabilidade de Condições para o Início do Processo Erosivo – Erodibilidade do Maciço para a Fundação (adaptado Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|------------------------------------|--|--------|--|------------|
| Características da fundação | Presença de juntas abertas ou solos de granulometria grosseira em contato com o núcleo. | - | Inexistência de juntas abertas ou solos de granulometria graúda na fundação em contato com o núcleo. | |
| Granulometria | Falta de compatibilidade da granulometria do maciço com as aberturas existentes na fundação. | - | Compatibilidade da granulometria do maciço com as aberturas existentes na fundação. | |
| Tratamento de fundação | Fundação sem tratamento no contato com o núcleo. | - | Fundação tratada com concreto dental ou filtro entre o núcleo e a fundação. | |



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 47 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Nó b - CONTINUAÇÃO

Este nó da árvore de eventos avalia subjetivamente se o sistema de drenagem interna da barragem seria capaz de impedir a evolução do processo.

Segundo Von Thun, 1996 apud Fell et al, 2005, o requisito necessário para a ocorrência de erosão interna pelo maciço é a presença de um ponto de saída para a percolação sem filtro, que permita a remoção continuada de materiais erodidos. A avaliação envolve a verificação da granulometria do filtro, buscando verificar se ele é capaz de evitar o carreamento de partículas do material-base. Simplificadamente é sugerida a avaliação utilizando a Tabela 39.

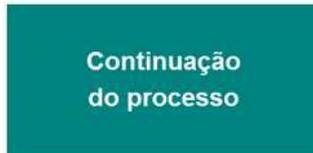


Tabela 39 - Fatores de Influência na Probabilidade de Continuação do Processo Erosivo – Existência de Filtro no Ponto de Saída da Percolação.

| Fator de influência | Virtualmente certo | Mais Provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|---|--------------------------|------------------|----------------------|------------|
| Existência de filtro no ponto de saída da percolação | Ausente ou saída livre ⁽¹⁾ . | Presente mas Inadequado. | Sem informações. | Presente e Adequado. | |

Nota: Segundo USBR (2012), quando há uma saída aberta ou livre para o fluxo d'água, a probabilidade de continuação da erosão é virtualmente certa.

Nó c - PROGRESSÃO: FORMAÇÃO DO TUBO

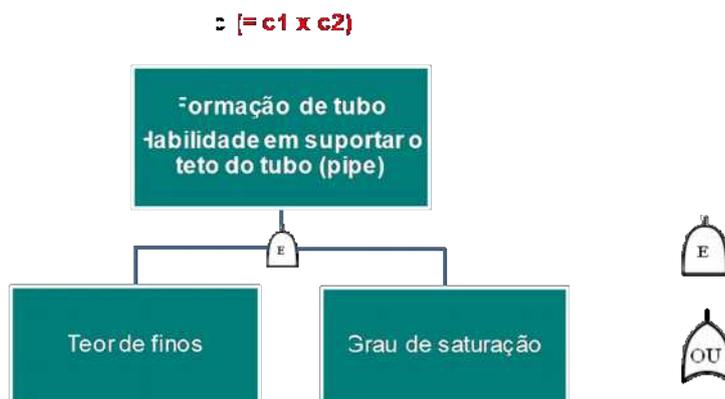


Tabela 40 - Fatores de Influência na Probabilidade de Formação do Tubo - Habilidade em Suportar o Teto (modificado Foster & Fell, 2000 apud Fell et. al, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|-------------------------------------|---|----------------------------|---------------------------------|------------|
| Teor de finos (% menor que 0,075mm) | Teor de finos > 15% | Teor de finos < 15% e > 5% | Sem finos ou teor de finos < 5% | |
| Grau de saturação | Parcialmente saturado (primeiro enchimento) | - | Saturado | |

Nó d - PROGRESSÃO: O TUBO PERMANECE ABERTO

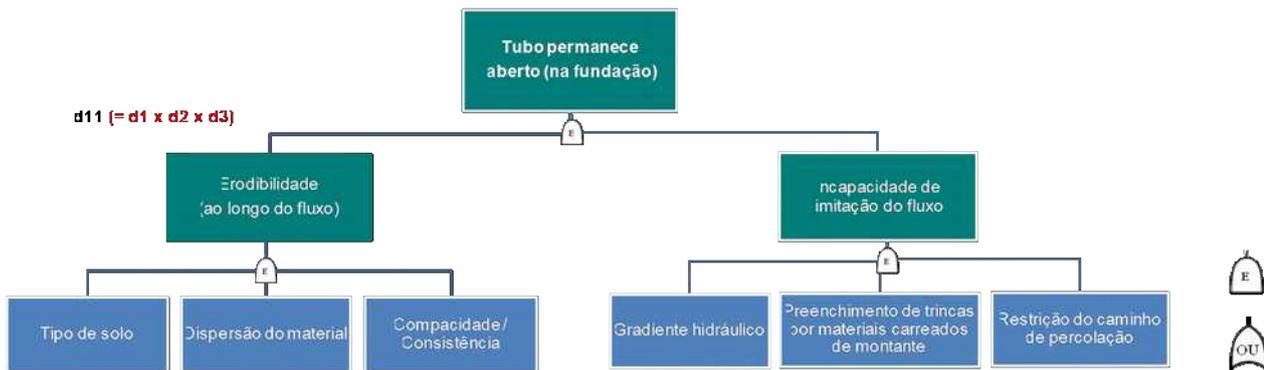


Tabela 41 - Fatores de Influência na Probabilidade de Progressão do Tubo - Erodibilidade da Fundação ao Longo do Fluxo (modificado Foster & Fell, 2000 *apud* Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|------------------------------------|--|---|--|------------|
| Tipo de solo | Muito uniforme, areia fina sem coesão (IP < 6). Solo bem graduado sem coesão (IP < 6). | Solo bem graduado com coesão (6 < IP < 15) | Argila plástica (IP > 15) | |
| Dispersão do material | Solos dispersivos, <i>Pinhole</i> D1, D2 | Solos potencialmente dispersivos, <i>Pinhole</i> PD1, PD2 | Solos não dispersivos, <i>Pinhole</i> ND1, ND2 | |
| Compacidade ⁽¹⁾ | Fofo | Medianamente Compacto | Muito compacto | |
| Consistência ⁽¹⁾ | Muito Mole / Mole | Média / Rija | Muito Rija / Dura | |

Nota 1: Empregar compacidade para solos sem coesão e consistência para solos coesivos.

Tabela 42 - Fatores de Influência na Probabilidade de Progressão do Tubo - Limitação do Fluxo pela Fundação (modificado Foster & Fell, 2000 *apud* Fell *et. al*, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|---|--|---|------------|
| Preenchimento de trincas por materiais carregados de montante (do maciço ou da fundação) | Zoneamento homogêneo ou zona de montante de material coesivo. Camada de fundação sem coesão de baixa permeabilidade a montante da barragem. | Camada coesiva a montante da barragem (pode fissurar). | Barragem zonada com espaldar de montante de cascalho ou enrocamento. Camada de alta permeabilidade a montante da barragem. | |
| Restrição do caminho de percolação | Caminho de percolação sem restrição de dimensões; ou caminho de percolação restrito mas de grandes dimensões (por exemplo, grandes canais de dissolução de calcário). | - | Caminho de percolação restrito de pequena largura (por exemplo, trincas em paredes de <i>cutoff</i> ou juntas estreitas em rochas). | |
| Gradiente hidráulico ⁽¹⁾ | Alto. | Médio. | Baixo. | |

Nota 1: Mesmo barragens com gradientes globais ao longo da fundação muito pequenos, como por exemplo 0,05, podem estar sujeitas a erosão interna.

Nó e - INCAPACIDADE DE DETECÇÃO E INTERVENÇÃO



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 49 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

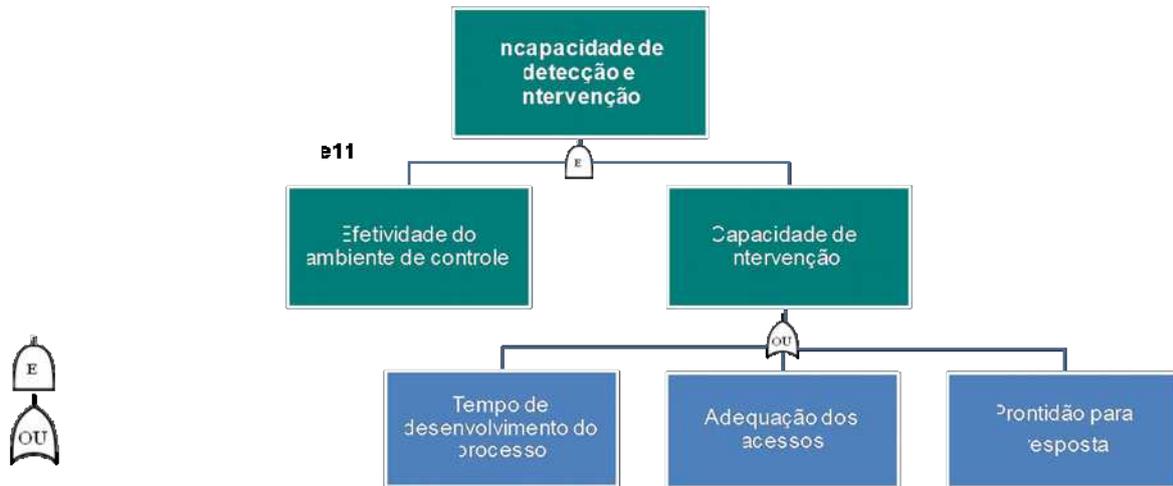


Tabela 43 – Fatores de Influência na Probabilidade de Incapacidade de Detecção e Intervenção - Efetividade do Ambiente de Controle.

| Fator de influência | Mais provável | Bastante provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---|--|---|--|---|------------|
| Efetividade do ambiente de controle ⁽¹⁾ | Ambiente de controle informal ⁽²⁾ | Ambiente de controle padronizado ⁽³⁾ | Ambiente de controle monitorado ⁽⁴⁾ | Ambiente de controle otimizado ⁽⁵⁾ | |

Nota1: A efetividade do ambiente de controle é um indicativo da probabilidade de não identificar um risco geotécnico em tempo hábil para sua neutralização antes da ocorrência da ruptura da barragem.

Nota 2: Ambiente de controle informal: Realização de inspeções visuais e leituras da instrumentação sem padronização, com controle parcial das ocorrências identificadas e de planos de ação. Ausência de treinamento formal ou comunicação dos controles.

Nota 3: Ambiente de controle padronizado: Realização de inspeções visuais e leituras da instrumentação padronizadas e com a periodicidade adequada; com controle das ocorrências identificadas e de planos de ação de forma estruturada. A instrumentação instalada pode ser parcialmente adequada para o monitoramento dos modos de falha e os tipos de controle existentes parcialmente adequados ou insuficientes.

Nota 4: Ambiente de controle monitorado: Controles existentes adequados e suficientes e suportados por sistema informatizado bem estruturado. Existência de treinamento formal e comunicação dos controles. Os dados da instrumentação são analisados periodicamente e o banco de dados da instrumentação possui alertas automáticos.

Nota 5: Ambiente de controle otimizado: Controles existentes adequados e suficientes e suportados por sistema informatizado que integra as informações de inspeções e auditorias internas e externas e sistema padronizado de análise de riscos, permitindo tomadas de decisão rápidas e eficientes. Equipe treinada e responsabilidades bem definidas.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 50 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Tabela 44 – Fatores de Influência na Probabilidade de Incapacidade de Detecção e Intervenção – Capacidade de Intervenção.

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|--|--|---|---|------------|
| Tempo de formação da brecha ⁽¹⁾ | Rápido (horas) | Médio (dias a semanas). | Lento (semanas ou meses) | |
| Adequação dos acessos ⁽²⁾ | Acesso precário, em especial nos períodos chuvosos | Obra em local de difícil acesso. | Obra em local de fácil acesso | |
| Prontidão para resposta ⁽³⁾ | Inexistência de PAE, equipes sem treinamento | Existência de PAE, equipes sem treinamento. | Disponibilidade e preparo da equipe de resposta | |

Nota 1: Tempo de evolução do processo ou tempo de formação da brecha: processos que evoluem rapidamente reduzem o tempo disponível para intervenções corretivas. A métrica utilizada foi adaptada de USBR, 2012 *apud* Fell et al., 2003.

Nota 2: A existência de acessos adequados reduz o tempo de execução de obras emergenciais.

Nota 3: A disponibilidade do Plano de Ação Emergencial (PAE) e de equipes treinadas reduz o tempo de resposta.

Nó f - FORMAÇÃO DO MECANISMO DE FALHA

Mecanismo Final de Falha – ALARGAMENTO DO TUBO

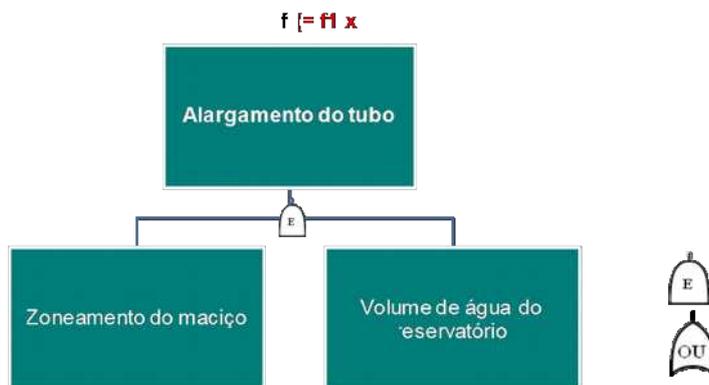


Tabela 45 - Fatores de Influência na Probabilidade de Formação de Brecha - Alargamento do Tubo (modificado Foster & Fell, 2000 *apud* Fell et. al, 2005).

| Fator de influência | Mais provável | Neutro | Pouco Provável | Observação |
|---------------------------|---|---|--|------------|
| Zoneamento do maciço | Seção Homogênea Barragem zonada com zona de jusante capaz de suportar o teto do tubo | Barragem zonada, talude de jusante de areia ou pedregulho com finos | Barragem zonada com talude de jusante de pedregulho ou enrocamento | |
| Volume de água armazenado | Elevado | - | Pequeno | |

Nota: Segundo Fell et. al, 2005, o zoneamento do maciço é importante apenas quando a saída do fluxo possa se dar pelo talude de jusante da barragem.



| | | |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Árvore da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 51 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

6.4 Cálculo das probabilidades finais

ETAPA 4
Cálculo das probabilidades finais

- A probabilidade para um determinado conjunto de eventos, ou ramo da árvore, é obtida pela multiplicação da sequência de probabilidades condicionais;
- A probabilidade total da ruptura da barragem é a soma das probabilidades de todas as cadeias de eventos que levam à ruptura.

Verificar se foram atribuídas probabilidades para todos os ramos da árvore de eventos, lembrando que a soma das probabilidades em cada nó deverá ser igual a 1.

Calcular a probabilidade em cada ramo da árvore de eventos, multiplicando a sequência das probabilidades definidas anteriormente.

O sistema computacional GRG- Sistema de Gestão de Riscos poderá ser utilizado como apoio em todas as etapas anteriores e para o cálculo das probabilidades finais. Tem como vantagem a possibilidade de utilização de tabelas pré-formatadas para agilizar o processo e o registro das informações em base de dados confiável.

7 GALGAMENTO – ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS

A análise do modo de falha galgamento pode ser dividida em cenários que englobam eventos que podem contribuir para a ocorrência deste modo de falha. Nesse contexto, inicialmente, pode-se listar quatro cenários distintos para avaliação:

- Cenário 1 – Galgamento devido à capacidade de descarga insuficiente em situações de cheias extraordinárias;
- Cenário 2 – Galgamento em situações de ruptura de taludes no entorno do reservatório com redução do volume disponível para trânsito e amortecimento dos hidrogramas de cheias;
- Cenário 3 – Galgamento em situações de obstrução do vertedouro com redução da capacidade de extravasão; e
- Cenário 4 – Galgamento em situações de ruptura de taludes no entorno do reservatório gerando uma onda capaz de galgar o barramento (não avaliado no desenvolvimento do GRG).

As seguintes informações são necessárias para aplicação dos métodos propostos, independentemente dos cenários a serem avaliados:

- Curva cota-descarga do sistema extravasor;
- Curva cota-volume atualizada do reservatório; e
- Níveis operativos notáveis do reservatório.

Os subitens a seguir descrevem os passos e métodos necessários para avaliação de cada um dos referidos cenários. A escolha do cenário mais apropriado é dependente do contexto ao qual a estrutura está inserida e alguns aspectos devem ser observados, tais como: i) geometria do vertedouro; ii) tipo de soleira; iii) existência de taludes e pilhas de estéril no entorno do reservatório; iv) morfologia do assoreamento e ocupação do reservatório; v) porte da vegetação de entorno do reservatório. **Ressalta-se que o Cenário 1 deve ser sempre avaliado. A análise dos Cenários 2 e 3 deve ser avaliada caso a caso.**

Cabe observar que no GRG o evento de galgamento foi considerado como um modo de falha, uma vez que está relacionado à perda de função do barramento, ou seja, à extravasão descontrolada com possíveis inundações do vale jusante. Ressalta-se que o galgamento também pode condicionar a ocorrência de erosão externa do talude de jusante, podendo resultar em instabilidade do maciço com eventual ruptura. No atual estágio de desenvolvimento do Projeto GRG optou-se por associar a probabilidade de ocorrência de galgamento diretamente à probabilidade de ruptura do maciço. Métodos de análises mais detalhados, com emprego concomitante de árvore de eventos e fatores de influência relacionados à erosão externa, estão previstos para desenvolvimento.

7.1 Cenário 1 – Galgamento devido à capacidade de descarga insuficiente



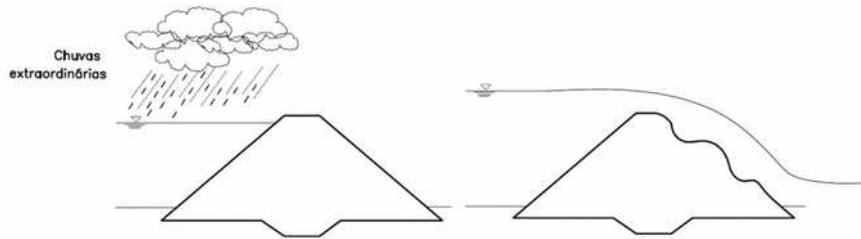
Riscos em
Análise da Probabilidade

Nº: PRO – XXXX6

Pág.: 52 de 57

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015



De maneira geral, as análises quantitativas de riscos para o modo de falha Galgamento podem ser realizadas pelo cálculo da probabilidade de ocorrência de um evento de cheia que pode resultar no galgamento da estrutura. Para o cálculo do evento de cheia e seu respectivo hidrograma de escoamento podem ser utilizados métodos diretos, que utiliza os dados de vazões registradas em uma estação fluviométrica, e métodos indiretos, baseados em dados de chuva precipitada sobre a bacia hidrográfica contribuinte ao barramento de interesse.

No dimensionamento de vertedouros de barragens de mineração, geralmente, os métodos diretos possuem pouca aplicabilidade, pela ausência de dados de monitoramento fluviométrico na área de interesse, com extensão de dados suficiente para realização da análise de frequência, e também pela necessidade de determinação do hidrograma completo da cheia, o qual não se define pelo método direto.

Os passos de cálculo necessários para o cálculo da probabilidade de galgamento por meio da aplicação dos métodos diretos são descritos a seguir:

- Seleção de uma relação altura-duração-frequência representativa da Região de Abrangência do projeto ou de uma estação pluviométrica representativa;
- Caso não se disponha de uma Região de Abrangência, proceder à análise de frequência da amostra a partir dos máximos anuais de altura de chuva da estação pluviométrica representativa;
- Calcular as alturas de precipitação para diferentes períodos de retorno e duração – recomenda-se que sejam calculados os períodos de retorno iguais a 1.000, 10.000, 50.000 e 100.000 anos. Recomenda-se iniciar a análise utilizando o período de retorno da cheia de projeto das estruturas extravasoras;
- Quando não se dispõe de uma relação de altura-duração-frequência, desagregar os quantis de chuvas de 1 dia de duração em alturas de chuvas de menor duração;
- Definir o hidrograma de precipitação – recomenda-se a aplicação do método proposto por Huff, citado por Chow et al. (1988), com adoção do 2º. Quartil e 50% de probabilidade de ocorrência;
- Calcular a precipitação efetiva. Para tanto é necessário delimitar a área da bacia hidrográfica contribuinte ao barramento e identificar as condições de uso e ocupação do solo na área delimitada – recomenda-se a aplicação do Método da Curva Número (CN) proposto pelo NRCS;
- Gerar o hidrograma de cheia correspondente à precipitação efetiva calculada no passo anterior. Esse hidrograma será aquele afluente ao reservatório – recomenda-se a aplicação do método do hidrograma unitário sintético preconizado pelo NRCS;
- Para cada duração e período de retorno de interesse, simular o trânsito do hidrograma de cheia – recomenda-se a aplicação do método de Puls Modificado disponível no modelo matemático de simulação HEC-HMS. A análise hidrológica deve ser realizada de maneira iterativa, incrementando o período de retorno sempre que a duração crítica¹ referente ao período for obtida, até que o resultado indique o galgamento da estrutura ou até completar as simulações correspondentes as precipitações com período de retorno igual a 100.000 anos e duração crítica.



| | | |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise de Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 53 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Para cada simulação deve ser verificado o nível de água máximo *maximorum* resultante. Caso o NA *máx maximorum* seja superior à cota de coroamento da estrutura, a probabilidade de ocorrência de galgamento (P) é dada por:

$$P_{galg} = \frac{NA_{máx} - C}{TR}$$

Onde:

P_{galg} : Probabilidade de galgamento; e

TR: Tempo de retorno do hidrograma de cheia que resulta no galgamento da estrutura.

- Caso o NA *máx maximorum* obtido em todas as simulações seja inferior à cota de coroamento da estrutura, a probabilidade de ocorrência de galgamento (P) é dada por:

$$P_{galg} = 10^{-6}$$

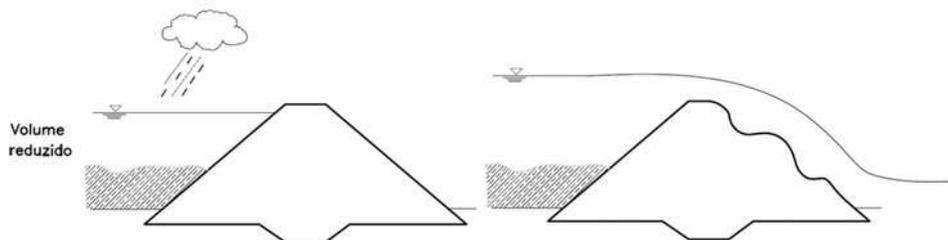
Cabe ressaltar que em algumas situações a altura de precipitação que, pelas simulações empreendidas, resulta em galgamento da estrutura pode ser superior ao valor pontual da PMP na área de interesse. Nesse contexto, pelo próprio conceito da PMP, uma altura de precipitação de tal magnitude seria fisicamente improvável. De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia (WMO), a precipitação máxima provável (PMP) é definida como a maior altura de precipitação para uma determinada duração que é fisicamente possível de ocorrer numa dada região geográfica em um certo período do ano, caracterizando assim um limite superior para a capacidade de geração de tempestades da atmosfera. Entretanto, dada a necessidade de definição de um valor de probabilidade de um evento de precipitação que resulta no modo de falha de galgamento da estrutura, a metodologia adotada pode ser considerada aplicável.

Salienta-se também que para evitar extrapolações de probabilidades de excedência muito superiores àquelas calculadas pela frequência dos pontos amostrais, optou-se por limitar a análise para o período de retorno igual a 100.000 anos. ($P_{galg} = 10^{-6}$)

Para detalhes adicionais dos passos necessários para emprego dos métodos diretos e indiretos e simulação de trânsito de hidrogramas de cheias em reservatórios recomenda-se a consulta da publicação de Pinheiro (2011)¹.



7.2 Cenário 2 – Galgamento em situações de redução do volume disponível para trânsito de cheias devido à ruptura de taludes no entorno do reservatório



Para estruturas em que é identificado um potencial de diminuição do volume disponível para o trânsito de cheias (volume de espera) resultante da ruptura de taludes situados no entorno do reservatório, recomenda-se a quantificação desse potencial. Os passos necessários para cálculo desse potencial são descritos a seguir:

- Empregar os métodos de análise do modo de falha de instabilização de taludes conforme item 5 do presente procedimento – os métodos devem ser aplicados para os taludes situados no entorno do reservatório (taludes de pilhas de estéril ou taludes naturais) que poderiam reduzir o volume disponível para o trânsito de cheias em uma eventual ocorrência de ruptura;
- Atualizar a curva cota-volume do reservatório descontando a porção de volume que seria assoreada pelo material proveniente da ruptura do talude – deve-se computar o percentual de redução da capacidade do reservatório;
- Para cada duração notável e período de retorno, simular o trânsito dos hidrogramas de cheias considerando a curva cota-volume com o assoreamento – curva na qual ocorre uma redução do volume disponível para amortecimento da cheia. Salienta-se que os métodos necessários para determinação dos hidrogramas de cheias são iguais aos utilizados para análise de galgamento do Cenário 1 (item 7.1);
- Para cada simulação deve ser verificado o nível máximo *maximorum* resultante. Caso o NA *max. maximorum* seja superior à cota de coroamento da estrutura, a probabilidade de ocorrência de galgamento devido à redução do volume de amortecimento ($P_{galg.red.vol.}$) é dada por:

$$P_{galg.red.vol.} = P_{ruptura\ de\ talude\ no\ entorno} \times \frac{NA_{max. maximorum} - cota\ de\ coroamento}{NA_{max. maximorum}}$$

Onde:

$P_{galg.red.vol.}$: Probabilidade de galgamento devido à redução do volume de amortecimento resultante de ruptura de taludes no entorno;

$P_{ruptura\ de\ talude\ no\ entorno}$: Probabilidade de ruptura de taludes situados no entorno;

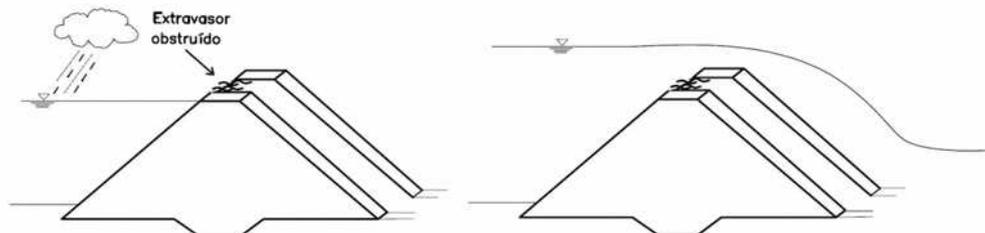
$TR_{redução\ volume\ disponível}$: Período de retorno da cheia afluyente que resulta em galgamento da estrutura após a redução do volume de amortecimento.

- Caso o NA *max. maximorum* obtido em todas as simulações realizadas seja inferior à cota de coroamento da estrutura, a probabilidade de ocorrência de galgamento ($P_{galg.}$) é dada por:

$$P_{galg.} = 10^{-6}$$



7.3 Cenário 3 – Galgamento situações de restrição à operação do vertedouro



Para estruturas em que é identificado o potencial de galgamento devido à restrição operativa do vertedouro por obstrução total ou parcial por galhada, crescimento de vegetação, entre outros materiais, recomenda-se a quantificação desse potencial. Os passos necessários para cálculo desse potencial são descritos a seguir:

- Estimar a probabilidade de ocorrência da obstrução do sistema extravasor. Para essa estimativa recomenda-se a utilização de descritores verbais e consenso de especialistas baseado na experiência e julgamento de engenharia conforme apresentado na Tabela 7 do item 6.3;
- Atualizar a curva cota-descarga do vertedouro considerando a parcela (percentual) do emboque que apresenta potencial para ser obstruído – em algumas situações o vertedouro poderá ser totalmente obstruído e, portanto, apresentar capacidade de descarga igual a zero;
- Para cada duração e período de retorno de interesse, simular o trânsito dos hidrogramas de cheias considerando a curva cota-descarga atualizada com redução de capacidade de descarga do vertedouro. Salienta-se que os métodos necessários para determinação dos hidrogramas de cheias são iguais aos utilizados para análise de galgamento do Cenário 1 (item 7.1);
- Para cada simulação deve ser verificado o nível máximo *maximorum* resultante. Caso o NA *max. maximorum* seja superior à cota de coroamento da estrutura, a probabilidade de ocorrência de galgamento devido à obstrução do vertedouro ($P_{\text{galg. obstrução}}$) é dada por:

$$P_{\text{galg. obstrução}} = P_{\text{obstr. vertedouro}} \cdot \left(\frac{NA_{\text{max. maximorum}} - cota_{\text{coroamento}}}{NA_{\text{max. maximorum}} - NA_{\text{cota de coroamento}}} \right)^{TR_{\text{obstr. vertedouro}}}$$

Onde:

$P_{\text{galg. obstrução}}$: Probabilidade de galgamento devido à obstrução do vertedouro;

$P_{\text{obstr. vertedouro}}$: Probabilidade de obstrução do vertedouro;

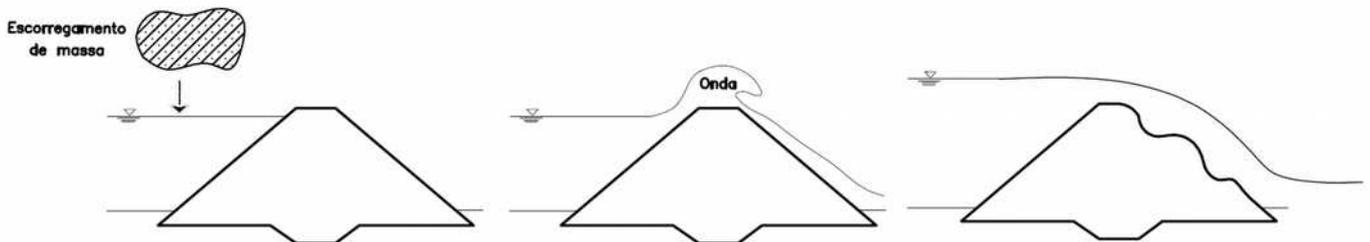
$TR_{\text{obstr. vertedouro}}$: Período de retorno da cheia afluyente que resulta em galgamento da estrutura após a obstrução do vertedouro.

- Caso o NA *max. maximorum* obtido em todas as simulações realizadas seja inferior à cota de coroamento da estrutura, a probabilidade de ocorrência de galgamento ($P_{\text{galg.}}$) é dada por:

$$P_{\text{galg.}} = 10^{-6}$$



7.4 **Cenário 4 – Galgamento em situações de ruptura de taludes no entorno do reservatório gerando uma onda capaz de galgar o barramento** (não avaliado no desenvolvimento do GRG)



A análise quantitativa de riscos para esse cenário não será abordada neste procedimento, por ainda não se dispor de uma metodologia padrão para esta situação.

8 LIQUEFAÇÃO – ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS

A análise quantitativa de riscos para o modo de falha Liquefação não será abordada neste procedimento, por ainda não se dispor de uma metodologia padrão para esta situação.

Para a realização desta análise, uma abordagem possível poderá ser consultada no Relatório Técnico **RD-643-RL-32769-00 - GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS - ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE RUPTURA DOS MODOS DE FALHA DA BARRAGEM SUL SUPERIOR**, desenvolvido pela Pimenta de Ávila Consultoria em novembro de 2013.



| | | |
|---|------------------------|---------------------|
| Riscos em Análise da Probabilidade | Nº: PRO – XXXX6 | Pág.: 57 de 57 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

ANEXO A – FLUXOGRAMA PARA A REALIZAÇÃO DE ANÁLISE PROBABILÍSTICA - BARRAMENTOS

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 1 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

| | |
|--|--|
| Responsável Técnico: Marilene Lopes, Gerência de Geotecnia, Hidrogeologia e Fechamento de Mina | Código de Treinamento: NA Necessidade de Treinamento: Sim |
| Público-alvo: Empregados da Vale e das empresas contratadas no Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Ferroso | Palavras-chave: Valoração, Consequências, Metodologias de Cálculo, Barragens e Diques |

1 OBJETIVO

Descrever os procedimentos para valoração monetária das consequências decorrentes de uma ruptura de barragem por meio da aplicação de metodologias específicas para cada esfera de consequência (Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômica, Imagem da Empresa, Social e Órgãos Reguladores), como parte do processo de Análise de Risco.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Gestão de riscos de estruturas geotécnicas de barramentos (barragens e diques de terra e/ou rejeitos) da VALE localizadas no Brasil, nas etapas de projeto, implantação, operação e fechamento.

3 REFERÊNCIAS

ABEP – Critério de Classificação Brasil

ABNT NBR 12.721/2006 – Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento

ABNT NBR ISO 31000 – Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Alagoas – Junho de 2010.** Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Alagoas. Brasília. Novembro de 2012.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Pernambuco – Janeiro de 2010.** Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Pernambuco. Brasília. Novembro de 2012.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Santa Catarina – Novembro de 2008.** Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado de Santa Catarina. Brasília. Novembro de 2012.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro – Janeiro de 2011.** Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Brasília. Novembro de 2012.

BATTELLI, B. P. **Ativos intangíveis, valor da firma e estrutura de capital no Brasil.** Dissertação de Mestrado da Escola de Pós-graduação em Economia da Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro. 28p. 2011.

BRITO, B. M. B. **A Reação do Mercado Acionário Brasileiro a Eventos Ambientais.** Dissertação de Mestrado, Instituto COPPEAD de Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 84p. 2005.

CANÇADO, V. L. **Consequências Econômicas das Inundações e Vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2009. 394p.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**. Volume 387, p. 253-260, 1997.

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 2 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Ministério dos Transportes. Custos Médios Gerenciais. Publicado em Maio 2014. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/servicos/custo-medio-gerencial/custos-medios-ger.maio-14.pdf>>. Acesso em: 23/06/2014.

DNIT – Custos Médios Gerenciais março 2015.

EPA - Environmental Protection Agency. **An introduction to environmental accounting as a business management tool: key concepts and terms**. Office of Pollution Prevention And Toxics, Washington, D.C, 1995.

FENABRAVE. INFORMATIVO FENABRAVE. 2013 Disponível em: <<http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus>>. Acesso em: 15/04/2014.

FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. Disponível em: <<http://www.fipe.org.br/web/index.asp>>. Acesso em: 20/08/2015.

ISO IEC 56/1268 CDV – IEC 31010 Ed. 1.0: Risk Management - Risk Assessment Techniques.

KAYO, Eduardo K. **A estrutura de capital e o risco das empresas tangível-intensivas e intangível-intensivas**. Tese doutorado, USP, São Paulo, 2004, 126 p.

LEHMAN, W. Needham, J. **Consequence Estimation for Dam Failures Using HEC-FIA 2.2**. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-fia/documentation/HEC-FIA_22_Consequence_Estimation.pdf>. Acesso em: 16/10/2013.

MACHADO, Maria L. **Curvas de Danos de Inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia – estudo de caso bacia do rio Sapucaí, Itajubá – MG**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005. 217p.

MILOGRANA, J. **“Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas”**. Tese de Doutorado, UNB, Brasília. 2009

MILONE, M. C. M. **Calculo do Valor de Ativos Intangíveis: Uma Metodologia Alternativa para a Mensuração do Valor de Marcas**. Tese de Doutorado da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Departamento de Administração da Universidade de São Paulo. São Paulo. 124p. 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Valoração econômica da biodiversidade - estudos de caso no Brasil**. Brasília, 2000.

NIETO et al. **Marcas e Patentes - Ativos Intangíveis Fundamentais**. Departamento de Ciências Contábeis da Universidade Estadual de Maringá. 2006. Disponível em: <http://www.dcc.uem.br/semana2006/anais2006/Anais_2006_arquivo_25.pdf>. Acesso em: 23/05/2014.

NOGUEIRA, K. G. F.; ANGOTTI, M. Revista Contemporânea de Contabilidade. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, v.8, n°16, p. 65-88, jul./dez., 2011.

NOR-0007-G – Norma de Gestão de Risco Operacional Rev.: 02–17/02/2014.

POL-00009-G – Política de Gestão de Riscos Corporativa Rev.: 01–25/08/2011.

Relatório Resultado da Vale no 3T15 – IFRS – USD

RESCDAM – Development of rescue actions based on dam break flood analysis – Helsinki 30/06/2001

US ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE. **HEC-FIA Flood Impact Analysis User’s Manual Version 2.2**. Davis, CA. 2012.

WHITMAN, R. V. **Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering**. Journal Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 110, 145-88. 1981.

4 INTRODUÇÃO

Os potenciais danos decorrentes de uma ruptura de barragem podem ser definidos como toda mudança provocada nos sistemas naturais, sociais e econômicos.

Estes danos podem ser distinguidos entre i) **tangíveis**, aqueles passíveis de mensuração em termos monetários; e ii) **intangíveis**, que se relacionam a bens de difícil quantificação ou quando, por razões éticas ou ideológicas, é considerada indesejável ou inapropriada sua valoração, sendo um bem imaterial, ou seja, que não tem forma

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 3 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

física. É importante mencionar que, muitos bens, hoje intangíveis, podem tornar-se passíveis de mensuração no futuro (CANÇADO, 2009; GREEN, PARKER & TUNSTALL, 2000).

Um segundo critério de classificação decompõe os danos em:

- **Diretos:** aqueles que podem ser diretamente atribuídos à ocorrência de um acidente/incidente e, em geral, são resultantes do contato físico da água, destroços, solos e dos sedimentos com o bem atingido. Nessa categoria estão incluídos: danos decorrentes da destruição ou degradação de propriedades públicas e privadas e a perda ou desgaste de bens públicos e privados decorrente da ação física, química e biológica das águas, do solo e/ou da deposição de sedimentos, relacionados ao acidente (MACHADO, 2005);
- **Indiretos:** ocorrem quando atividades sociais e econômicas são interrompidas por causa da inundação. Como simplificação, qualquer dano decorrente da inundação que não seja direto, é considerado indireto. Os danos indiretos levam à redução da atividade econômica, bem como perdas de arrecadação de impostos, custos de serviços de emergência e de defesa civil, custos de limpeza de áreas atingidas, perdas de valor de propriedades, aumentos em valores de seguros para cobrir danos, desemprego ou redução de salários, entre outros (MACHADO, 2005).

Na Tabela 1 é apresentado um exemplo de tipologia de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.

Tabela 1 – Tipologia de Danos Decorrentes de Inundações em Áreas Urbanas

| SETOR | DANOS TANGÍVEIS | | DANOS INTANGÍVEIS | |
|---------------------|--|--|---|---|
| | Diretos | Indiretos | Diretos | Indiretos |
| Habitacional | - Danos físicos à construção; - Conteúdo. | - Custos de limpeza; - Alojamento; - Medicamentos. | - Ferimentos e perdas de vidas humanas; - Doenças pelo contato com a água; - Perda de objetos de valor sentimental; - Perda de animais de estimação. | - Estados psicológicos de estresse e ansiedade; - Danos de longo prazo à saúde. |
| Comércio e Serviços | - Danos físicos à construção; - Conteúdo; - Mobiliário, estoques, mercadorias em exposição, etc. | - Custos de limpeza; - Lucros cessantes; - Desemprego; - Perda de base de dados; - Perda de renda. | - Ferimentos e perdas de vidas humanas; - Doenças pelo contato com a água. | - Estados psicológicos de estresse e ansiedade; - Danos de longo prazo à saúde; - Inconvenientes de interrupção de serviços; - Falta de motivação para o trabalho. |
| Industrial | - Danos físicos à construção; - Conteúdo; - Estoques de matéria prima, produtos acabados e equipamentos. | - Custos de limpeza; - Lucros cessantes; - Desemprego; - Perda de base de dados; - Perda de renda. | - Ferimentos e perdas de vidas humanas; - Doenças pelo contato com a água. | - Estados psicológicos de estresse e ansiedade; - Danos de longo prazo à saúde; - Falta de motivação para o trabalho. |

Fonte: Adaptado de Machado (2005)

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 4 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Tabela 1 (continuação) – Tipologia de Danos Decorrentes de Inundações em Áreas Urbanas

| SETOR | DANOS TANGÍVEIS | | DANOS INTANGÍVEIS | |
|----------------------------------|--|--|---|--|
| | Diretos | Indiretos | Diretos | Indiretos |
| Equipamentos públicos e serviços | - Danos físicos à construção; - Conteúdo. | - Custos de limpeza e de interrupção de serviços; - Custo dos serviços de emergência. | - Ferimentos e perdas de vidas humanas; - Doenças pelo contato com a água. | - Estados psicológicos de estresse e ansiedade; - Danos de longo prazo à saúde; - Inconvenientes de interrupção de serviços. |
| Infraestrutura | - Danos físicos ao patrimônio. | - Custos de limpeza e de interrupção de serviços; - Paralisação e congestionamento nos serviços; - Custos adicionais de transportes. | - Ferimentos e perdas de vidas humanas; - Doenças pelo contato com a água. | - Inconvenientes de interrupção de serviços. |
| Patrimônio Histórico e Cultural | - Danos físicos ao patrimônio. | - Custos de limpeza e de interrupção de serviços. | - Ferimentos e perdas de vidas humanas; - Doenças pelo contato com a água. | - Inconvenientes de interrupção de serviços. |

Fonte: Adaptado de Machado (2005)

No GRG – Gestão de Riscos Geotécnicos são consideradas seis esferas para quantificação / valoração das consequências em consonância com as diretrizes existentes na Norma de Risco Operacional da VALE (NOR-0007-G). Na Figura 1 estão apresentadas as esferas das consequências consideradas na valoração: Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômicos Diretos & Indiretos, Imagem da Empresa, Sociais e Órgãos Reguladores.



Figura 1 – Esferas Consideradas na Valoração das Consequências

A metodologia para a valoração das consequências é específica para cada esfera em análise, e de maneira geral, tem como ponto de partida a realização de um estudo de ruptura hipotética (*dam break*) para a delimitação da potencial área atingida no caso da ruptura da barragem. Nos itens que se seguem são descritas as etapas e processos envolvidos na quantificação das consequências para cada esfera específica.

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 5 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

5 ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA

A etapa inicial para a valoração das consequências consiste na definição dos cenários de análise e realização de estudos de ruptura hipotética da barragem (*dam break*) com o intuito de delimitar a área potencialmente atingida (mancha de inundação), bem como as profundidades, velocidades e tempos de chegada da onda ao longo do vale a jusante.

No que se refere aos cenários de ruptura hipotética, os mesmos devem ser definidos caso a caso em função do porte da barragem, da sua bacia de contribuição e das características da área a jusante. Embora a definição dos cenários seja específica para cada caso, são apresentadas as seguintes diretrizes:

- Avaliação da ruptura da barragem em dia seco (*sunny day*);
- Avaliação da ruptura da barragem associada a uma precipitação de recorrência decamilenar;
- Avaliação da onda de inundação associada a uma cheia natural com diferentes períodos de retorno;
- Avaliação da ruptura da barragem para uma situação sem alerta prévio à população localizada a jusante;
- Avaliação da ruptura da barragem para uma situação com alerta prévio à população localizada a jusante.

6 VALORAÇÃO – ESFERA ECONÔMICA

Os impactos econômicos estão associados basicamente aos custos diretos e indiretos provocados pela ruptura da barragem. Estes impactos/custos podem estar relacionados tanto ao ambiente interno da VALE quanto ao ambiente externo, conforme indicado a seguir:

- **Diretos Externos:** danos a edificações, veículos e infraestrutura atingida (ruas, rodovias, ferrovias, sistema de abastecimento de água, fornecimento de energia elétrica, etc.), ou seja, danos a bens públicos ou de propriedade de terceiros;
- **Diretos Internos:** danos à barragem, edificações internas ao empreendimento, acessos e ferrovias internos, máquinas e equipamentos, instalações (correias transportadoras, usinas de tratamento de minério, etc.), ou seja, danos a bens de propriedade da VALE;
- **Indiretos Externos:** diminuição da produtividade, no comércio e indústrias da região e no entorno da região afetada. Basicamente, estes custos estão relacionados ao lucro cessante das pessoas/empresas afetadas pelo acidente geotécnico;
- **Indiretos Internos:** perda de faturamento da VALE associada à parada da produção, atrasos na entrega do minério, multas por descumprimento de contratos, etc. Basicamente, estes custos estão relacionados ao lucro cessante da VALE ocasionado pela ruptura da barragem.

A formulação para cálculo dos danos econômicos está apresentada a seguir:

$$D_{EC} = D_{DE} + D_{DI} + D_{IE} + D_{II} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

D_{EC} = Danos Esfera Econômica (R\$)

D_{DE} = Danos Diretos Externos (R\$)

D_{DI} = Danos Diretos Internos (R\$)

D_{IE} = Danos Indiretos Externos (R\$)

D_{II} = Danos Indiretos Internos (R\$)

Nos próximos itens serão detalhadas as metodologias a serem aplicadas para o cálculo das quatro parcelas necessárias para a valoração dos danos econômicos.

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 6 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

6.1 DANOS DIRETOS EXTERNOS

De maneira geral, a estimativa dos danos econômicos diretos externos causados pela ruptura de uma barragem levará em consideração os impactos a: **edificações, conteúdo das edificações, veículos, infraestrutura pública e pontes.**

É importante destacar que, estes cinco itens foram elencados como itens de referência no processo de valoração. Entretanto, os itens a serem valorados devem ser avaliados caso a caso, de modo a verificar a necessidade de inclusão de novos itens e/ou a possibilidade de supressão de um ou mais itens de referência considerados.

A estimativa dos danos a edificações, conteúdo e veículos é realizada a partir da utilização da ferramenta HEC-FIA desenvolvida pela *US. Army Corps of Engineers*. A abordagem utilizada pelo HEC-FIA para a estimativa de perdas monetárias diretas é baseada no cruzamento do custo de cada edificação¹ posicionada dentro da mancha de inundação. O processo utilizado pelo HEC-FIA consiste em associar ao inventário de estruturas, o número de habitantes na área atingida, os dados socioeconômicos da região impactada, as cotas altimétricas das edificações inundadas, juntamente com os resultados de velocidade de escoamento e profundidade de inundação do modelo hidráulico de propagação da onda de cheia. O programa estima os custos dos danos a edificações, conteúdo das edificações e veículos, além do potencial de perdas de vidas humanas. Destaca-se que, o detalhamento da estimativa do potencial de perdas de vida será apresentado no Item 7 (Valoração - Esfera Saúde e Segurança).

Os dados de entrada e saída da ferramenta HEC-FIA estão indicados na Figura 2.

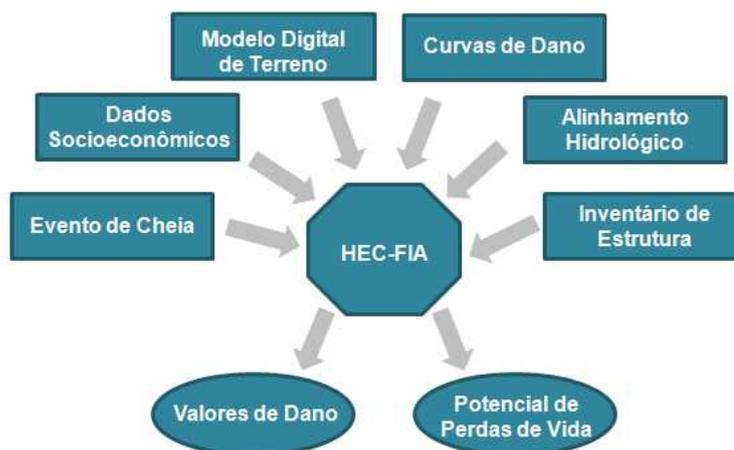


Figura 2 – Base de Dados para a Estimativa de Danos Materiais e Potencial de Perdas de Vida no HEC-FIA

Na Figura 3 é apresentado o processo de valoração dos danos econômicos diretos associados às edificações e conteúdo e na Figura 4 é apresentado o fluxograma para o cálculo dos danos aos veículos.

O HEC-FIA mostra-se adequado como ferramenta e referencial metodológico, para a realidade brasileira por meio da utilização de funções de dano personalizadas baseadas em eventos brasileiros anteriores e em dados extraídos do censo demográfico. Um exemplo brasileiro de utilização de metodologia similar à empregada pelo HEC-FIA é apresentado por Machado (2005), na qual foi aplicada a metodologia no estudo dos danos decorrentes das inundações naturais no município de Itajubá/MG.

O método de estimação de impactos diretos proposto pelo HEC-FIA exige a composição de uma base de dados que congrega:

1

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 7 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Hidrografia e propagação da onda de cheia;
- Modelo Digital do Terreno (MDT);
- Dados socioeconômicos da área atingida;
- Inventário de estruturas.

A partir da caracterização socioeconômica da área de estudo é realizado o inventário (arquivo vetorial de pontos) que identifica individualmente cada benfeitoria em uma restituição sobre imagem de satélite da área de interesse. A estes pontos é associada uma tabela de atributos que contém o número de residentes, características construtivas, conteúdo passível de dano e dados auxiliares de identificação.

No Brasil existem restrições legais quanto à publicação de dados individualizados da população, motivo pelo qual o Censo Demográfico apresenta apenas dados agregados, e submetidos a uma série de procedimentos de proteção dos dados dos informantes (IBGE, 2011, p.35). Desta forma, a estrutura utilizada pelo IBGE permite o conhecimento de: renda média dos domicílios de um setor, quantidade de domicílios em um setor que se enquadra em uma dada faixa de renda, população média residente nos domicílios do setor, quantidade de domicílios do setor que possuem população em uma dada categoria de ocupação domiciliar, número de carros, faixa etária da população, características dos domicílios e entorno, etc. Para fins da construção do inventário de estruturas, a principal limitação dos dados do Censo Demográfico do IBGE é o não fornecimento dos endereços e das coordenadas dos domicílios existentes nos setores censitários.

Destaca-se que no inventário não é possível uma identificação exata do total de domicílios, uma vez que não é possível distinguir se há dois ou mais em uma mesma edificação. Seria necessária a realização de levantamento/pesquisa de campo para a obtenção da quantidade real de domicílios. Busca-se realizar a contabilização dos domicílios de forma a se obter o valor mais próximo possível daquele identificado pelo IBGE para os setores censitários. Contudo, verifica-se que, diante das demais incertezas inerentes à metodologia de valoração, uma pequena diferença no número de domicílios é aceitável, não se justificando a realização obrigatória de uma pesquisa de campo. Essa se faz necessária em casos específicos, conforme julgamento do analista de risco dada a tipologia do vale a jusante.

No inventário deve-se caracterizar a finalidade de cada estrutura: residencial, comercial, industrial, educacional, pública e recreação. A realização do inventário demanda ainda o tratamento das informações disponíveis no Censo Demográfico realizado pelo IBGE. No tocante à renda, há duas fontes principais de dados disponibilizadas: (i) renda domiciliar nominal que se encontra agregada para o município (informada no Sítio Cidades); e (ii) renda domiciliar per capita (informada nas tabelas do agregado por setores censitários - uma unidade territorial menor que o município). Ressalta-se que o dado de menor agregação espacial é considerado mais adequado, pois representa um retrato mais localizado da condição econômica das áreas potencialmente atingidas pela inundação. Desta forma, optou-se por utilizar os dados de renda domiciliar per capita na atribuição de renda aos domicílios.

O tratamento destas informações tem como principal objetivo a definição do percentual de domicílios enquadrados nas classes econômicas A, B, C, D e E (indicadas pela ABEP). A definição deste percentual ocorre basicamente como se descreve a seguir.

- Para cada município se obtém o número de domicílios com renda per capita classificada segundo as faixas adotadas pelo IBGE¹ e o número médio de moradores dos domicílios daquele município;
- Multiplicando a renda per capita destes domicílios pelo número médio de moradores, tem-se a renda estimada destes domicílios;
- Os valores de renda estimada dos domicílios são segmentados com base no critério de classificação ABEP;

1

O IBGE adota as seguintes faixas de renda:

- | | | |
|---|---------------|--------------------|
| - abaixo de 1/8 do Salário Mínimo (SM); | - 1/2 a 1 SM; | - 3 a 5 SM; |
| - 1/8 a 1/4 SM; | - 1 a 2 SM; | - 5 a 10 SM; e |
| - 1/4 a 1/2 SM; | - 2 a 3 SM; | - Maior que 10 SM. |

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 8 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Dividindo-se o número de domicílios pertencentes a cada classe econômica pelo número total de domicílios tem-se o percentual de domicílios por classe econômica.

De posse dos percentuais de domicílios por classe econômica, é realizada uma distribuição aleatória das respectivas classes para os domicílios inventariados no imageamento da área afetada pela ruptura da barragem. O uso de uma distribuição aleatória se deve à impossibilidade de reconhecer, inequivocamente, pelo imageamento orbital a que classe econômica um determinado domicílio possa pertencer. A distribuição aleatória visa, tão somente, à imparcialidade na alocação espacial das classes econômicas e à solução de uma necessidade topológica: a associação de classe econômica a cada ponto do inventário de estruturas. Essa distribuição pode ser auxiliada por visita de campo e reconhecimento da área de interesse.

Para os prédios (residências multifamiliares) definiu-se o total equivalente de domicílios que o compõem através de uma classificação visual do padrão construtivo do edifício: definição da área em planta de cada edifício e a quantidade de andares efetivamente habitável (andares de garagem e sociais foram excluídos). Com base nessas informações e com a área de uma edificação típica em função da classe econômica (definidas a partir da NBR 12.721/2005), definiu-se a quantidade de domicílios equivalentes a cada prédio através da divisão entre área habitável de cada prédio por área do domicílio típico.

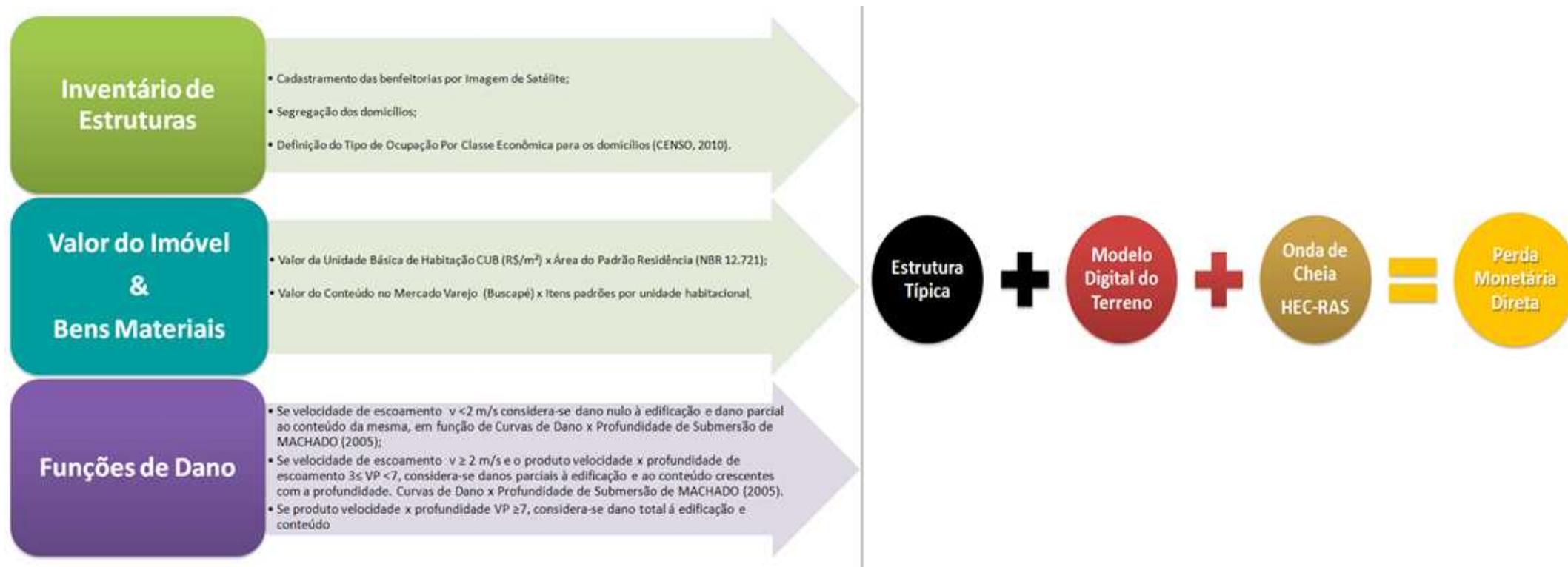


Figura 3 – Fluxograma – Cálculo dos Danos às Edificações e Conteúdo (HEC-FIA).

A
C



Riscos em Barramentos – Definição das

Nº: PRO – XXXX7

Pág.: 10 de 51

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

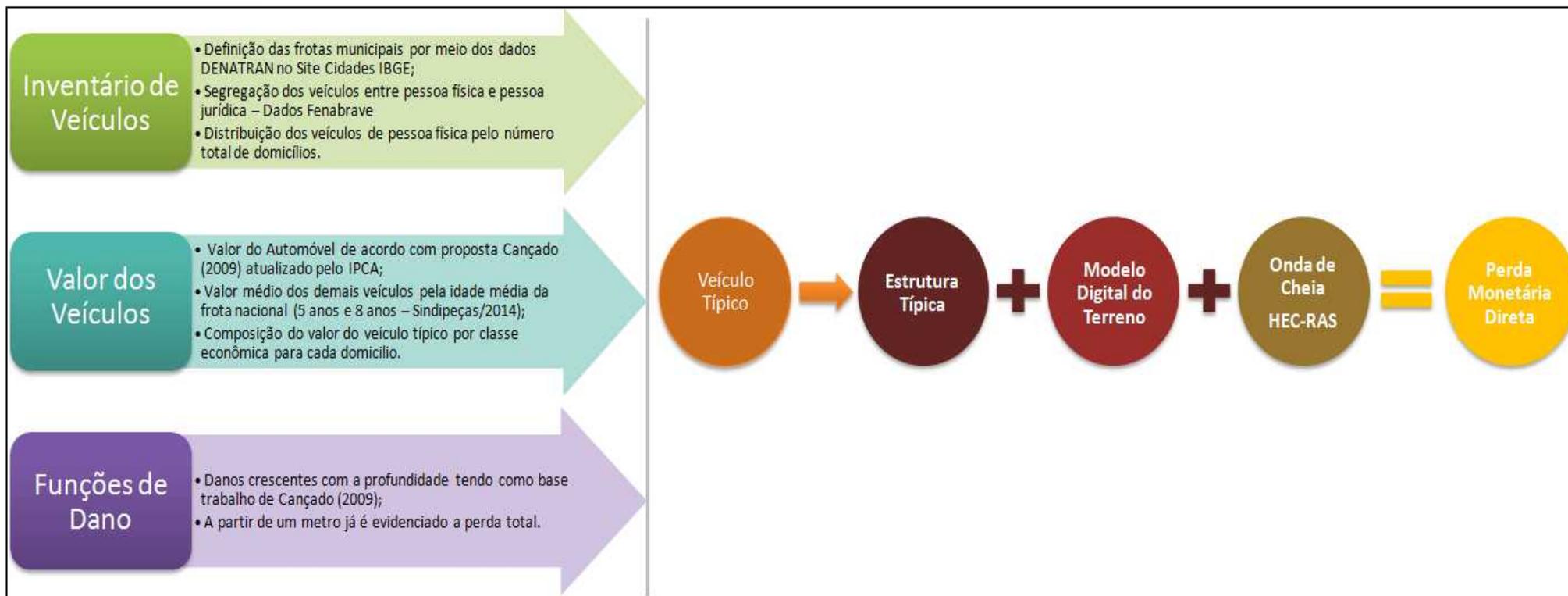


Figura 4 – Fluxograma de Processo de Valoração de Veículos (HEC-FIA).

| | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 11 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

6.1.1 CÁLCULOS DOS DANOS ÀS EDIFICAÇÕES

As etapas necessárias para a quantificação dos danos às edificações e conteúdo estão indicadas a seguir:

1. Efetuar inventário, em um modelo georreferenciado, das estruturas existentes na área potencialmente atingida e identificar as áreas residenciais (domicílios);
2. Nas estruturas identificar o número de andares de cada edificação e organizar o inventário a ser utilizado no modelo HEC-FIA. Adotar a seguinte nomenclatura:
 - ✓ Nº. de andares + and + X (se existente, cada andar não residencial é identificado por um X) + G (se existente, cada andar de garagem existente ganha um G) + padrão de acabamento NBR 12.721 (B-baixo, N – normal, A - alto). Exemplos:
 - i. 1andA = prédio de 1 andar padrão A.
 - ii. 3andXB = prédio de 3 andares padrão B com 1 dos andares não residencial.
 - iii. 11andXGXB = prédio de 11 andares classe B com 1 andar não residencial no primeiro andar, 1 andar de garagem no segundo andar e outro andar não residencial no terceiro andar. Esta categoria equivale exatamente ao R8N da NBR. (8 andares residenciais, hall de entrada e portaria no térreo, garagem no segundo andar e área de convivência no terceiro andar).
3. Para cada município potencialmente atingido obter do último Censo do IBGE o número de domicílios agregados por setores censitários do município e as faixas de renda domiciliar conforme o padrão de renda adotado pelo IBGE¹.

As informações do Censo de 2010 agregadas por setor censitário podem ser obtidas na planilha Domicilios.xls disponível em:

ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/

Os setores censitários pertencentes a cada município podem ser obtidos em:

ftp://geofp.ibge.gov.br/malhas_digitais/censo_2010/setores_censitarios

4. Com base nos valores de renda estimados dos domicílios, segmentar com base no critério de classificação ABEP os domicílios conforme as classes econômicas (A, B, C, D, e E). Para verificação do critério utilizado pela ABEP deve-se consultar o último relatório do Critério de Classificação Econômica Brasil disponível em <http://www.abep.org/>. Ilustrativamente, na Tabela 2 é apresentado o critério de classificação econômica Brasil referente à publicação de 2015. Deve-se salientar que essa classificação deve ser atualizada sempre que necessário.

Tabela 2 – Critério de Classificação Econômica Brasil – ABEP

| Classe Sócio Econômica | | Renda média domiciliar mensal ¹ | |
|------------------------|-----|--|-----------------|
| | | Limite Inferior | Limite Superior |
| A | A1 | R\$ 20.272,56 | - |
| B | B1 | R\$ 8.695,88 | R\$ 20.272,56 |
| | B2 | R\$ 4.427,36 | R\$ 8.695,88 |
| C | C1 | R\$ 2.409,01 | R\$ 4.427,36 |
| | C2 | R\$ 1.446,24 | R\$ 2.409,01 |
| D/E | D-E | R\$ 0,00 | R\$ 1.446,24 |

1

O IBGE adota as seguintes faixas de renda:

- abaixo de 1/8 do Salário Mínimo (SM);
- 1/8 a 1/4 SM;

- 1/2 a 1 SM;
- 1 a 2 SM;

- 3 a 5 SM;
- 5 a 10 SM; e

| | | | | |
|----------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 12 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Na Tabela 3 é apresentada a transformação das faixas de renda per capita do IBGE para a classificação socioeconômica domiciliar no critério ABEP.

Tabela 3 – Transformação das faixas de renda per capita do IBGE para classificação sócia econômica domiciliar no critério ABEP.

| Faixas de renda per capita (IBGE) | Valor médio de renda per capita ¹ | Número médio de habitantes por domicílio (IBGE) ² | Valor médio de renda domiciliar | Classificação o sócio econômica domiciliar ABEP ³ | Número de domicílios por faixa de rendimento (IBGE) ⁴ | Total de domicílios por classe sócio econômica |
|-----------------------------------|--|--|---------------------------------|--|--|--|
| Coluna 1 | Coluna 2 | Coluna 3 | Coluna 4 = (Col. 2) x (Col. 3) | Coluna 5 | Coluna 6 | Coluna 7 = (Soma Col .6 em linha) |
| Maior que 10 SM | - | - | - | A | - | - |
| 5 a 10 SM | - | - | - | B | - | - |
| 3 a 5 SM | - | - | - | | - | |
| 2 a 3 SM | - | - | - | | - | |
| 1 a 2 SM | - | - | - | C | - | - |
| 1/2 a 1 SM | - | - | - | | - | |
| 1/4 a 1/2 SM | - | - | - | D-E | - | - |
| 1/8 a 1/4 SM | - | - | - | | - | |
| < 1/8 SM | - | - | - | | - | |

1 – Considerando a média da faixa salarial do IBGE e valor do salário mínimo

2 – Extraído das informações do Censo IBGE agregadas por setor censitário (planilha *DomicilioRenda_MG.xls*)

3 – Critério ABEP 2015 - <http://www.abep.org/>

4 – Extraído das informações do Censo IBGE agregadas por setor censitário (planilha *DomicilioRenda_MG.xls*)

- Dividir o número total de domicílios pertencentes a cada classe econômica pelo número total de domicílios e obter o percentual de domicílios por classe econômica (A a E) do município;
- Aplicar os percentuais obtidos no total de domicílios inventariados na área inundada pela ruptura da barragem – a aplicação da classe econômica a um dado domicílio deve ser feita de maneira aleatória, a respeitar o limite percentual de cada classe;
- Para cada classe econômica (A, B, C, D, e E), estabelecer o valor total do imóvel com base na área de uma edificação típica em função da classe econômica (definida a partir da NBR 12.721/2005) e no valor do Custo Unitário Básico¹ (CUB), divulgado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (Sinduscon). Desta forma, o valor da edificação é dado pelo produto da área base da edificação pelo Custo Unitário Básico, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores Atribuídos às Edificações por Classe Econômica

| CLASSE | CATEGORIA NBR 12.721 | PADRÃO CONSTRUTIVO | ÁREA BASE (m ²) | CUSTO UNITÁRIO BÁSICO (CUB R\$) | VALOR EDIFICAÇÃO (R\$) |
|--------|----------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
|--------|----------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|

1

Custo por metro quadrado de construção do projeto-padrão considerado, calculado mensalmente de acordo com a metodologia estabelecida, pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil, em atendimento ao disposto no artigo 54 da Lei nº 4.591/64 e que serve de base para avaliação de parte dos custos de construção das edificações.

**A
B
C**



**Riscos em
das**

Nº: PRO – XXXX7

Pág.: 13 de 51

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

| Coluna 1 | Coluna 2 | Coluna 3 | Coluna 4 | Coluna 5 | Coluna 6 = (Col. 4) x (Col. 5) |
|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|--------------------------------|
| A | R1-A | Alto | 224,82 | Valor definido pelo Sinduscon | |
| B | R1-N | Normal | 106,44 | Valor definido pelo Sinduscon | |
| C | R1-B | Baixo | 58,64 | Valor definido pelo Sinduscon | |
| D/E | R1PQ | Popular | 39,56 | Valor definido pelo Sinduscon | |

Nota 1: A categoria, o padrão construtivo e a área base da edificação em função da classe econômica / padrão construtivo foram obtidos a partir da NBR 12.721.

Nota 2: Custo Unitário Básico (CUB) por classe econômica deve ser definido com base em publicação do Sinduscon atualizada para o mês vigente.

8. Atribuir para cada domicílio o valor do conteúdo associado à respectiva classe econômica com base no trabalho de Cançado (2009). O valor do conteúdo deve ser atualizado pelo índice IPCA acumulado entre o período de Julho de 2015 até a data de interesse.

Tabela 5 – Valores Atribuídos ao Conteúdo por Classe Econômica

| CLASSE | VALOR DO CONTEÚDO NOVO ^(a, b) (R\$) |
|--------|--|
| A | 77.685,90 |
| B | 32.613,60 |
| C | 10.053,50 |
| D/E | 7.936,95 |

- (a) Nos estudos de valoração serão considerados os preços do conteúdo novo, não sendo aplicado nenhum percentual de depreciação dos itens típicos considerados nas edificações.
- (b) Para correção dos valores pelo IPCA pode-se utilizar a Calculadora do Cidadão produzida pelo Banco Central do Brasil disponibilizada em:
<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPUBLICO/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>

| | | | | |
|-------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 14 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

9. Em uma ferramenta de geoprocessamento (exemplo ArcGIS) inserir a mancha de inundação, juntamente com o mapeamento das velocidades de escoamento no trecho a jusante. Realizar a multiplicação das profundidades de inundação pelas velocidades de escoamento e obter o mapa de risco hidrodinâmico (Figura 5).

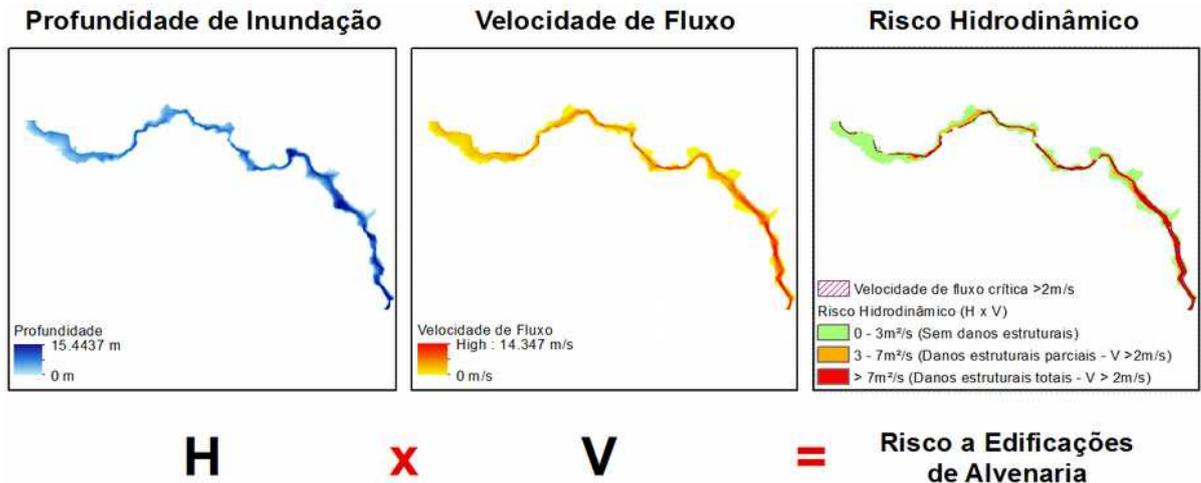


Figura 5 – Mapeamento de risco hidrodinâmico

10. Classificar o risco hidrodinâmico conforme apresentado na Tabela 6 e Figura 6.

Tabela 6 – Classificação do risco hidrodinâmico

| Risco hidrodinâmico e velocidade de escoamento | $V \leq 2 \text{ m/s}$ | $V \geq 2 \text{ m/s} \ \& \ R \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$ | $V \geq 2 \text{ m/s} \ \& \ R \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$ |
|--|------------------------|---|---|
| Cor de classificação | Verde | Amarelo | Vermelho |
| Tipo de dano (edificações em alvenaria) | Somente conteúdo | Dano parcial à edificação | Dano total |

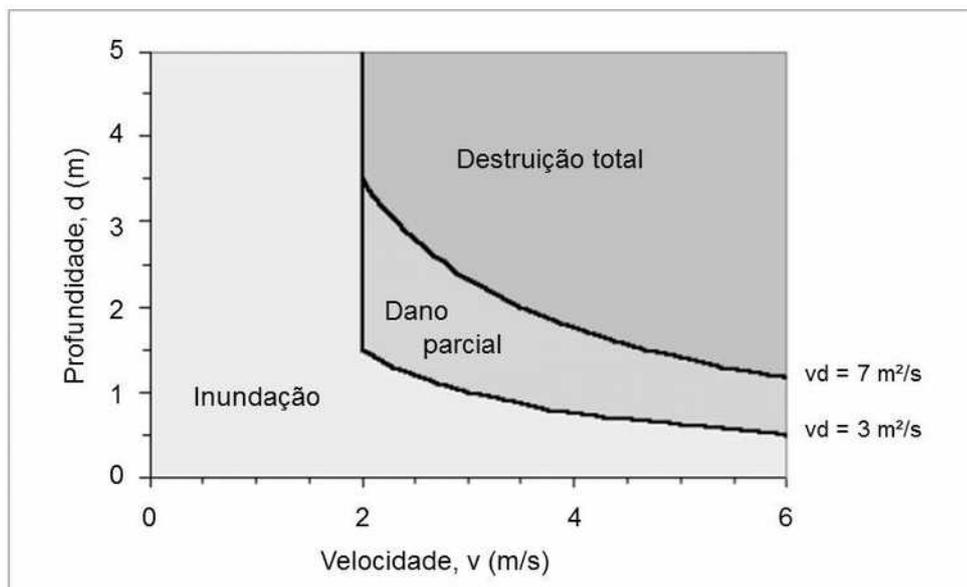


Figura 6: Representação do Risco Hidrodinâmico. (Fonte: RESCDAM, 2001)

11. Atribuir um identificador para cada edificação do inventário a zona de risco hidrodinâmico (Verde, Amarelo e Vermelho) a qual a edificação está inserida.
12. Exportar o arquivo de inventário de edificações no formato *shapfile* da ferramenta de geoprocessamento e importar na ferramenta HEC-FIA. O arquivo *shapfile* deve possuir as colunas: setor censitário da edificação, classe econômica do domicílio, zona de risco hidrodinâmico, município, identificador da edificação (exemplo

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 15 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

1andA, 3andXB, etc.), valor da edificação (Tabela 4), valor do conteúdo novo (Tabela 5) e tipologia de edificação no formato da NBR 12.076.

13. Na ferramenta HEC-FIA, para cada estrutura classificada de acordo com seu risco hidrodinâmico, atribuir às curvas de dano apresentadas abaixo e no Apêndice C, obtida com base no trabalho de Machado (2005). Atentar para o fato de que riscos diferentes implicam em usos diferentes das curvas. Para risco hidrodinâmico verde, apenas curva de conteúdo deve ser utilizada, para risco hidrodinâmico amarelo, curvas de dano ao conteúdo e à edificação devem ser utilizados, e para risco hidrodinâmico vermelho, nenhuma deve ser utilizada, sendo o dano igual a 100%.

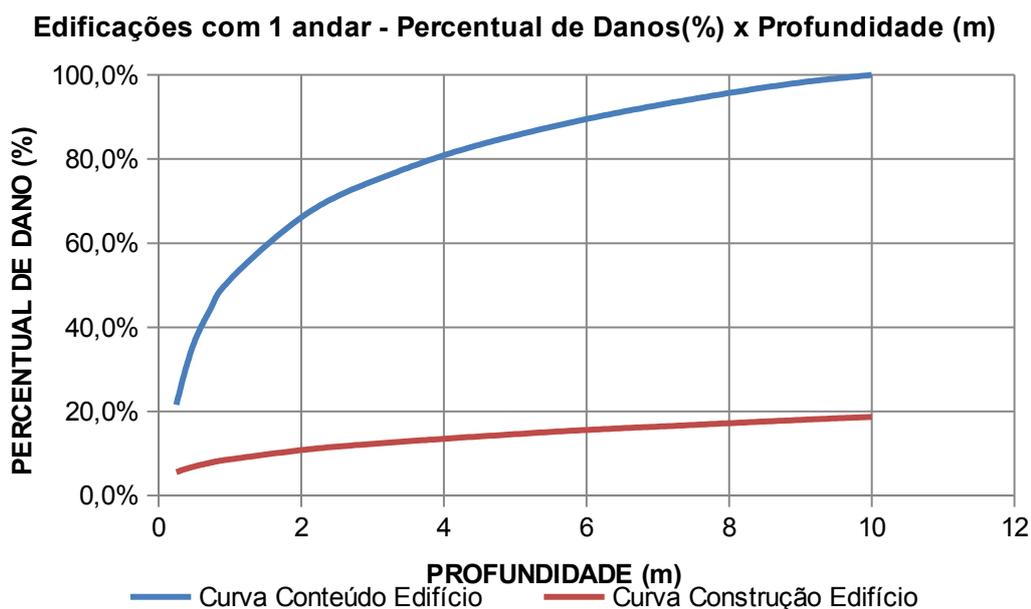


Figura 7: Curva de Dano X Profundidade. Fonte: Machado (2005)

6.1.2 CÁLCULOS DOS DANOS AOS VEÍCULOS

As etapas necessárias para a quantificação dos danos aos veículos estão indicadas a seguir:

- Efetuar inventário de veículos a partir da definição da frota do(s) município(s). A definição da frota pode ser realizada a partir dos dados publicados pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), disponíveis no Sítio Web CIDADES.
- Segmentar os veículos pertencentes a pessoas físicas e pessoas jurídicas. O percentual de veículos pertencente a pessoas físicas pode ser obtido com base nos dados da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (Fenabrave). Como recomendação prática pode-se adotar que **74%** da frota de automóveis, motocicletas e motonetas e que **59%** da frota dos demais veículos (caminhões, caminhões trator, caminhonetes, caminhonetes, micro-ônibus, ônibus e utilitários) pertencem a pessoas físicas. Com base na quantidade de veículos pertencentes a pessoas físicas, obtém-se o número de veículos por domicílio a partir da divisão pelo número de domicílios existentes no município, conforme indicado a seguir.

$$V_{ED} = N_{VF} / N_D$$

Eq. 2

Onde:

V_{ED} = Veículos por domicílio (por tipo de veículo);

N_{VF} = Número de veículos pertencentes a pessoas físicas (por tipo de veículo);

N_D = Número de domicílios.

A Tabela 7 apresenta a metodologia de cálculo da quantidade de veículos por tipologia.



| | | |
|------------------|------------------------|---------------------|
| Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 16 de 51 |
| | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Tabela 7 – Inventário de Veículos para Municípios.

| MUNICÍPIO: (n domicílios ^(a)) | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Tipologia | Quantidade de Veículos ^(b) | Percentual Aplicado ^(c) | Quantidade de Veículos - Pessoas Física | Quantidade de Veículos por Domicílio |
| | Col1 | Col2 | Col3 = Col1 * Col2 | Col4 = Col3 / n |
| Automóveis | - | 74% | - | - |
| Caminhões | - | 59% | - | - |
| Caminhões-tractor | - | 59% | - | - |
| Caminhonetes | - | 59% | - | - |
| Caminhonetas | - | 59% | - | - |
| Micro-ônibus | - | 59% | - | - |
| Motocicletas | - | 74% | - | - |
| Motonetas | - | 74% | - | - |
| Ônibus | - | 59% | - | - |
| Utilitários | - | 59% | - | - |
| TOTAL | - | - | - | - |

^(a) Número de domicílios do município.

^(b) Dados obtidos do IBGE Cidades.

^(c) Percentual definido pela Fenabreve.

- Estimar os custos dos veículos do tipo automóvel tendo como base os valores típicos apresentados na Tabela 8. Esses valores são referentes ao mês de julho de 2015 e foram adaptados de Cançado (2009). Salienta-se que esses valores devem ser atualizados utilizando o indexador IPCA acumulado, tendo como data base o período definido entre o mês de julho do ano 2015 até o mês em que estiver sendo realizada a valoração¹.

Tabela 8 – Valor Típico dos Automóveis por Classe Econômica para o Ano de 2015

| CLASSE ECONÔMICA | VALORES DOS AUTOMÓVEIS (R\$) |
|------------------|------------------------------|
| A | 67.359,23 |
| B | 42.782,10 |
| C | 26.843,77 |
| D/E | 12.843,07 |

Nota: Valores atualizados pelo IPCA de julho de 2015.

Fonte: Adaptado de Cançado (2009)

- Calcular o custo médio do veículo tipo automóvel por classe econômica por domicílio pela seguinte equação:

$$V_{AE} = Q_{AD} * V_{MA} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

1

Para correção dos valores pelo IPCA pode-se utilizar a Calculadora do Cidadão produzida pelo Banco Central do Brasil disponibilizada em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>

| | | | | |
|----------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 17 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

V_{AE} = Valor do automóvel por classe econômica por domicílio (R\$);

Q_{AD} = Quantidade de automóveis por domicílio;

V_{MA} = Valor de referência do automóvel por classe econômica (Tabela 8).

- Estimar os custos dos veículos de outras tipologias conforme apresentado na Tabela 9. Salieta-se que esses valores devem ser atualizados utilizando o indexador IPCA acumulado tendo como data base o período definido entre o mês de julho do ano 2015 até o mês em que estiver sendo realizada a valoração.

Tabela 9 – Valor Típico dos Veículos (Outras Tipologias)

| TIPOLOGIA DE VEÍCULOS | VALOR MÉDIO (R\$) |
|-----------------------|-------------------|
| Caminhões | 88.995,00 |
| Caminhões Trator | 193.055,00 |
| Caminhonetes | 58.046,50 |
| Caminhonetas | 54.210,00 |
| Micro-ônibus | 70.725,00 |
| Motocicletas | 5.042,33 |
| Motonetas | 3.929,00 |
| Ônibus | 96.766,00 |
| Utilitários | 30.113,83 |

Fonte: adaptado da Tabela FIPE¹

- Estimar o custo do veículo típico por domicílio por classe econômica pela seguinte fórmula:

$$V_{VT} = V_{AE} + (V_{D1} \times N_{D1} + V_{D2} \times N_{D2} + \dots + V_{Dn} \times N_{Dn}) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

V_{VT} = Valor do veículo típico (por classe econômica por domicílio);

V_{AE} = Valor do veículo automóvel (por classe econômica);

V_{Dn} = Valor dos demais veículos (por tipo de veículo);

N_{Dn} = Número de demais veículos por domicílio (por tipo de veículo).

- Inserir no HEC-FIA a curva de dano apresentada na Tabela 10 obtida com base no trabalho de Cançado (2009).

Tabela 10 – Percentual de Dano ao Veículo por Profundidade de Submersão

| ALTURA DA INUNDAÇÃO (m) | PERCENTUAL DE DANO AO VEÍCULO | ALTURA DA INUNDAÇÃO (m) | PERCENTUAL DE DANO AO VEÍCULO |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 0,1 | 0% | 0,9 | 48% |
| 0,2 | 0% | 1,0 | 100% |

1

Para maiores detalhes sobre a definição destes valores recomenda-se a consulta ao Apêndice B do relatório RD-655-RL-41645 elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria. Sistema de Gestão de Riscos Geotécnicos - Relatório Técnico – Estudo de Valoração de Consequências de Ruptura Hipotética de Barragens e Diques - Consequências Econômicas - Barragem 5.

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 18 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

| | | | |
|-----|-----|-----|------|
| | | | |
| 0,3 | 0% | 1,2 | 100% |
| 0,4 | 2% | 1,5 | 100% |
| 0,6 | 3% | 1,8 | 100% |
| 0,7 | 34% | 2,1 | 100% |
| 0,8 | 39% | - | - |

Nota: A profundidade de submersão deverá ser considerada para velocidades inferiores a 2 m/s. Para velocidades superiores a 2 m/s consideram-se danos totais aos veículos.

Fonte: Adaptado de Cançado (2009)

6.1.3 CÁLCULOS DOS DANOS À INFRAESTRUTURA PÚBLICA BÁSICA

O cálculo dos danos à infraestrutura pública será dado pelo percentual de 10% do valor dos danos diretos externos (edificações, conteúdo e veículos), conforme estudos do Banco Mundial e de Milograna (2009).

$$I_{IPB} = 0,1 * D_{ECV} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

I_{IPB} = Impacto à infraestrutura pública básica (R\$);

D_{ECV} = Somatório dos danos referentes a edificações, conteúdos e veículos (R\$).

6.1.4 CÁLCULOS DOS DANOS ÀS PONTES

O custo de reconstrução das pontes será dado pelo produto do valor de referência para execução das pontes (R\$ 4.500,00) pela área das mesmas (DNIT, 2014), conforme indicado a seguir:

$$C_P = C_R * (C_1 * L_1 + C_2 * L_2 + \dots + C_N * L_N) \quad \text{Eq. 6}$$

$$C_P = \text{R\$ } 4.500,00 * (C_1 * L_1 + C_2 * L_2 + \dots + C_N * L_N)$$

Onde:

C_P = Custo de reconstrução das pontes (R\$);

C_R = Custo de referência do m² (R\$);

C_N = Comprimento da ponte (m);

L_N = Largura da ponte (m).

Cabe mencionar que o valor de R\$ 4.500,00 é apenas um custo de referência. Esse valor deve ser alterado em situações em que se julgue necessário e caso existam valores mais representativos para a realidade analisada.

6.2 DANOS DIRETOS INTERNOS

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 19 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Os danos diretos internos referem-se aos danos às edificações, infraestrutura interna, equipamentos, veículos, etc. de propriedade da VALE potencialmente afetados pela ruptura. O cálculo dos danos diretos internos é realizado a partir da seguinte formulação:

$$D_{DI} = C_{RB} + C_{II} + C_E \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

D_{DI} = Danos diretos internos (R\$);

C_{RB} = Custos de reconstrução e/ou adequação da barragem (R\$);

C_{II} = Custos de reconstrução e/ou adequação da infraestrutura interna (R\$) – caso tenham sido afetados.

C_E = Custos associados a máquinas, equipamentos e veículos, de propriedade da VALE (R\$) – caso tenham sido afetados.

6.2.1 CÁLCULOS DOS DANOS À BARRAGEM

No caso da ruptura da barragem deverão ser implantadas obras reconstrução / adequação da mesma. O volume de maciço a ser reconstruído está relacionado com o volume da brecha, sendo o mesmo estimado a partir das modelagens do estudo de ruptura hipotética (*Dam Break*). Destaca-se que, de modo a simplificar a estimativa de custo de reconstrução da barragem, não deverá ser realizado o levantamento dos quantitativos específicos dos serviços associados à reconstrução, tais como: mobilização / desmobilização, limpeza de fundação, implantação de drenagem interna, implantação de drenagem superficial, implantação de sistema extravasor, etc. Desta forma, sugere-se a utilização de um valor para o custo unitário de implantação do maciço equivalente a R\$ 70,00/m³ e que deverá englobar os diversos serviços associados à construção de barragens.

A estimativa de custos da reconstrução da barragem pode ser realizada a partir da seguinte formulação:

$$C_{RB} = C_R * V_{BR} = 70,00^1 * V_{BR} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

C_{RB} = Custo de reconstrução da barragem (R\$);

C_R = Custo de referência do m³ de execução da barragem (R\$);

V_{BR} = Volume da brecha de ruptura (m³).

É importante mencionar que o custo unitário de execução do aterro deve ser ajustado para cada caso de acordo com a localização da obra, características da barragem e complexidade de execução.

6.2.2 CÁLCULOS DOS DANOS À INFRAESTRUTURA INTERNA

Os danos à infraestrutura interna são específicos para cada barragem em função das benfeitorias existentes nas áreas potencialmente atingidas. Desta forma, para a valoração dos danos sugere-se avaliar os seguintes aspectos:

- Danos as instalações de tratamento de minério. Este dano pode ser calculado em função da área afetada das instalações (m²) e pelo custo de reconstrução das instalações (R\$ / m²);

1

Valor estimado com base na experiência da Pimenta de Ávila Consultoria.

| | | | | |
|----------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 20 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Danos a escritórios. Este dano pode ser calculado em função da área afetada (m²) e pelo custo unitário básico de edificações (R\$ / m²);
- Danos a correias transportadoras. Este dano pode ser estimado a partir da extensão afetada (m) da correia transportadora pelo custo de reconstrução da correia (R\$ / m);
- Danos a acessos. Este dano pode ser estimado a partir da extensão afetada (m) dos acessos pelo custo de reconstrução do acesso (R\$ / m);
- Danos a ferrovias. Este dano pode ser estimado a partir da extensão afetada (m) da ferrovia pelo custo de reconstrução da ferrovia (R\$ / m);
- Danos a outras estruturas geotécnicas, por exemplo: diques, barragens, pilhas de estéril, taludes, etc.

6.2.3 CÁLCULOS DOS DANOS À VEÍCULOS / MÁQUINAS

O cálculo dos danos aos veículos (automóveis, caminhonetes, caminhões, etc.) e máquinas (retroescavadeiras, caminhões fora de estrada, tratores, etc.) deve ser realizado com base no número de veículos / máquinas potencialmente atingidas pelo valor do custo unitário de cada tipo de veículo / máquina afetada.

6.3 DANOS INDIRETOS EXTERNOS

Os danos indiretos externos devem considerar as perdas do setor industrial e do setor de serviços ocasionados pela ruptura da barragem, ou seja, o lucro cessante das empresas afetadas. O cálculo dos danos indiretos externos é dado pela seguinte formulação:

$$D_{IE} = C_{PI} + C_{PS} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

D_{IE} = Danos diretos internos (R\$);

C_{PI} = Custo da perda industrial (R\$);

C_{PS} = Custo das perdas referente ao setor de serviços (R\$);

6.3.1 CÁLCULOS DOS DANOS ÀS INDÚSTRIAS

O cálculo do lucro cessante das indústrias pode ser realizado com base na proporção entre domicílios atingidos por domicílios totais para cada município, no PIB industrial e no período de tempo em que a ruptura da barragem irá afetar as atividades industriais. O custo da perda de produção industrial é dado pela equação:

$$C_{PI} = (D_{A1} / D_{T1}) * PIB_{I1} * N_1 + (D_{A2} / D_{T2}) * PIB_{I2} * N_2 + \dots + (D_{An} / D_{Tn}) * PIB_{In} * N_n \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

C_{PI} = Custo da perda de produção industrial (R\$);

D_A = Domicílios atingidos pela onda de inundação no Município;

D_T = Total de Domicílios para cada Município;

PIB_{IND} = Produto interno bruto do setor industrial (R\$) – obtido do último Censo do IBGE;

N_n = Período de tempo em que a produção industrial é afetada (anos) – utilização de um período de um ano.

Na prática, observa-se que após um acidente geotécnico, a produção industrial deverá ser retomada gradativamente até atingir novamente o patamar anteriormente existente. Dentro deste contexto, aparentemente,

| | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 21 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

a premissa de paralisação total durante o período de um ano pode ser muito conservadora. Entretanto, nos danos diretos externos não foram computados os custos associados aos impactos às instalações das indústrias, máquinas, equipamentos, produtos em estoque, etc. Destaca-se que a estimativa destes danos é de difícil quantificação em virtude da inexistência de informações e/ou base de dados confiável que permita a valoração dos mesmos. Sendo assim, sugere-se a utilização do tempo de paralisação de um ano, de modo a tentar englobar também os danos diretos às indústrias.

Cabe avaliar, em casos específicos, se a área inundada contempla alguma indústria de grande porte que seja responsável por uma grande porcentagem do PIB industrial do município atingido. Em caso positivo, pode-se avaliar o valor repassado para o município como impostos e tributos declarados no balanço contábil da empresa.

6.3.2 CÁLCULOS DOS DANOS AOS SERVIÇOS

O cálculo do lucro cessante do setor de serviços é realizado de maneira similar às indústrias e é baseado na proporção entre domicílios atingidos e domicílios totais para cada município, no PIB do setor de serviços e no período de tempo em que a ruptura da barragem irá afetar as atividades do setor. O custo das referidas perdas é dado pela equação:

$$C_{PS} = (D_{A1} / D_{T1}) * PIB_{S1} * N_1 + (D_{A2} / D_{T2}) * PIB_{S2} * N_2 + \dots + (D_{An} / D_{Tn}) * PIB_{Sn} * N_n \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

C_{PS} = Custo das perdas referentes ao setor de serviços (R\$);

D_A = Domicílios atingidos pela onda de inundação no Município;

D_T = Total de Domicílios para cada Município;

PIB_{SERV} = Produto interno bruto do setor de serviços (R\$);

N_n = Período de tempo em que a prestação de serviços fica interrompida (anos).

6.4 DANOS INDIRETOS INTERNOS

A estimativa dos danos econômicos indiretos internos causados pela ruptura de uma barragem está vinculada aos impactos relativos ao lucro cessante da VALE.

Para computar os danos indiretos internos deve-se identificar em quais aspectos a VALE deixaria de lucrar no caso da ruptura de uma de suas estruturas. Como exemplo, pode-se considerar:

- Parada e/ou perda de produção em virtude da ausência de local para disposição dos rejeitos;
- Perda de parcela do rejeito depositado na barragem com potencial de ser reaproveitado/lavrado.

O cálculo dos danos indiretos internos associados à paralisação das atividades na unidade deve prever:

- Estimativa de perda na produção de minério no sistema definida através da produção anual média da mina;
- Preço de mercado do minério: esse valor se mostra desafiador por se tratar de um mercado internacional sujeito a oscilações e, de certa forma, imprevisibilidades;
- Custo Operacional para retirada do minério: esse valor diz respeito ao custo necessário para a retirada, processamento e transporte do minério para sua posterior comercialização;
- Cotação do dólar comercial: como o minério é comercializado em dólares, é importante inserir o valor da cotação para a transformação dos custos para real;

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 22 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Período de tempo em que a unidade será afetada em virtude da ruptura da barragem. Destaca-se que este parâmetro pode apresentar grande variabilidade e será função do porte do sistema e da sua complexidade operacional.

A produção de minério do sistema deve ser obtida com base em dados recentes de produção e o preço do minério no mercado internacional e a cotação do dólar comercial devem ser definidos com base em valores recentes. Os custos operacionais da produção e transporte do minério são informações disponíveis na própria VALE.

O cálculo do custo associado à paralisação das atividades é dado pela seguinte formulação:

$$C_{PP} = (C_{MM} - C_{PM}) * C_{DC} * P_M * N \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

C_{PP} = Custo das perdas referente à paralisação da produção (U\$);

C_{MM} = Preço do minério no mercado internacional (U\$);

C_{PM} = Custo operacional para retirada do minério (U\$);

C_{DC} = Cotação do dólar comercial;

P_M = Produção de minério do sistema (toneladas/ano);

N = Período de tempo em que a produção é paralisada (anos).

Caso a ruptura da barragem ocorra em uma estrutura utilizada para disposição dos rejeitos, e os mesmos apresentem potencial de serem lavrados / reaproveitados, o cálculo da perda do rejeito pode ser realizada de maneira similar ao que foi apresentado na equação 12.

7 VALORAÇÃO – ESFERA SAÚDE E SEGURANÇA

Os impactos à saúde e segurança decorrentes de uma ruptura de barragem correspondem àqueles relacionados às perdas de vidas humanas, ao tratamento de enfermos, à utilização dos serviços de emergência, às perdas de horas de trabalhos para tratamento e convalescença, além de danos relativos à insegurança e ansiedade dos enfermos e de suas famílias.

A estimativa das consequências no âmbito da saúde e segurança causadas na área de influência da mancha de inundação é sintetizada na **valoração de indenizações decorrente da perda de vidas humanas, nos custos com serviços de emergência e com serviços de saúde.**

O custo das consequências associadas à esfera Saúde e Segurança é dado pela seguinte equação:

$$C_{SS} = C_{VH} + C_{SE} + C_S \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

C_{SS} = Custo das consequências à Saúde e Segurança;

C_{VH} = Custo associado a indenizações por vidas humanas;

C_{SE} = Custo associado aos serviços de emergência;

C_S = Custo associado aos serviços de saúde.

7.1 INDENIZAÇÃO POR PERDA DE VIDAS HUMANAS

Dentre os três impactos considerados, a indenização por perda de vidas humanas é o tema com a maior divergência de opiniões, elevado grau de incerteza e questões éticas associadas. Com relação ao tema, são apresentadas três abordagens distintas:

| | | | | |
|-------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 23 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

• **Valor de uma Vida Estatística (VSL)**

Tenta estabelecer uma aproximação do custo econômico que a sociedade como um todo pode incorrer devido a alteração marginal na expectativa de vida de um indivíduo estatístico ou representativo de determinado grupo exposto ao risco de morte. A valoração é feita sobre a quantia gasta para reduzir o risco ou quantia compensatória para se aceitar o risco. Existem diversas técnicas de valoração de VSL, entre elas pode-se citar Método de Valoração Contingente, produção econômica potencial de cada indivíduo, etc. É importante citar que, ainda que a técnica de valoração escolhida esteja adequada para definir um “valor” da vida humana, o grau de incerteza em relação aos resultados é grande. Os valores podem variar dependendo do país de realização da pesquisa, aspectos culturais, classe social e até mesmo religião. Na Figura 8 é apresentada uma compilação de diversos valores encontrados.

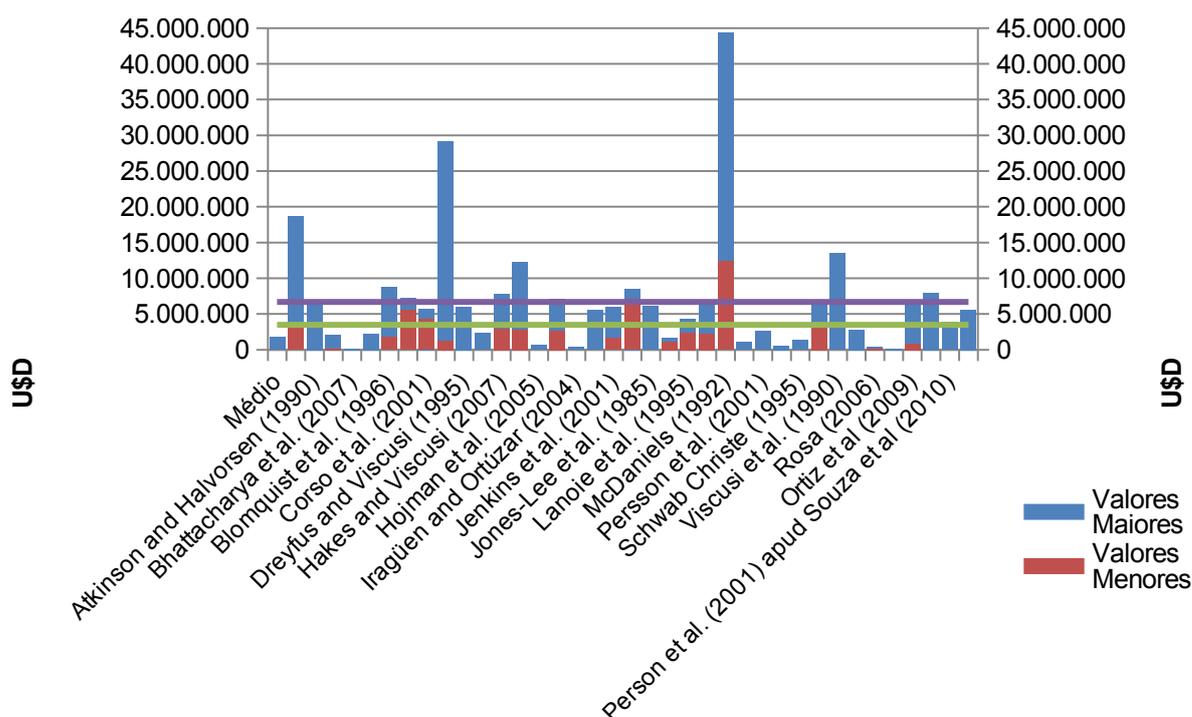


Figura 8: Valores de uma Vida Estatística por Estudo Identificado e Valores Médios

É possível notar uma grande variabilidade dos valores dos VSLs (valor mínimo em torno de US\$ 140.000,00 e valor máximo da ordem de US\$ 44.000.000,00), o que dificulta a utilização/escolha de um valor de referência para VSL.

• **Valor de Indenização Determinado pela Justiça**

Os valores de indenização determinados pela justiça podem ser uma alternativa para determinação do “valor” da vida. A Tabela 11 apresenta a compilação dos resultados de indenizações arbitradas pela justiça no caso de mortes em consequência de rompimento de barragens.

O Superior Tribunal de Justiça (STF) recomenda que indenizações em caso de morte sejam em torno de 300 a 500 salários mínimos.

Tabela 11: Valores de Indenização por Vítima ou Família com Vítima Fatal

| Barragem | Ano do Acidente | Valor da indenização (USD) ¹ |
|----------------------|-----------------|---|
| Mineradora Rio Verde | 2001 | 4.070,79 |

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 24 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

| | | |
|--|------|-----------|
| Local: São Sebastião das Águas Claras – MG | | |
| Algodões I Local: Cocal - PI | 2009 | 40.505,64 |
| Camará Local: Alagoa Nova - PB | 2004 | 4.611,32 |

Observa-se que, considerando a política e valores da VALE, nas quais a vida humana está em primeiro lugar, cabe destacar que os valores que vem sendo arbitrados são bastante reduzidos.

• **Curva de Tolerabilidade de Riscos**

A curva de tolerabilidade de Whitman (1981) apresenta as consequências tanto em termos financeiros (econômicos) quanto em termos de potencial de perda de vidas humanas. A partir do gráfico é possível determinar o “valor” de uma vida igual a U\$ 1.000.000,00. Esse valor atualizado para Agosto de 2015 é igual a U\$ 2.562.783,28.

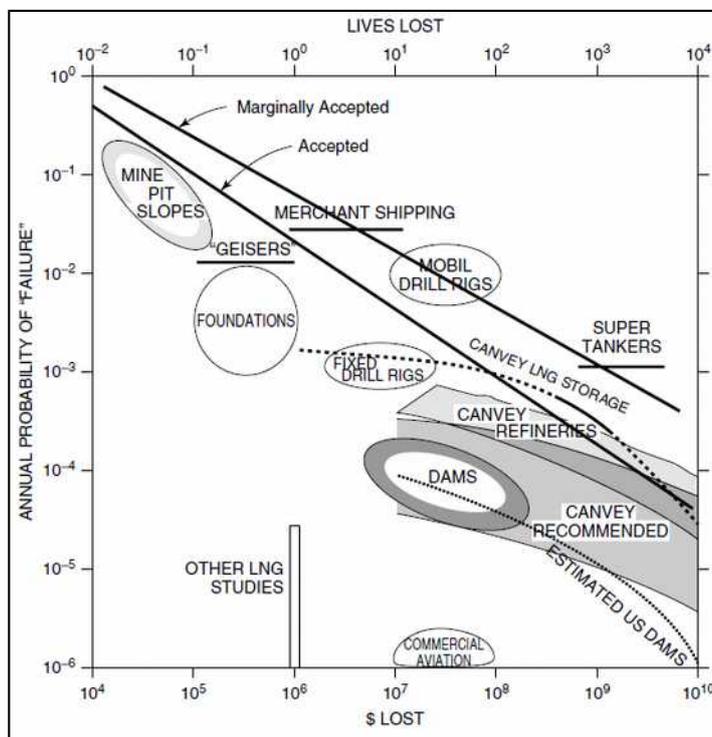


Figura 9: Curvas de Tolerância ao Risco. Fonte: Whitman (1981)

Com base no que foi exposto, deverá ser considerado o valor de indenização por perdas de vida igual a U\$ 2.600.000,00.

A ferramenta *LIFESIM* é utilizada para determinação do potencial de perda de vidas. Os parâmetros para a estimativa do potencial de perdas de vida humana incluem existência e tipologia dos sistemas de alerta, tempo de alerta da enchente, tempo de chegada da onda de ruptura, horário de ocorrência do evento, idade da população e dados estatísticos de evacuações bem sucedidas. Essa modelagem pode ser executada com base em um modelo simplificado, utilizando valores pré-definidos pelo HEC-FIA e dados do censo do IBGE. A Figura 10 apresenta esquematicamente o processo de estimativa do potencial de perdas de vidas.

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 25 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

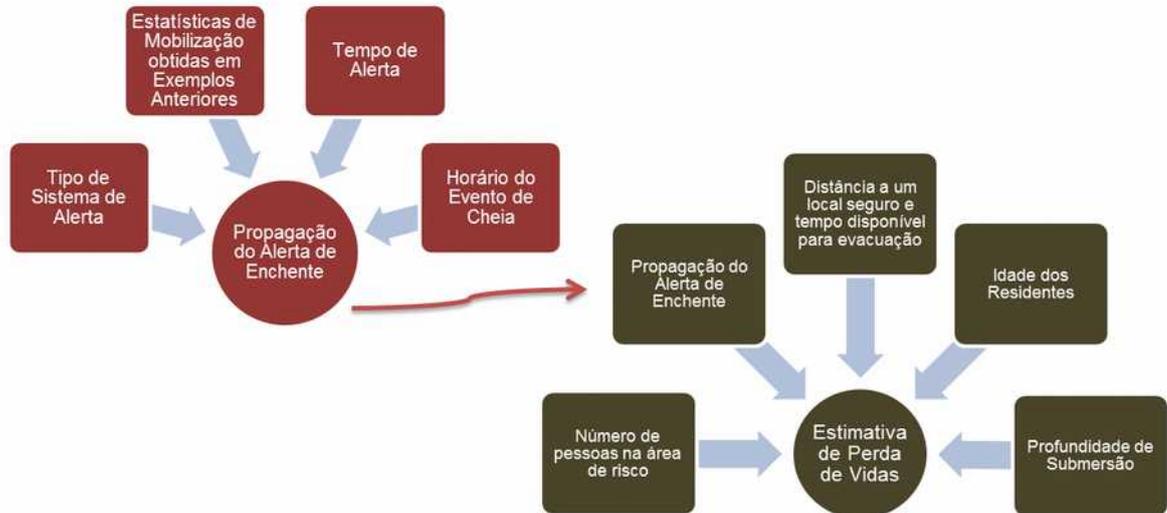


Figura 10: Considerações envolvidas na propagação do alerta de enchente Previsto no LIFESim e para estimativa de perdas de vida

O custo associado à indenização por perdas de vidas humanas será dado pelo produto do número estimado de vidas humanas perdidas pelo valor de indenização a ser pago. O valor de indenização pela perda de uma vida foi fixado em **US\$ 2.600.000,00** sendo baseado na correção monetária do valor apresentado (US\$ 1.000.000,00) em 1981 na Curva de Tolerância ao Risco proposta por Whitman (1981). Esse valor deve ser convertido de dólar americano para reais conforme a cotação da moeda norte-americana na data de realização do cálculo do custo da indenização. A estimativa dos custos associados à perda de vidas humanas é sintetizada na seguinte equação:

$$C_{VH} = V_{IF} \times N_{VHP} \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

C_{VH} = Custo associado à perda de vidas humanas (R\$);

V_{IF} = Valor de indenização por fatalidade ocorrida (R\$);

N_{VHP} = Número Potencial de Vidas Humanas Perdidas.

7.2 SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA

Os custos associados aos serviços de emergência (polícia, defesa civil, corpo de bombeiros, setores da administração pública ligada à assistência social e educação, serviços de ambulância e voluntários) são considerados como sendo iguais a 5% dos custos diretos externos, conforme formulação apresentada a seguir:

$$C_{SE} = 0,05 \times C_{DDE} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

C_{SE} = Custo associado aos serviços de emergência;

C_{DDE} = Custo associado aos danos diretos externos, excluindo a parcela relativa às pontes.

7.3 SERVIÇOS DE SAÚDE

Os custos associados aos serviços de saúde (tratamento de enfermos, as perdas de horas de trabalhos para tratamento e convalescença, os medicamentos, além de prejuízos relativos à insegurança e ansiedade dos

| | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 26 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

enfermos e de sua família) são considerados como sendo iguais a 6% dos custos diretos externos, conforme formulação apresentada a seguir:

$$C_{IS} = 0,06 \times C_{DDE} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

C_{IS} = Custo associado aos serviços de saúde.

C_{DDE} = Custo associado aos danos diretos externos, excluindo a parcela relativa às pontes.

8 VALORAÇÃO – ESFERA MEIO AMBIENTE

Em situações específicas onde se comprova a ocorrência de danos ambientais, torna-se necessária a valoração econômica do bem ou serviço ambiental afetado tendo-se em vista a reparação integral dos mesmos. A valoração neste sentido trata de atribuir a tal bem ou serviço uma expressão econômica, que incidirá, no campo jurídico, numa prestação pecuniária a ser imposta ao agente degradador, e cujo valor deverá ser revertido em ações de recuperação e melhoria da qualidade ambiental, podendo ainda ser destinado a fundos, entidades ou organizações que tenham compromisso formal com o retorno de recursos ao local do dano constatado.

Uma diretriz já consolidada pela bibliografia referente à valoração ambiental consiste na desagregação do valor do recurso ambiental em parcelas de valor de uso direto e de uso indireto, valor de opção e valor de existência. Assim, o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) pode ser decomposto da forma apresentada na sequência.

$$VERA = (VUD + VUI + VO) + VE \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

VUD = valor de uso direto: valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona através do uso direto.

VUI = valor de uso indireto: valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício do seu uso deriva de funções ecossistêmicas.

VO = valor de opção: valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de um dia fazer uso, de forma direta ou indireta, do recurso ambiental.

VE = valor de não-uso ou de existência: valor que deriva de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação ao recurso ambiental.

Existem diversos métodos de valoração que objetivam captar estas distintas parcelas do valor econômico do recurso ambiental. Cada método apresenta limitações em suas estimativas, as quais estarão quase sempre associadas ao grau de sofisticação metodológica, à necessidade de dados e informações, às hipóteses sobre comportamento dos indivíduos e da sociedade e ao uso que será dado aos resultados obtidos.

Salienta-se que o procedimento de valoração ainda possui algumas limitações metodológicas e aspectos jurídicos definidos pela legislação vigente que devem ser observados.

No âmbito da valoração ambiental, será apresentado o procedimento e a metodologia desenvolvidos pela Pimenta de Ávila para valoração de danos ambientais associados à ruptura de barragens de rejeito e diques de contenção de sedimentos, que se encontram detalhados na nota técnica PA-132-NT-37770.

8.1 METODOLOGIA

Após o levantamento das características gerais da barragem e da simulação de rompimento por meio do estudo de ruptura hipotética (*Dam Break*), os seguintes passos devem ser realizados:

1. Sobrepor a mancha de inundação gerada com informações ambientais relevantes georreferenciadas;

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 27 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Realizar a caracterização ambiental da área potencialmente afetada, identificando as questões ambientais relevantes (ex: fisionomias vegetais, cursos d'água, área protegidas, cavidades naturais, etc).
- Listar os possíveis danos ambientais decorrentes da ruptura avaliando – sua abrangência e reversibilidade –, podendo citar como exemplo: alteração da qualidade da água, supressão vegetal, instabilização de encostas, etc.
- Selecionar dentre os danos ambientais identificados os passíveis de valoração. Os critérios de seleção são variáveis e dependem de cada contexto, podendo contemplar: existência de metodologia aplicável, disponibilidade de informações e abrangência por determinado dispositivo legal.
- Quantificar as áreas correspondentes aos danos que serão avaliados. A delimitação da área associada a cada dano pode ser realizada via fotointerpretação sobre imagens de satélites
- Avaliar os métodos de valoração aplicáveis aos danos selecionados buscando contemplar todas as parcelas de valor do recurso natural degradado. A valoração somente de determinados danos ocorre em função da disponibilidade de dados, da limitação dos métodos e também da elevada importância de certas áreas em termos legais e ambientais;
- Obter os valores pecuniários de referência para o recurso e região afetada. Os valores de referência podem ser obtidos a partir de pesquisa na literatura disponível, publicações e consultas aos valores praticados no mercado.
- Aplicar a metodologia de valoração utilizando os valores de referência identificados para cada tipologia de dano.
- A partir das estimativas encontradas, buscar a melhor composição de custos que refletirá o valor do dano total considerando ainda o período em que houve prejuízo para a qualidade ambiental. Como premissa para composição dos custos e seleção do método de valoração, e em conformidade com a boa prática e os instrumentos legais vigentes, adota-se que, especificamente para a questão ambiental, a reparação do dano é sempre preferencial à compensação e/ou indenização.
- Considerando o valor encontrado referente ao custo do dano ambiental total valorado avaliar a aplicabilidade de fatores minimizadores do dano e do risco, como responsabilidade socioambiental do empreendedor, adoção de uma gestão de riscos efetiva; e de fatores multiplicadores, normalmente associados à relevância dos recursos naturais e culturais atingidos.
- Para cada cenário de inundação podem ser avaliadas mais de uma alternativa de valoração. Para inserção dos custos associados aos danos ambientais no sistema computacional do GRG é importante avaliar qual alternativa melhor representa o contexto da situação analisada.

É importante ressaltar que em uma situação de ruptura os danos listados e monetizados estão sujeitos à alteração de aspectos como manifestação, abrangência e reversibilidade. Observa-se também que a valoração de danos está diretamente relacionada à causa do sinistro, às condições hidrológicas antecedentes ao evento, às alterações do uso e ocupação do solo no vale a jusante da barragem e às especificidades das áreas afetadas.

9 VALORAÇÃO – ESFERA ÓRGÃOS REGULADORES

Em situações específicas onde se comprova a ocorrência de danos ambientais a responsabilidade civil se destaca como o instituto jurídico mais importante na defesa e na reparação do meio ambiente, já que obriga aquele que alterou as propriedades do meio ambiente, de modo a prejudicar a saúde ou as condições de vida da população, a restaurar o que foi degradado ou também a indenizar com uma quantia compensatória os que foram prejudicados pela degradação.

Ao contrário da regra geral, em que a responsabilidade civil decorre da culpa, quando há que se provar que houve uma conduta ilícita que deu origem ao prejuízo, em matéria ambiental é necessário apenas o nexo de causalidade entre o ato e o dano para que haja a responsabilidade civil do agente causador do dano, independente de decorrer ele de ato lícito ou de risco. Assim, basta o nexo causal entre a atividade do agente e o dano dela decorrido para que haja a obrigação de repará-lo. Esta é a teoria da responsabilidade objetiva, doutrina que encontra acolhida no Direito Ambiental Internacional e na legislação de diversos países.

A adoção da teoria da responsabilidade objetiva significa que mesmo se uma pessoa jurídica se encontrar em total adequação às normas ambientais, ainda assim ela tem de reparar os danos causados ao meio ambiente de uma forma geral e a terceiros de uma maneira específica, de acordo com a redação da lei. Além do mais, terá o

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 28 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

poluidor de arcar com todos os custos e despesas processuais. Em síntese o que é levado em consideração não é a conduta do poluidor, mas o resultado prejudicial que ela traga ao homem e ao meio ambiente.

Em se tratando dos danos materiais causados ao meio ambiente, a única providência indispensável é a tentativa de reparação ou compensação dos prejuízos por parte de quem os ocasionou. Enquanto as sanções penais e administrativas têm um caráter de penalização, a reparação do dano busca a recomposição quando possível do que foi danificado. Para tais casos a indenização em dinheiro serve como uma forma de compensação ou de reparação indireta para os atingidos pelo dano.

A Constituição Federal dispõe que os prejuízos não traduzíveis em pecúnia, a exemplo dos sofrimentos de ordem moral, psicológica ou emocional, também devem ser indenizados. De fato, são valores subjetivos como a vergonha, inquietude e medo que se pretende indenizar, fazendo com que a integridade física, intelectual e moral dos indivíduos sejam respeitadas. De um modo geral, acidentes com barragens promovem desequilíbrios no ecossistema que se refletem diretamente sobre as condições de vida da sociedade.

A Lei nº 9.605 de 1998, conhecida como Lei dos Crimes Ambientais, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente. Em casos de ruptura ou acidentes com barragens de rejeitos há grande possibilidade de ocorrência de crimes contra a fauna, flora e poluição ambiental, além da infração administrativa, todos regulamentados pela referida legislação.

Conforme Artigo 2º da Lei 9.605/1988 “**quem, de qualquer forma, concorre para a prática dos crimes previstos nesta Lei, incide nas penas a estes cominadas, na medida da sua culpabilidade...**”.

Para imposição e gradação da penalidade, a autoridade competente observará:

- I - a gravidade do fato, tendo em vista os motivos da infração e suas consequências para a saúde pública e para o meio ambiente;
- II - os antecedentes do infrator quanto ao cumprimento da legislação de interesse ambiental;
- III - a situação econômica do infrator, no caso de multa.

Segundo disposição na Lei 9.605/1998, as penas podem constituir em restritivas de direitos ou privativa de liberdade. As penas restritivas de direitos são autônomas e substituem as privativas de liberdade quando (i) tratar-se de crime culposo ou for aplicada a pena privativa de liberdade inferior a quatro anos; ou (ii) quando a culpabilidade, os antecedentes, a conduta social e a personalidade do condenado, bem como os motivos e as circunstâncias do crime indicarem que a substituição seja suficiente para efeitos de reprovação e prevenção do crime. Qualquer outra situação que não se enquadre nessas duas ressalvas legais, poderá incidir a pena privativa de liberdade.

As penas restritivas de direito constituem em:

- I - prestação de serviços à comunidade;
- II - interdição temporária de direitos;
- III - suspensão parcial ou total de atividades;
- IV - prestação pecuniária;

V - recolhimento domiciliar.

Nota: Não há impedimento legal para a incidência cumulativa de restrição de direitos concernentes a uma mesma pena por prática de crime ambiental.

Considerando os objetivos deste procedimento, cabe ressaltar que a prestação pecuniária consiste no pagamento em dinheiro à vítima ou à entidade pública ou privada com fim social, de importância, fixada pelo juiz, **não inferior a um salário mínimo nem superior a trezentos e sessenta salários mínimos**. O valor pago será deduzido do montante de eventual reparação civil a que for condenado o infrator.

Considerando os danos decorrentes da ruptura de barragens e os atenuantes e agravantes da pena estabelecidos pela legislação, encontram-se relacionados abaixo aqueles pertinentes a este tipo de sinistro:

São circunstâncias que atenuam a pena:

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 29 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Baixo grau de instrução ou escolaridade do agente;
- Arrependimento do infrator, manifestado pela espontânea reparação do dano, ou limitação significativa da degradação ambiental causada;
- Comunicação prévia pelo agente do perigo iminente de degradação ambiental;
- Colaboração com os agentes encarregados da vigilância e do controle ambiental.

São circunstâncias que agravam a pena, quando não constituem ou qualificam o crime:

- Reincidência nos crimes de natureza ambiental;
- Ter o agente cometido a infração:
 - para obter vantagem pecuniária;
 - afetando ou expondo a perigo, de maneira grave, a saúde pública ou o meio ambiente;
 - concorrendo para danos à propriedade alheia;
 - atingindo áreas de unidades de conservação ou áreas sujeitas a regime especial de uso;
 - atingindo áreas urbanas ou quaisquer assentamentos humanos;
 - em período de defeso à fauna;
 - em domingos ou feriados;
 - à noite;
 - em épocas de seca ou inundações;
 - no interior do espaço territorial especialmente protegido;
 - mediante fraude ou abuso de confiança;
 - mediante abuso do direito de licença, permissão ou autorização ambiental;
 - no interesse de pessoa jurídica mantida, total ou parcialmente, por verbas públicas ou beneficiada por incentivos fiscais;
 - atingindo espécies ameaçadas, listadas em relatórios oficiais das autoridades competentes;
 - facilitada por funcionário público no exercício de suas funções.

A perícia de constatação do dano ambiental, sempre que possível, fixará o montante do prejuízo causado para efeitos de prestação de fiança e cálculo de multa. A multa terá por base a unidade, hectare, metro cúbico, quilograma ou outra medida pertinente, de acordo com o objeto jurídico lesado. A sentença penal condenatória, sempre que possível, fixará o valor mínimo para reparação dos danos causados pela infração, considerando os prejuízos sofridos pelo ofendido ou pelo meio ambiente.

A verificação da reparação será feita mediante laudo de reparação do dano ambiental. A multa será calculada segundo os critérios do Código Penal; se revelar-se ineficaz, ainda que aplicada no valor máximo, poderá ser **umentada até três vezes**, tendo em vista o valor da vantagem econômica auferida.

Em relação especificamente ao crime de matar espécies silvestres, a pena é **umentada de metade** se o crime é praticado: contra espécie rara ou considerada ameaçada de extinção; durante a noite; em unidade de conservação.

Em relação aos crimes contra a flora, a pena será **reduzida à metade** se o crime for culposo. A pena é **umentada de um sexto a um terço** se: do fato resulta a diminuição de águas naturais, a erosão do solo ou a modificação do regime climático; se o crime é cometido no período de queda das sementes, no período de formação de vegetações; contra espécies raras ou ameaçadas de extinção; em época de seca ou inundação; durante a noite, em domingo ou feriado.

Em relação aos crimes de poluição ambiental, se estes foram considerados dolosos, as penas serão **umentadas de um sexto a um terço** se: resulta dano irreversível à flora ou ao meio ambiente em geral; de um terço **até a metade**, se resulta lesão corporal de natureza grave em outrem; **até o dobro**, se resultar a morte de outrem.

Quanto à infração administrativa ambiental, esta é considerada como toda ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente. As infrações administrativas são punidas com as seguintes sanções: advertência; multa simples; multa diária; apreensão de instrumentos, equipamentos ou veículos de qualquer natureza utilizados na infração; suspensão de venda e fabricação do produto; embargo de obra ou atividade; demolição de obra; suspensão parcial ou total de atividades; restritiva de direitos.

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 30 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Os valores arrecadados em pagamento de multas por infração ambiental serão revertidos ao Fundo Nacional do Meio Ambiente, fundos estaduais ou municipais de meio ambiente, ou correlatos, conforme dispuser o órgão arrecadador. O valor da multa em relação à infração administrativa é fixado no regulamento desta Lei, sendo o **mínimo de R\$ 50,00 (cinquenta reais) e o máximo de R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais).**

A partir dos valores mínimos e máximos estabelecidos na legislação vigente, busca-se estimar uma ordem de grandeza e uma faixa de valores associados às penas pelos crimes ambientais quando houver prestação pecuniária e pela multa por infração administrativa. Além destes valores, há ainda os valores das multas por infração ambiental, os custos de reparação e os gastos com o processo.

Vale salientar que esta estimativa visa somente fornecer uma ideia de valores possíveis, uma vez que no caso de acidente real cabe somente às autoridades e aos órgãos competentes o julgamento dos fatos e a determinação de sanções, penas, multas e afins.

10 VALORAÇÃO – ESFERA SOCIAL

Os Custos Sociais compreendem todos os impactos de um empreendimento para o ser humano, para o seu bem estar, para o ambiente e para a sociedade. Estes danos num possível sinistro de barragem representam uma parcela de difícil quantificação no contexto da valoração de consequências.

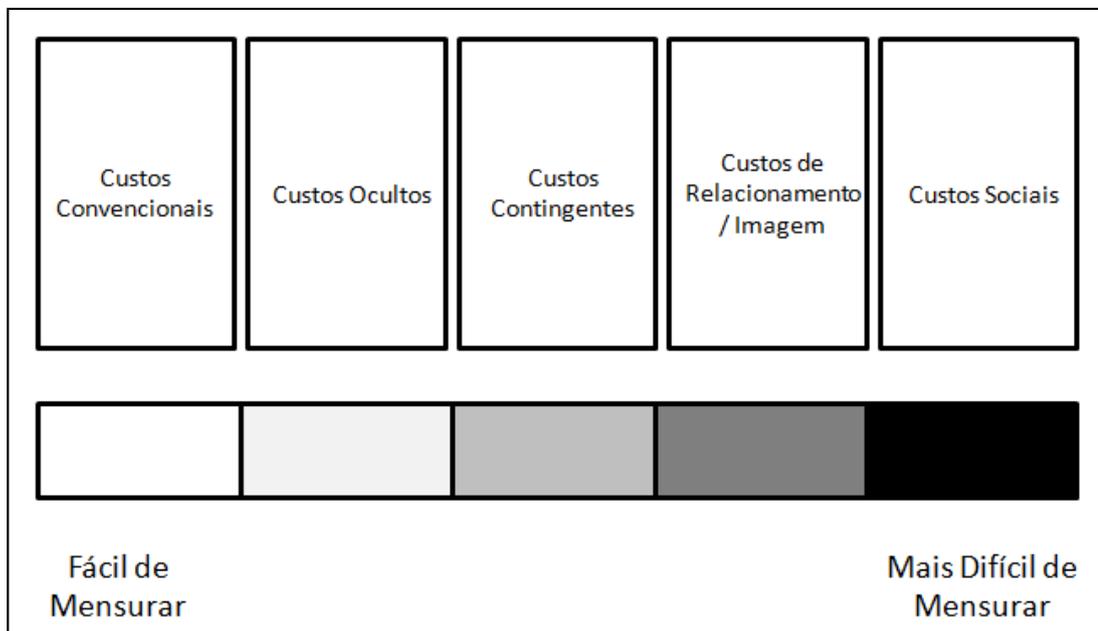


Figura 11: Espectro da Dificuldade da Mensuração dos Custos Relativos aos Impactos Ocasionalizados por um Negócio. Fonte: Traduzido de “An Introduction to Environmental Accounting”. United States Environmental Protection Agency, June, 1995.

Os impactos sociais estão associados basicamente ao comprometimento do bem estar do ser humano. O desconforto, a angústia e a tristeza são exemplos de danos sociais que podem ser mensurados através de indenizações por danos morais. Os danos morais são uma representação subjetiva dos danos sofridos diretamente pelos indivíduos sendo de interpretação controversa, de acordo com impressões pessoais de quem julga e de quem sofre.

Outros danos sociais decorrentes de um acidente como a ruptura de uma barragem são: a interrupção de um serviço público, social e/ou cultural de uma região. O patrimônio histórico cultural e turístico de uma região está inteiramente ligado ao estilo de vida da sociedade local. O impacto decorrente de um acidente geotécnico compromete não somente a história e cultura local, mas muitas vezes também a renda advinda da economia daquele bem público.

No âmbito do GRG, para a identificação das consequências sociais decorrentes da ruptura hipotética de uma barragem, são considerados os seguintes danos:

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 31 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Isolamento de comunidades: estimativa do valor das perdas devido à dificuldade de acesso à comunidade e interrupção das vias de acesso rodoviário, o que acarretaria, conseqüentemente, na interrupção do acesso à infraestrutura, educação, saúde e lazer;
- Realocação temporária da população afetada: estimativa do valor dos custos de uma possível realocação temporária das pessoas afetadas (gastos referentes à criação de abrigos temporários, aluguel de imóveis, etc.);
- Danos ao Patrimônio Cultural, Artístico e Turístico da Região.

O custo das conseqüências na esfera Social é dado pela seguinte equação:

$$C_{SO} = C_{IC} + C_{RP} + C_{PT} \quad \text{Eq. 18}$$

Onde:

C_{SO} = Custo das conseqüências na esfera Social;

C_{IC} = Custo associado ao isolamento de comunidades;

C_{RP} = Custo associado à realocação da população afetada;

C_{PT} = Custo associado aos danos ao patrimônio cultural, artístico e turístico da região.

10.1 ISOLAMENTO DE COMUNIDADES

O custo associado ao isolamento de comunidades (Perdas devido à dificuldade de acesso à comunidade e interrupção das vias de acesso rodoviário, o que acarretaria, conseqüentemente, a interrupção do acesso à infraestrutura, educação, saúde e lazer) é dado como sendo igual a 6,0% dos custos diretos externos, conforme formulação apresentada a seguir:

$$C_{IC} = 0,06 \times C_{DDE} \quad \text{Eq. 19}$$

Onde:

C_{IC} = Custo associado ao isolamento de comunidades;

C_{DDE} = Custo associado aos danos diretos externos, excluindo a parcela relativa às pontes.

10.2 REALOCAÇÃO TEMPORÁRIA DE FAMÍLIAS

O custo relacionado à realocação temporária das famílias é resultante do produto de três variáveis: o número de famílias/domicílios afetadas, o valor do aluguel social e o número de meses considerados. Como recomendação prática sugere-se utilizar um valor igual a **R\$ 500,00 por mês** para o aluguel social e um período igual a 12 meses. A estimativa dos custos associados à realocação temporária das famílias afetadas é dada pela seguinte equação:

$$C_{RP} = AS \times FPA \times T_{AS} \quad \text{Eq. 20}$$

Onde:

C_{RP} = Custo associado à realocação da população afetada.

AS = Custo mensal do aluguel social.

FPA = Número de famílias/domicílios potencialmente afetadas.

T_{AS} = Número de meses de aluguel social.

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 32 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

10.3 PATRIMÔNIO CULTURAL, ARTÍSTICO E RURÍSTICO DA REGIÃO

O cálculo dos custos associados ao Patrimônio Cultural, Artístico e Turístico da Região podem ser realizados por vários métodos que objetivam a valoração econômica do patrimônio cultural. A utilização de um destes métodos (dentre eles: Metodologia CONDEPHAAT¹; Metodologia VERD² e Metodologia do Professor Georges Kaskantzis) pode ser adotada para a valoração do patrimônio cultural. É importante mencionar que, de maneira geral, esses métodos apresentam limitações na valoração destes danos.

11 VALORAÇÃO – IMAGEM DA EMPRESA

A imagem da empresa é um atributo intangível que traz benefícios tangíveis às empresas, sendo, portanto, passível de valoração. A marca da empresa é parte integrante de sua imagem, sendo a forma como o mercado e a sociedade enxergam a empresa. Contudo, a imagem ainda transpõe este conceito e engloba os elementos positivos e negativos de uma organização. A imagem personifica a empresa atribuindo a esta conceitos de confiança, força, liberdade e responsabilidade social.

Kayo (2004) aponta que o valor de mercado total de uma empresa é a soma de seus ativos tangíveis e intangíveis e propõe a classificação dos ativos intangíveis de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12: Classificação de Ativos Intangíveis

| Tipo de Intangível | Principais Componentes |
|--------------------------|---|
| Ativos Humanos | <ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento, talento, habilidade e experiência dos empregados; - Administração superior ou empregados-chave; - Treinamento e Desenvolvimento; - Entre outros. |
| Ativos de Inovação | <ul style="list-style-type: none"> - Pesquisa e Desenvolvimento; - Patentes; - Fórmulas Secretas; - <i>Know-how</i> tecnológico; - Entre outros. |
| Ativos Estruturais | <ul style="list-style-type: none"> - Processos; - <i>Software</i> proprietários; - Banco de dados; - Sistemas de Informação; - Sistemas administrativos; - Inteligência de mercado; - Canais de mercado; - Entre outros. |
| Ativos de Relacionamento | <ul style="list-style-type: none"> - Marcas; - Logos; - <i>Trademarks</i>; - Direitos autorais (de obras literárias, <i>de softwares</i>, etc.); - Contratos com clientes, fornecedores, etc.; - Contratos de licenciamento, franquias, etc.; - Direitos de exploração mineral, de água, etc.; |

1

Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo;

2

Valor Econômico Estimado de Referência para o Dano.

| | | | | |
|-------------|---|------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 33 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Entre outros.

Fonte: Kayo (2004)

De maneira geral, diversos estudos apontam que o desempenho das empresas não está vinculado somente aos ativos tangíveis, mas que a geração de valor também está relacionada aos ativos intangíveis das mesmas. A divulgação de notícias negativas e de impactos/acidentes tem a capacidade de mudar o conceito que a sociedade possui em relação à empresa, podendo resultar em recusa de produtos, cancelamento de contratos, queda de ações no mercado financeiro, dentre outros efeitos.

O dano à imagem pode ser definido como a repercussão social do dano que se tornou público e que foi suportado pela vítima (empresa). O bem a ser protegido ou lesado seria a imagem, a reputação, o conceito que as pessoas fazem ou faziam da vítima (empresa). A exposição de notícias verdadeiras, ou mesmo infundadas, publicamente abala a imagem e compromete a credibilidade, levando à perda de respeito e valor do indivíduo/empresa.

Em uma avaliação de risco com valoração das consequências a uma empresa, considera-se o dano à imagem como o **valor monetário perdido** dessa imagem, no que se refere ao conceito da mesma **para a sociedade e para os investidores diante de um fato (acidente)**. Entre os custos mais difíceis de mensurar, encontram-se aqueles relacionados com a imagem da empresa.

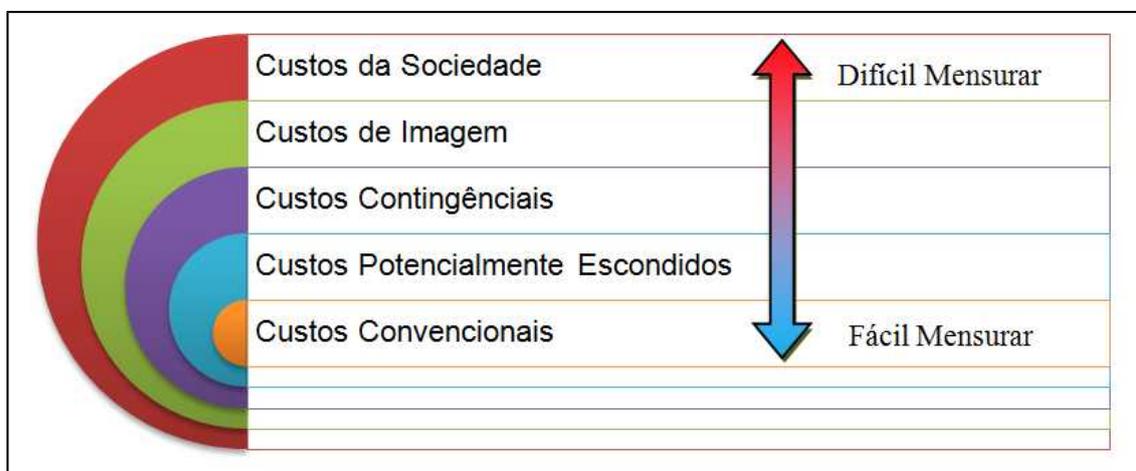


Figura 12: Classificação dos Custos e sua Mensuração. Fonte: Adaptado de EPA (1995).

O desempenho ambiental e social tem se tornado uma preocupação no mundo corporativo, devido a cobranças da sociedade, pelo enrijecimento da legislação e, sobretudo, pelo retorno negativo no desempenho financeiro da companhia. Pesquisas recentes indicam que eventos ambientais negativos impactam o mercado de ações e evidenciam uma queda no patrimônio das empresas (BRITO, 2005).

Brito (2005) avaliou a forma como o mercado acionário brasileiro reagiu nos últimos anos a eventos relevantes relacionados ao meio ambiente, sejam eles positivos ou negativos, envolvendo empresas pertencentes a setores potencialmente geradores de impactos ambientais. Os resultados mostram que ocorreu uma queda no valor das ações quando da ocorrência de eventos ambientais negativos e, no caso de eventos ambientais positivos, o valor das ações não sofreu alteração estatisticamente significativa.

A Figura 13 ilustra a amostragem do trabalho de Brito (2005), apresentando como se manifesta o retorno no valor das ações frente a um evento ambiental. Observa-se que a reação aos eventos ambientais negativos ganha maior expressão a partir do quinto dia-útil após a divulgação do evento, chegando a uma queda de aproximadamente 6,0%.

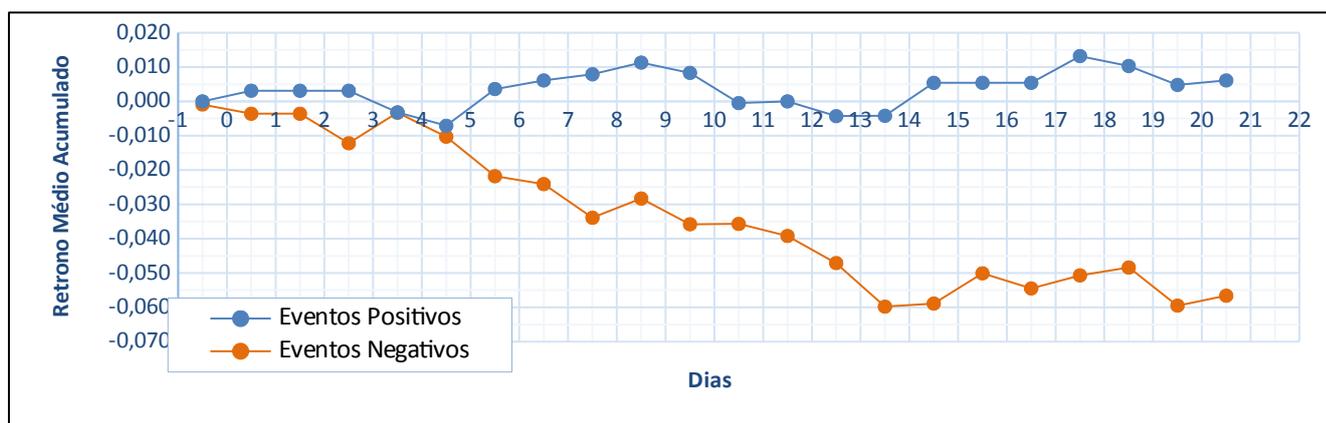


Figura 13: Retornos Anormais Acumulados Médios para o Portfólio in event time Usando o Modelo de Mercado (Índice IBOVESPA). Fonte: Adaptado de Brito (2015)

Brito (2005) conclui que o comportamento do mercado de ações está relacionado aos seguintes fatores:

- **Relevância do fato:** as notícias ambientais negativas tendem a ser mais relevantes para os investidores, na medida em que existe a possibilidade da empresa infratora receber multas e punições que teriam impacto direto no fluxo de caixa da empresa. No caso de notícias ambientais positivas, não existe um impacto direto no fluxo de caixa que possa ser associado ao evento em questão;
- **Viés da mídia na divulgação de notícias negativas:** a mídia, ao dar mais ênfase a notícias negativas do que notícias positivas cria um viés em relação ao risco percebido que pode impactar na precificação dos ativos;
- **Natureza do processo:** a construção da imagem de uma empresa é um processo lento, gradual e sujeito a múltiplos eventos, ou seja, para que o mercado identifique e avalie determinada empresa como uma companhia líder sob o ponto de vista ambiental é preciso haver uma sequencia de eventos que confirmem tal imagem. Assim, a reação do mercado para eventos positivos seria de longo prazo, lenta e gradual;
- **Eventos já absorvidos pelo mercado:** a possível combinação de eventos positivos que sejam realmente o primeiro anúncio com os que poderiam ser apenas a confirmação de algo já sabido pelo mercado pode influenciar. Por exemplo, a notícia da efetiva entrega de um prêmio ambiental não teria relevância caso o mercado já soubesse que a empresa foi à escolhida pelo júri para a premiação.

Na Figura 14 é mostrada a desvalorização das ações decorrente do principal evento da British Petroleum, que retrata o derramamento de petróleo no Golfo do México no dia 20 de Abril de 2010, considerado o pior desastre ambiental dos Estados Unidos, após explosão de plataforma da companhia. É importante considerar que nos primeiros dias após o acidente não se sabia exatamente o impacto do evento, somente após alguns dias é que se noticiou a grandeza do vazamento. Dessa forma, é possível observar que a partir do sexto dia após evento houve uma acentuada queda nos retornos da empresa, o que leva a concluir que o evento afetou negativamente o preço das ações da BP, chegando a uma queda de aproximadamente 20%.

A
B
C



Riscos em
) das

Nº: PRO – XXXX7

Pág.: 35 de 51

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015



Figura 14: Retornos Anormais Acumulados Médios da BP Referente ao Evento Ocorrido em 20/04/10, Vazamento de Petróleo no Golfo do México.

O derramamento no Golfo do México teve repercussão não somente nas ações da BP, mas afetou o valor das ações de outras empresas, conforme apresentado Nogueira & Angotti (2011), levando a quedas de aproximadamente 14% no setor (Figura 15).



Figura 15: Retornos Anormais Acumulados Médios de Todas as Empresas da Amostra Referente ao Evento Ocorrido em 20/04/10, Vazamento de Petróleo no Golfo do México. Fonte: Adaptado de Nogueira & Angotti (2011)

Devido à importância que a Imagem tem na determinação do valor de um ativo a ser negociado no mercado, é fundamental o conhecimento do valor da imagem e o real impacto sobre este valor, em função da ocorrência de um acidente.

No caso da ocorrência de um acidente, entre os aspectos que devem ser considerados para a definição das consequências à Imagem da Empresa pode-se citar:

- Existência de fatalidades durante o evento;
- Degradação ao meio ambiente e impacto em áreas ecologicamente sensíveis;
- Repercussão do acidente na mídia local e/ou nacional e/ou internacional;
- Participação de personalidades de alto escalão ou notoriedade seja da empresa ou mesmo personalidades públicas (presidente de empresas, secretários de estado, ministros, etc.);
- Reações de sindicatos, sociedade e ONGs;

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 36 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

- Recisão / cancelamento de contratos;
- Perda da confiança dos investidores e queda no preço das ações.

A estimativa dos custos das consequências à imagem da empresa, juntamente com a estimativa dos danos sociais, é a mais subjetiva dentre as seis áreas consideradas no projeto GRG, haja vista os inúmeros aspectos que compõem a imagem da empresa, a dificuldade de valoração dos mesmos e a inter-relação intrínseca entre os danos à imagem e as demais esferas.

11.1 METODOLOGIA

Para a determinação do valor referente aos danos à imagem, faz-se necessário a estimativa do impacto ao vale a jusante, do valor de mercado da empresa e da perda percentual das ações, que é função do dano a jusante. As etapas do processo do cálculo dos danos à imagem estão apresentados a seguir.

1. Calcular os índices parciais de vulnerabilidade (IPV) associados a cada esfera de dano (Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômica, Imagem da Empresa, Social e Órgãos Reguladores), conforme apresentado na Figura 16 e equação 21. As faixas de valores financeiros para os índices parciais de vulnerabilidade foram definidos de acordo com os valores apresentados na Norma de Gestão de Risco Operacional (NOR-0007) na esfera financeira, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 13: Índices Parciais de Vulnerabilidade.

| IPV | Classes Danos | Custos |
|------|---------------|----------------------|
| 0,06 | Desprezível | R\$ 100.000,00 |
| 0,13 | Baixo | R\$ 1.000.000,00 |
| 0,25 | Moderado | R\$ 10.000.000,00 |
| 0,50 | Alto | R\$ 100.000.000,00 |
| 1,00 | Extremo | R\$ 1.000.000.000,00 |

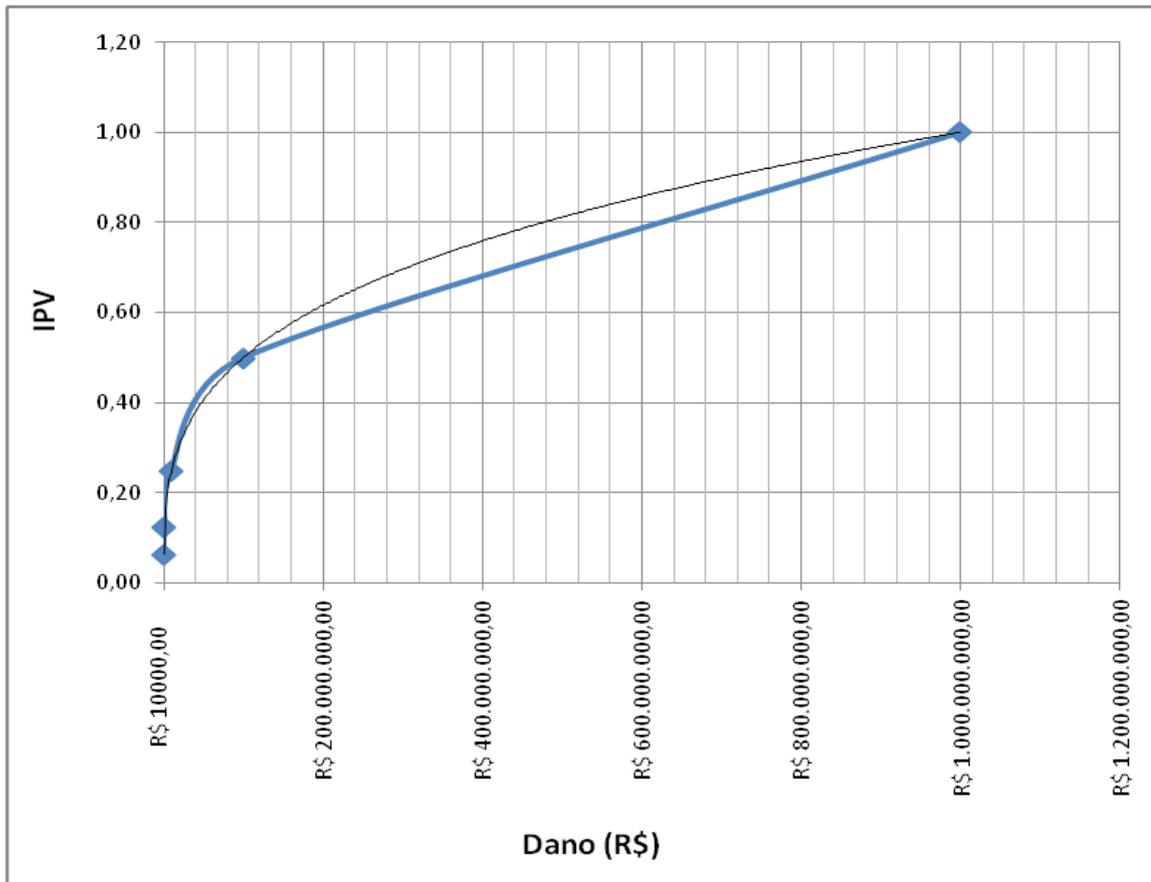


Figura 16: Regressão dos Índices Parciais de Vulnerabilidade em Função das Faixas de Valor de Dano.

$$IPV = 0,002 * DANO^{0,301}$$

Eq. 21

Onde:

IPV = Índice parcial de vulnerabilidade.

DANO = Custo monetário (R\$) associado a cada esfera de dano (Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômica, Imagem da Empresa, Social e Órgãos Reguladores).

2. Calcular o índice global de vulnerabilidade (IGV) pela ponderação¹ dos IPV's:

$$IGV = 0,25 * [IPV(SS) + IPV(MA)] + 0,15 * [IPV(DI) + IPV(OR)] + 0,10 * [IPV(DE) + IPV(S)]$$

Eq. 22

Onde:

IGV = Índice Global de Vulnerabilidade;

1

Para a definição dos pesos foi utilizada de maneira simplificada alguns aspectos preconizados pela metodologia *Multiple Accounts Analysis (MAA)*, que consiste em um processo de avaliação voltado à quantificação de impactos de empreendimentos que considera diversas variáveis, tais como: questões operacionais, financeiras, ambientais e socioeconômicas. Nesta metodologia, o problema é dividido em múltiplas variáveis e a cada uma é atribuído um peso de acordo com sua participação ou importância dentro do problema a ser avaliado. Os pesos dos multiplicadores foram determinados por equipe multidisciplinar da Pimenta de Ávila Consultoria e testados no presente trabalho. Os seguintes pesos foram definidos: i) 0,25 – Para as esferas Saúde e Segurança e Meio Ambiente; ii) 0,15 – Para os Danos Internos da esfera Econômica e para a esfera de Órgãos Reguladores; iii) 0,10 – Para os Danos Externos da esfera Econômica e para a esfera Social;

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 38 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

IPV(SS) = Índice de Vulnerabilidade associado à esfera Saúde e Segurança;
 IPV(MA) = Índice de Vulnerabilidade associado à esfera Meio Ambiente;
 IPV(DI) = Índice de Vulnerabilidade associado aos Danos Econômicos Internos;
 IPV(DE) = Índice de Vulnerabilidade associado aos Danos Econômicos Externos;
 IPV(OR) = Índice de Vulnerabilidade associado à esfera Órgãos Reguladores;
 IPV(S) = Índice de Vulnerabilidade associado à esfera Social.

3. Calcular a perda percentual de valor de mercado da VALE em função do índice global de vulnerabilidade, conforme formulação a seguir. Destaca-se que, adotou-se como limite superior para a perda de valor das ações, no período de um ano, o percentual de 5,0%.

$$PA(IGV) = 0,0016 e^{8,0472 \cdot IGV} \quad \text{Eq. 23}$$

Onde:

PA (IGV) = Perda percentual de valor de mercado (%);

IGV – índice global de vulnerabilidade

4. Para valores de IGV menores que 0,20, a relação adquire uma forma linear até um limite superior de 0,008 %, ou seja:

$$PA(IGV) = 0,04 \cdot IGV$$

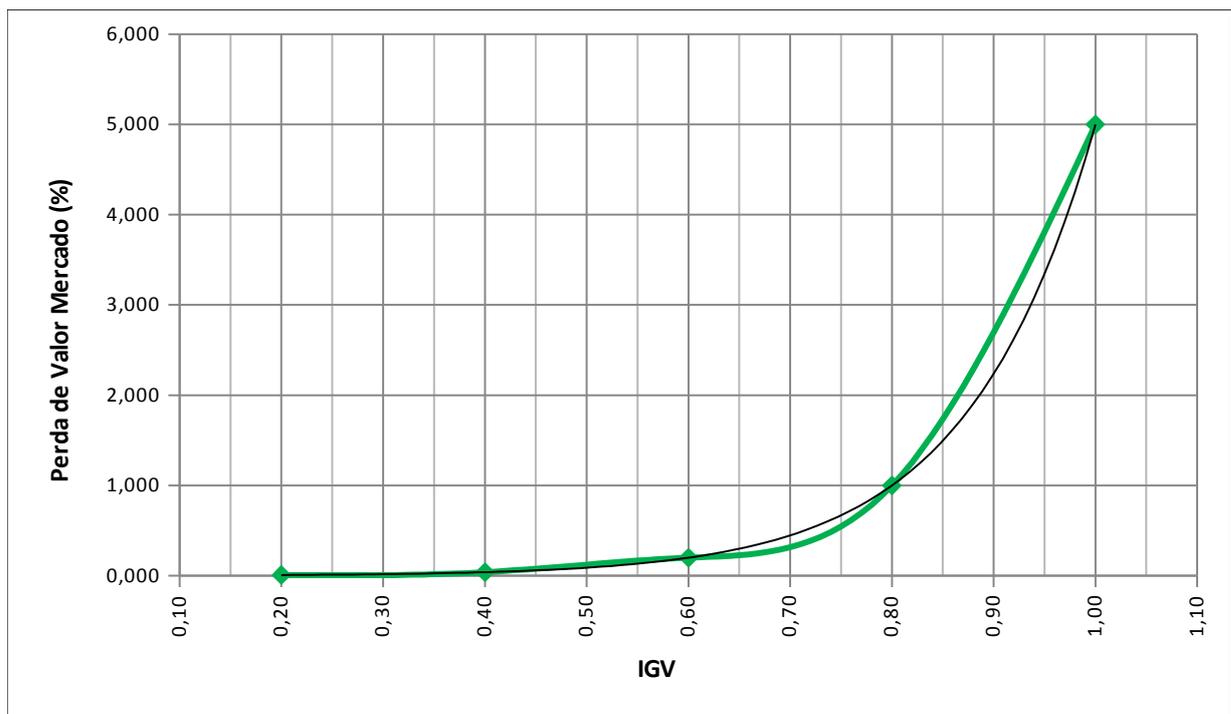


Figura 17: Relação Exponencial Proposta para a Determinação do Dano Relativo à Perda de Valor das Ações em Função do IGV.

4. Calcular os custos do dano à imagem da VALE:

$$D_I = PA(IGV) \cdot V_{ME} \quad \text{Eq. 24}$$

Onde:

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 39 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

D_i = Danos à Imagem (R\$);

PA (IGV) = Perda percentual de valor de mercado (%);

V_{ME} = Valor de mercado da VALE (R\$).

12 CONCLUSÕES

O procedimento para definição das consequências apresenta as metodologias específicas de valoração para as seis esferas de interesse: Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômico, Social, Órgãos Reguladores e Imagem da Empresa. Cabe observar que a janela de tempo considerada é referente a um período de 1 ano.

O nível de detalhamento e grau de precisão da valoração das consequências deve ser avaliado caso a caso. De maneira geral, para a realização da valoração das consequências se faz necessário o estabelecimento de algumas premissas e/ou simplificações. É importante destacar que, busca-se com a valoração das consequências a estimativa da ordem de grandeza das consequências. Desta forma, deve-se atentar para não buscar um nível de detalhamento muito elevado nas valorações, o que possivelmente irá acarretar na necessidade de maior recurso e tempo, não sendo obtidos ganhos relevantes em termos de valoração.

Por tratar de um cenário hipotético e de danos potenciais, é necessário destacar que a identificação e valoração dos danos ora apresentados tratam de previsões e devem ser entendidos como um instrumento para melhor conhecimento dos riscos associados a estas estruturas da forma mais próxima possível da realidade; e ao mesmo tempo como uma ferramenta de gestão do empreendedor responsável.

Embora ainda sejam possíveis alguns ajustes metodológicos, a ferramenta empregada mostra-se viável para aplicação, utilizando as bases de dados disponíveis no Brasil.

Salienta-se que as metodologias e premissas, ainda são passíveis de melhorias, devendo ser revistos na medida em que as bases de dados utilizadas forem atualizadas e também quando ocorrerem avanços metodológicos importantes no tema de valoração. Esses avanços incluem revisões técnico-científicas, alteração da legislação vigente, além da evolução das técnicas de desagregação espacial dos dados censitários, que poderá auxiliar num maior refinamento dos resultados de simulação e alcançar valores mais realistas de danos.

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 40 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

APÊNDICES

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 41 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

APÊNDICE A – PADRÕES PARA VALORAÇÃO DE CONTEÚDO



Tabela 14: Cômodos Típicos por Padrão Habitacional

| Classe Econômica ABEP (2014) | Categoria NBR12.721 | Nome e Descrição | Característica da Habitação | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|--|-----------------------------|---------------------|------|---------|------|-----------------|-------------------------|----------------|----------|------------|---------|---------|---|
| | | | Dormitório Casal | Dormitório Solteiro | Sala | Cozinha | Copa | Área de Serviço | Escritório / Biblioteca | Sala Adicional | Banheiro | Circulação | Varanda | Garagem | |
| A | R1-A | Residência uni familiar padrão alto: 4 dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel). | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| B | R1-N | Residência uni familiar padrão normal: 3 dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel). | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| C | R1-B | Residência uni familiar padrão baixo: 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| D/E | RP1Q | Residência uni familiar popular: 1 dormitório, sala, banheiro e cozinha. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Fonte:

Adaptado de NBR 12.721 e Machado, 2005

**DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO
E DESENVOLVIMENTO FERROSO**



**Riscos em
das**

Nº: PRO – XXXX7

Pág.: 43 de 51

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

Tabela 15: Padrões de Conteúdo por Cômodo segundo as Classes de Renda Familiar

| Cômodo | Quantidade de Bens / Classe de Renda | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|----------|----------|------------|
| | A | B | C | D/E |
| <i>Dormitório Casal</i> | | | | |
| <i>Ar condicionado</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Cama de casal</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Colchão de casal</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Cômoda</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Criado</i> | 1 | 1 | 1 | 0 |
| <i>Escrivaninha</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Guarda roupa</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Micro System</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rádio</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Telefone s/fio</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>TV</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Ventilador</i> | 0 | 1 | 1 | 0 |
| <i>Vídeo Cassete / DVD</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | |
| <i>Dormitório Solteiro</i> | A | B | C | D/E |
| <i>Cama de solteiro</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Colchão de solteiro</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Cômoda</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Criado</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Escrivaninha</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Guarda roupa</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Micro System</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Rádio</i> | 0 | 1 | 0 | 0 |
| <i>TV</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Ventilador</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Sala</i> | A | B | C | D/E |
| <i>Estante</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Micro System</i> | 1 | 1 | 1 | 0 |
| <i>Rádio</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Sofá</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Telefone s/fio</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>TV</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>TV Grande</i> | 1 | 1 | 1 | 0 |
| <i>Vídeo Cassete / DVD</i> | 1 | 1 | 1 | 0 |

| Cômodo | Quantidade de Bens / Classe de Renda | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|------------|
| | A | B | C | D/E |
| <i>Cozinha</i> | | | | |
| <i>Estante</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Exaustor</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Fogão</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Forno elétrico</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Freezer</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Geladeira</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Lavadora de pratos</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Micro-ondas</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Processador de alimentos</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| <i>Copa</i> | A | B | C | D/E |
| <i>Estante</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Mesa e Cadeiras</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | |
| <i>Área de Serviço</i> | A | B | C | D/E |
| <i>Aspirador de pó</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Máquina de lavar roupas</i> | 1 | 1 | 1 | 0 |
| <i>Secadora de roupas</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tanquinho</i> | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | | | |
| <i>Escritório / Biblioteca</i> | A | B | C | D/E |
| <i>Estante</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Mesa e Cadeiras</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Microcomputador</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Telefone s/fio</i> | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Sala Adicional</i> | A | B | C | D/E |
| <i>Estante</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Sofá</i> | 1 | 0 | 0 | 0 |



Tabela 16: Preços dos Conteúdos das Edificações por Classe Econômica

| Preços dos Conteúdos no Varejo (R\$) | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Descrição do bem | Preço A | Preço B | Preço C | Preço D/E |
| <i>Ar condicionado</i> | 1.500,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 |
| <i>Aspirador de pó</i> | 300,00 | 150,00 | 80,00 | 80,00 |
| <i>Cama de casal</i> | 900,00 | 500,00 | 300,00 | 300,00 |
| <i>Cama de solteiro</i> | 300,00 | 200,00 | 100,00 | 100,00 |
| <i>Colchão de casal</i> | 1.200,00 | 600,00 | 400,00 | 400,00 |
| <i>Colchão de solteiro</i> | 700,00 | 500,00 | 200,00 | 200,00 |
| <i>Cômoda</i> | 800,00 | 500,00 | 200,00 | 200,00 |
| <i>Criado</i> | 500,00 | 200,00 | 100,00 | 100,00 |
| <i>Escrivaninha</i> | 300,00 | 200,00 | 100,00 | 100,00 |
| <i>Estante</i> | 1.500,00 | 1.000,00 | 500,00 | 500,00 |
| <i>Exaustor</i> | 1.200,00 | 700,00 | 300,00 | 300,00 |
| <i>Fogão</i> | 3.000,00 | 1.500,00 | 500,00 | 500,00 |
| <i>Forno elétrico</i> | 2.000,00 | 900,00 | 200,00 | 200,00 |
| <i>Freezer</i> | 1.500,00 | 1.000,00 | 1.000,00 | 1.000,00 |
| <i>Geladeira</i> | 6.000,00 | 4.000,00 | 900,00 | 900,00 |
| <i>Guarda roupa</i> | 1.200,00 | 700,00 | 400,00 | 400,00 |
| <i>Lavadora de pratos</i> | 1.500,00 | 1.000,00 | 1.000,00 | 1.000,00 |
| <i>Máquina de lavar roupas</i> | 2.000,00 | 1.000,00 | 1.000,00 | 1.000,00 |
| <i>Mesa e Cadeiras</i> | 2.000,00 | 1.200,00 | 500,00 | 500,00 |
| <i>Micro System</i> | 1.000,00 | 700,00 | 300,00 | 300,00 |
| <i>Microcomputador</i> | 3.000,00 | 2.000,00 | 1.200,00 | 1.200,00 |
| <i>Micro-ondas</i> | 600,00 | 400,00 | 200,00 | 200,00 |
| <i>Processador de alimentos</i> | 400,00 | 200,00 | 80,00 | 80,00 |
| <i>Rádio</i> | 80,00 | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| <i>Secadora de roupas</i> | 1.500,00 | 800,00 | 300,00 | 300,00 |
| <i>Sofá</i> | 2.000,00 | 1.000,00 | 500,00 | 500,00 |
| <i>Tanquinho</i> | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| <i>Telefone s/fio</i> | 200,00 | 150,00 | 80,00 | 80,00 |
| <i>TV</i> | 1.300,00 | 1.300,00 | 1.300,00 | 1.300,00 |
| <i>TV Grande</i> | 3.000,00 | 1.800,00 | 1.500,00 | 1.500,00 |
| <i>Ventilador</i> | 200,00 | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| <i>Vídeo Cassete / DVD</i> | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Fonte: Buscape (2014)

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 45 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

APÊNDICE B – VALOR MÉDIO DOS VEÍCULOS POR TIPOLOGIA

**DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO
E DESENVOLVIMENTO FERROSO**

| | | | | |
|----------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 46 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Tabela 17: Valor Médio dos Veículos por Tipologia

| Categoria | Modelos | Período na Tabela FIPE | Preço Médio |
|------------------|--|------------------------|-----------------------|
| Caminhão Trator | Mercedes Axor 1933 S 2p (diesel) | 2007 | R\$ 96.831,00 |
| | Mercedes Axor 4144 K 6x4 2p (diesel) | 2007 | R\$ 260.729,00 |
| | Axor 4140 K 6x4 2p (diesel) | 2007 | R\$ 221.605,00 |
| | Mínimo | | R\$ 96.831,00 |
| | Média | | R\$ 193.055,00 |
| | Máximo | | R\$ 260.729,00 |
| Caminhão | Atego 1418 2p (diesel) | 2007 | R\$ 82.152,00 |
| | Atego 2425 3-Eixos 2p (diesel) | 2007 | R\$ 116.223,00 |
| | Accelo 915C 2p (diesel) | 2007 | R\$ 68.610,00 |
| | Mínimo | | R\$ 68.610,00 |
| | Média | | R\$ 88.995,00 |
| | Máximo | | R\$ 116.223,00 |
| Caminhoneta | Master 2.5 dCi 16V 115cv 16L Diesel | 2007 | R\$ 54.210,00 |
| | Mínimo | | R\$ 54.210,00 |
| | Média | | R\$ 54.210,00 |
| | Máximo | | R\$ 54.210,00 |
| Caminhonete | Ford Ranger Limited 3.0 PSE 4x4 CD TB Diesel | 2007 | R\$ 46.251,00 |
| | Toyota Hilux CD SR D4-D 4x4 3.0 TDI Dies. | 2007 | R\$ 69.842,00 |
| | Mínimo | | R\$ 46.251,00 |
| | Média | | R\$ 58.046,50 |
| | Máximo | | R\$ 69.842,00 |
| Carro Particular | Uno Mille 1.0 Fire/ F.Flex/ ECONOMY 4p | 2007 | R\$ 15.031,00 |
| | Gol city (Trend) 1.0 Mi Total Flex 8V 2p | 2007 | R\$ 15.610,00 |
| | Fiat Palio ELX 1.4 mpi Fire Flex 8v 4p | 2007 | R\$ 20.793,00 |
| | Fiat Siena ELX 1.4 mpi Fire Flex 8v 4p | 2007 | R\$ 19.613,00 |
| | Fiat Strada 1.4 mpi Fire Flex 8V CE | 2007 | R\$ 21.968,00 |
| | VW Fox Plus 1.6Mi/ 1.6Mi Total Flex 8V 4p | 2007 | R\$ 21.690,00 |
| | VW CROSSFOX 1.6 Mi Total Flex 8V 5p | 2007 | R\$ 25.843,00 |
| | Honda Fit LX 1.4/ 1.4 Flex 8V/16V 5p Mec. | 2007 | R\$ 22.868,00 |
| | Ford EcoSport XL 1.6/ 1.6 Flex 8V 5p | 2007 | R\$ 24.202,00 |
| | VW Golf 1.6Mi/ 1.6Mi Gener./Bleck & Silver | 2007 | R\$ 25.858,00 |
| | Hyundai Tucson 2.0 16V Mec | 2007 | R\$ 32.160,00 |
| | Land Rover Defender 130 TDI CD Diesel | 2008 | R\$ 61.352,00 |
| | Mínimo | | R\$ 15.031,00 |
| | Média | | R\$ 25.582,33 |
| | Máximo | | R\$ 61.352,00 |

Fonte: Tabela FIPE (FIPE, 2014).

Tabela 20 (continuação) – Valor Médio dos Veículos por Tipologia

| Categoria | Modelos | Período na Tabela FIPE | Preço Médio |
|-----------|---------|------------------------|-------------|
|-----------|---------|------------------------|-------------|

**DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO
E DESENVOLVIMENTO FERROSO**

| | | | | |
|----------------------|---|--------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 47 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

| | | | |
|--------------|---|------|-----------------------|
| Micro-ônibus | Marcopolo VOLARE (Lotação e Escolar A5/V5) (diesel) | 2007 | R\$ 68.017,00 |
| | Marcopolo VOLARE (Executivo A5/V5) (diesel) | 2007 | R\$ 73.433,00 |
| | Mínimo | | R\$ 68.017,00 |
| | Média | | R\$ 70.725,00 |
| | Máximo | | R\$ 73.433,00 |
| Moto | Honda CG 150 TITAN-KS/ TITAN-JOB | 2010 | R\$ 4.532,00 |
| | Honda CG 125 FAN / FAN KS | 2010 | R\$ 3.938,00 |
| | Honda CG 125 CARGO/ CARGO KS | 2010 | R\$ 3.706,00 |
| | Honda CBR 300R / 300R FLEX | 2010 | R\$ 7.963,00 |
| | YAMAHA YBR 125 FACTOR E | 2010 | R\$ 3.911,00 |
| | Honda NXR 150 | 2010 | R\$ 6.204,00 |
| | Mínimo | | R\$ 3.706,00 |
| | Média | | R\$ 5.042,33 |
| | Máximo | | R\$ 7.963,00 |
| Motoneta | Honda Biz 125 ES/ ES F.INJ./ES MIX F.INJECTION | 2010 | R\$ 4.863,00 |
| | Honda Pop 100 97cc | 2010 | R\$ 2.995,00 |
| | Mínimo | | R\$ 2.995,00 |
| | Média | | R\$ 3.929,00 |
| | Máximo | | R\$ 4.863,00 |
| Ônibus | Marcopolo VOLARE (Executivo W9) (diesel) | 2007 | R\$ 116.764,00 |
| | Marcopolo VOLARE (Lotação e Escolar W8) (diesel) | 2007 | R\$ 76.768,00 |
| | Mínimo | | R\$ 76.768,00 |
| | Média | | R\$ 96.766,00 |
| | Máximo | | R\$ 116.764,00 |
| Utilitário | Ducato MaxiCargo/Furgão Maxi 2.8 TB Dies | 2007 | R\$ 42.392,00 |
| | Kombi Furgão 1.4 Mi Total Flex 8V | 2007 | R\$ 18.819,00 |
| | Kombi Furgão | 2006 | R\$ 16.565,00 |
| | Ducato Mult/ Vetrato 2.8 T.Alto TB Dies. | 2007 | R\$ 55.786,00 |
| | Kombi Escolar 1.6 MPi | 2007 | R\$ 23.491,00 |
| | Doblo Cargo 1.8 mpi Flex | 2007 | R\$ 23.630,00 |
| | Mínimo | | R\$ 16.565,00 |
| | Média | | R\$ 30.113,83 |
| | Máximo | | R\$ 55.786,00 |

Fonte: Tabela FIPE (FIPE, 2014).

| | | | | |
|-------------|---|--------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em) das | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 48 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

APÊNDICE C– CURVAS DE DANO PARA METODOLOGIA HEC-FIA (ATÉ 3 ANDARES)

| | | | | |
|-------------|---|------------------------|------------------------|---------------------|
| A B C |  | Riscos em edifícios | Nº: PRO – XXXX7 | Pág.: 49 de 51 |
| | | | Classificação: Interno | Rev.: 00-16/12/2015 |

Tabela 18: Curvas de danos a edificação e a perda de conteúdo para edificações com até 3 andares

| Prof (m) | 1and | | 2andX | | 3andX | |
|----------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| | Conteúdo | Edificação | Conteúdo | Edificação | Conteúdo | Edificação |
| 0,25 | 21,6% | 5,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 0,50 | 36,4% | 6,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 0,75 | 45,1% | 7,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 1 | 51,3% | 8,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2 | 66,1% | 10,8% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 3 | 74,7% | 12,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 4 | 80,9% | 13,5% | 51,3% | 0,0% | 25,6% | 4,3% |
| 5 | 85,6% | 14,6% | 66,1% | 8,6% | 33,0% | 5,4% |
| 6 | 89,5% | 15,6% | 74,7% | 10,8% | 37,4% | 6,1% |
| 7 | 92,8% | 16,4% | 80,9% | 12,3% | 66,1% | 11,1% |
| 8 | 95,7% | 17,2% | 85,6% | 13,5% | 75,9% | 12,7% |
| 9 | 98,2% | 18,0% | 89,5% | 14,6% | 82,1% | 13,9% |
| 10 | 100,0% | 18,7% | 92,8% | 15,6% | 86,9% | 15,0% |
| 11 | 100,0% | 18,7% | 95,7% | 16,4% | 90,7% | 15,9% |
| 12 | 100,0% | 18,7% | 98,2% | 17,2% | 93,9% | 16,8% |
| 13 | 100,0% | 18,7% | 100,5% | 18,0% | 96,7% | 17,5% |
| 14 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 18,7% | 97,8% | 18,3% |
| 15 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 19,3% | 99,1% | 18,9% |
| 16 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 19,9% | 100,2% | 19,6% |
| 17 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 20,5% | 100,0% | 20,2% |
| 18 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 21,1% | 100,0% | 20,8% |
| 19 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 21,7% | 100,0% | 21,4% |
| 20 | 100,0% | 18,7% | 100,0% | 22,2% | 100,0% | 21,9% |

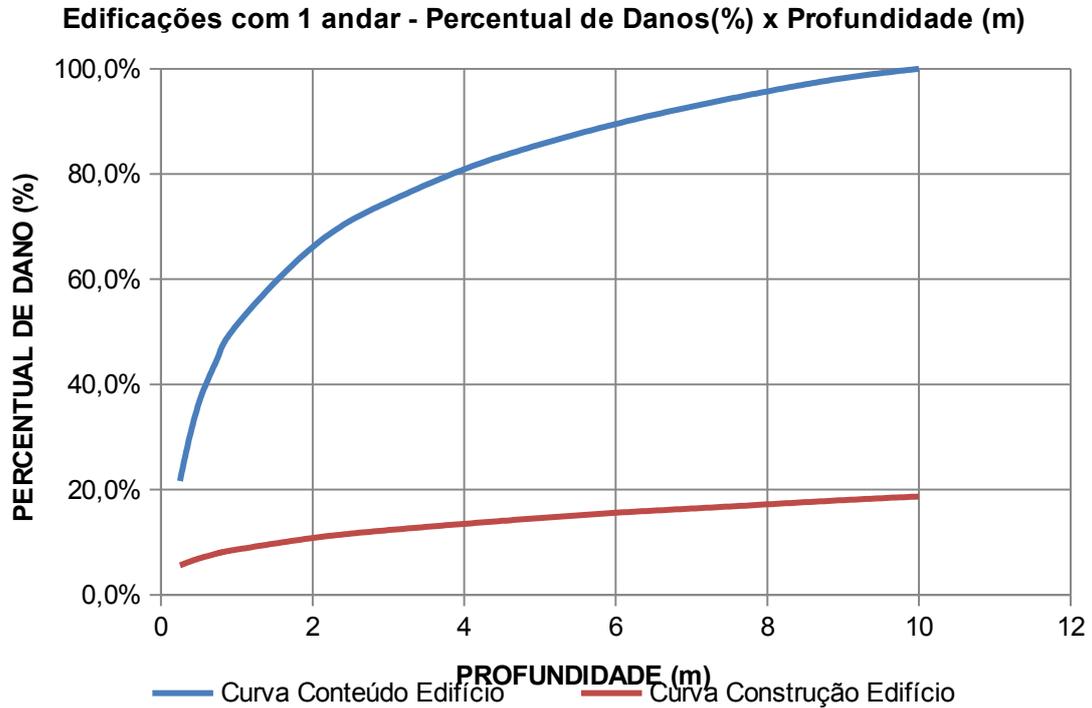


Figura 18: Curvas de danos a edificação e a perda de conteúdo – 1. Fonte: adaptado de Machado (2005)

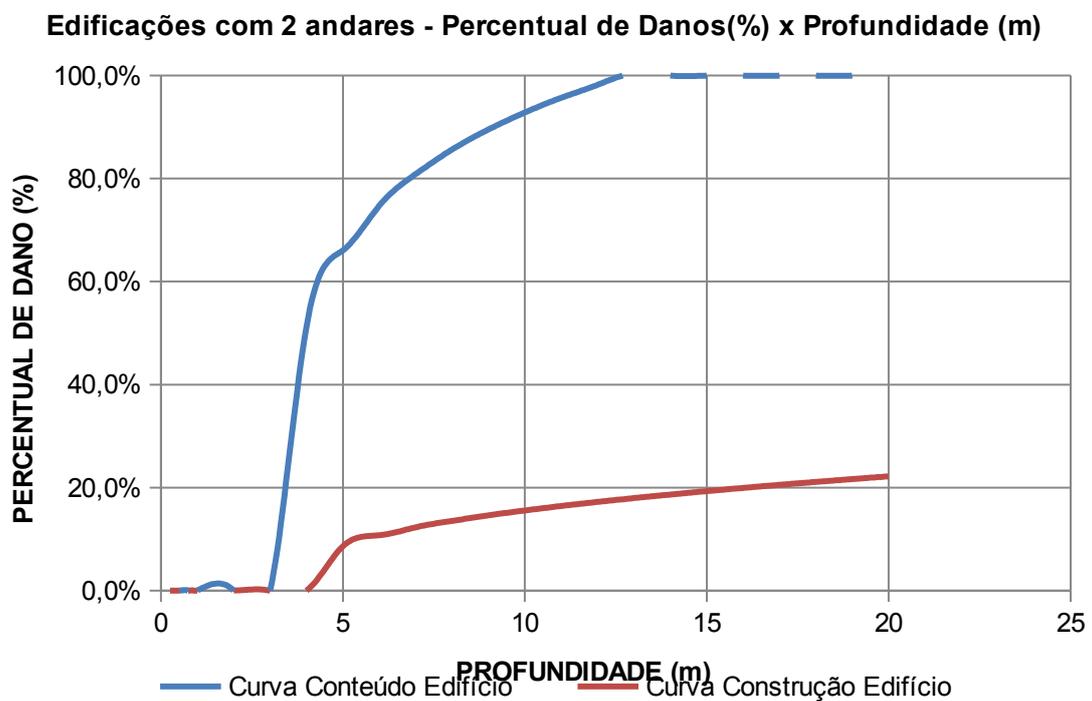


Figura 19: Curvas de danos a edificação e a perda de conteúdo – 2andX. Fonte: adaptado de Machado (2005)



Riscos em
das

Nº: PRO – XXXX7

Pág.: 51 de 51

Classificação: Interno

Rev.: 00-16/12/2015

Edificações com 3 andares - Percentual de Danos(%) x Profundidade (m)

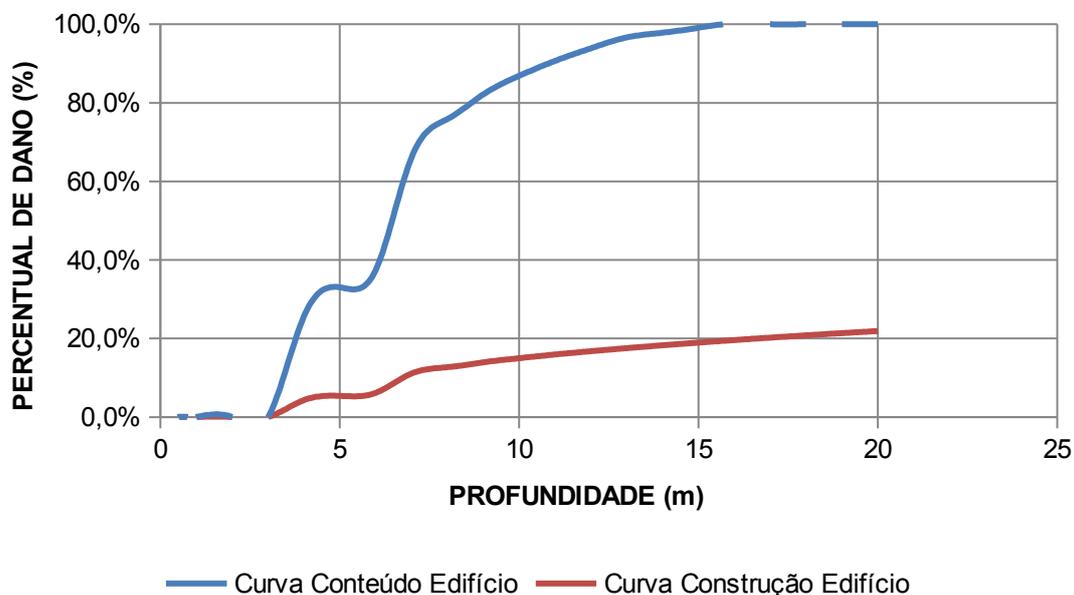


Figura 20: Curvas de danos a edificação e a perda de conteúdo – 3andX. Fonte: adaptado de Machado (2005)

Veículos - Percentual de Danos (%) x Profundidade (m)

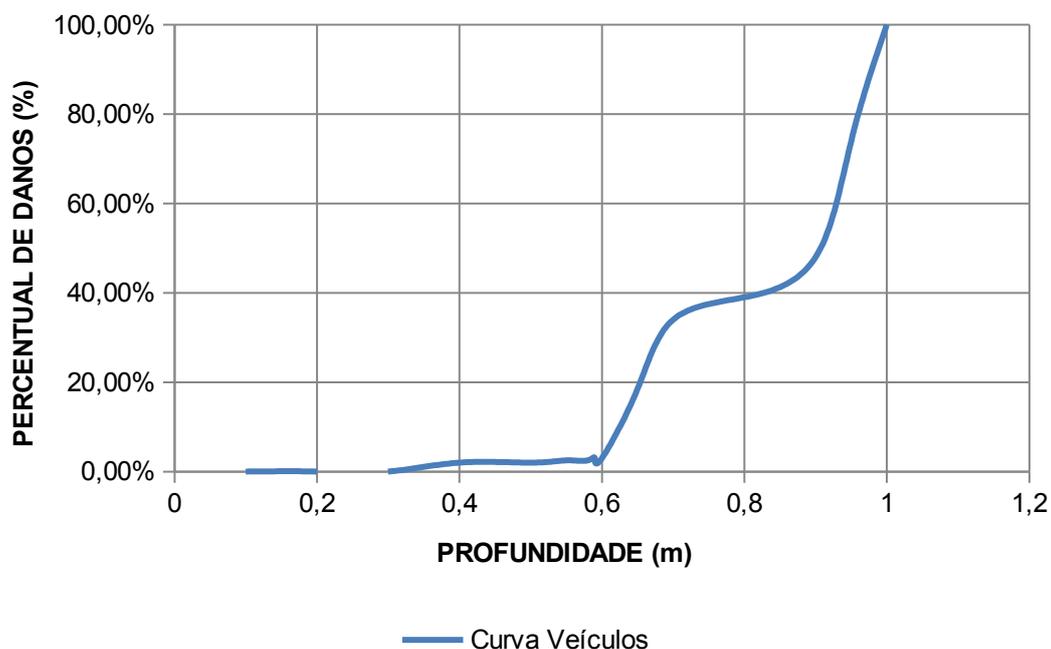


Figura 21: Curva de danos a veículos. Fonte: adaptado de Machado (2005)



Foto: Itabiruçu

Tolerable Risk Criteria Adopted at Vale – Results – How safe is safe enough?

Felipe Rocha

15/11/2017

Assinado eletronicamente. A Certificação Digital pertence a:
GISELLE RIBEIRO DE OLIVEIRA (assinado em 01/02/2019)

Peça de ID: 60842476
(Documentos comprobatórios) pág. 1 de 31

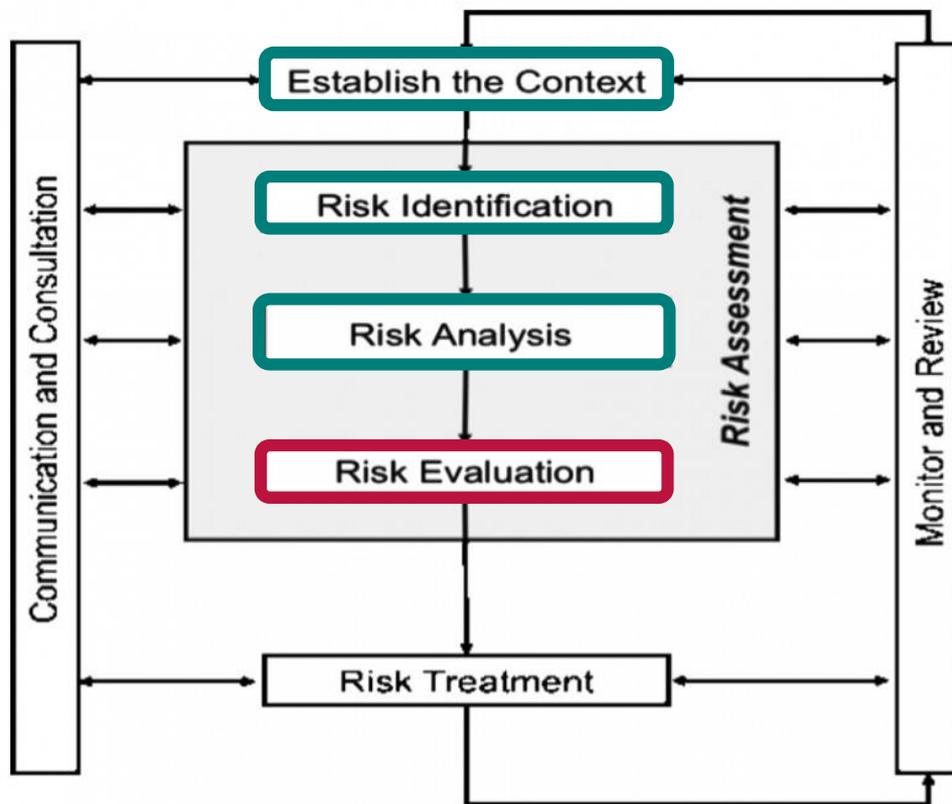




GRG - STATUS

Geotechnical Risk Management

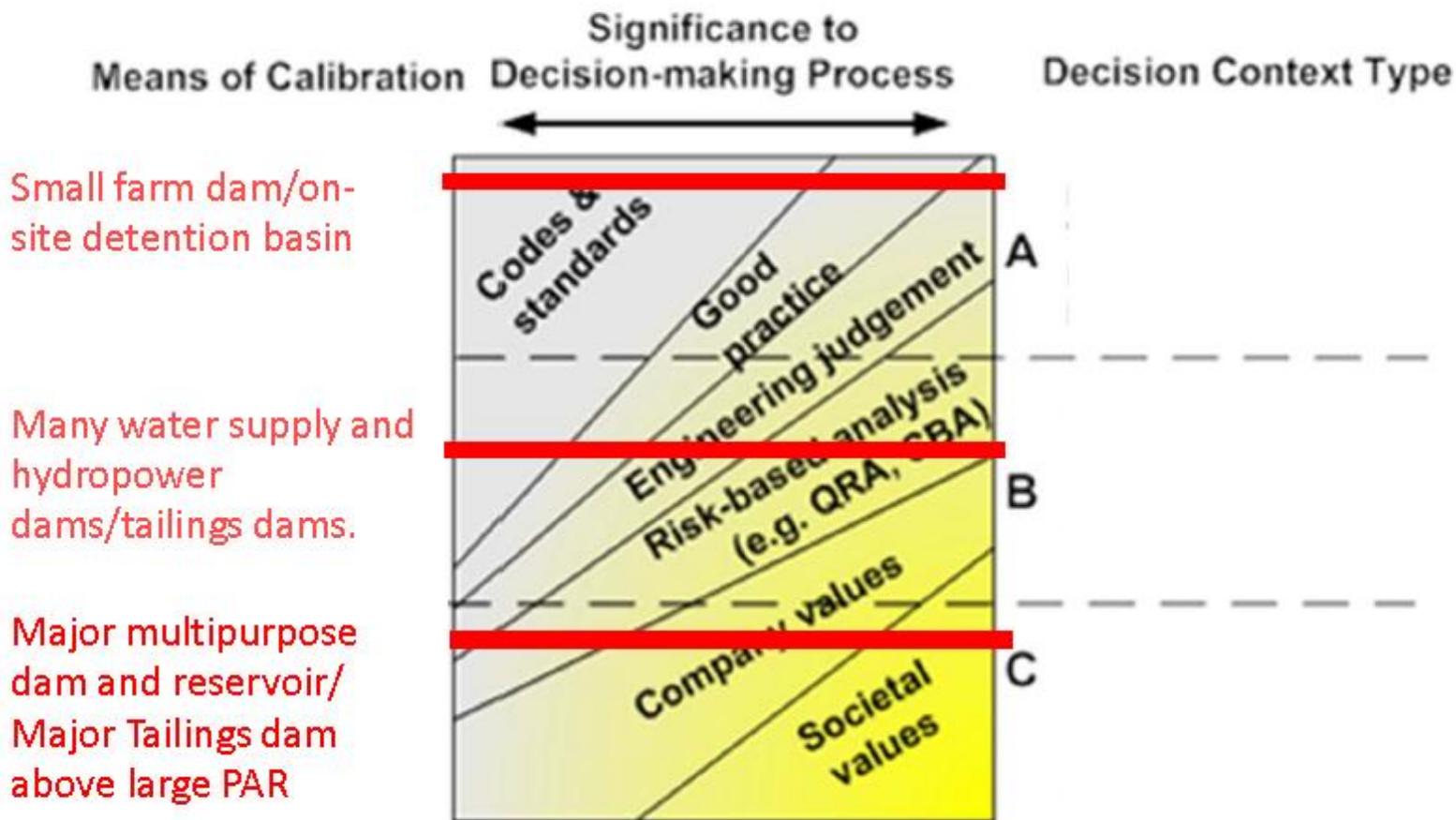
Process for Managing Risks



IN PROGRESS

FOCUS OF THIS PRESENTATION

A Comprehensive Decision Framework for Major Accident Hazards (UKOOA 1999) – Second Stage – David Bowles



Geotechnical Risk Management

Risk Calculation



Geotechnical Risk Management

Risk Calculation and Evaluation

Stage 1:
Data Consolidation

Collect and consolidation of dam data, in order to seek an understanding of its characteristics and performance

Stage 2:
Risks Identification

Based on data consolidation and field visit, potential failure modes, causes and existing controls were identified

Stage 3:
Probabilities
Calculation

For the most relevant failure modes and potential causes, the probability of failure is calculated from specific methodologies

Stage 4:
Dam Break Update /
Study

Perform dam break studies for specific scenarios to delineate the potentially affected area in case of failure

Stage 5:
Valuation of
Consequences

Application of specific methodologies for assessing the consequences in the different spheres of interest

Stage 6:
Monetized Risk
Calculation

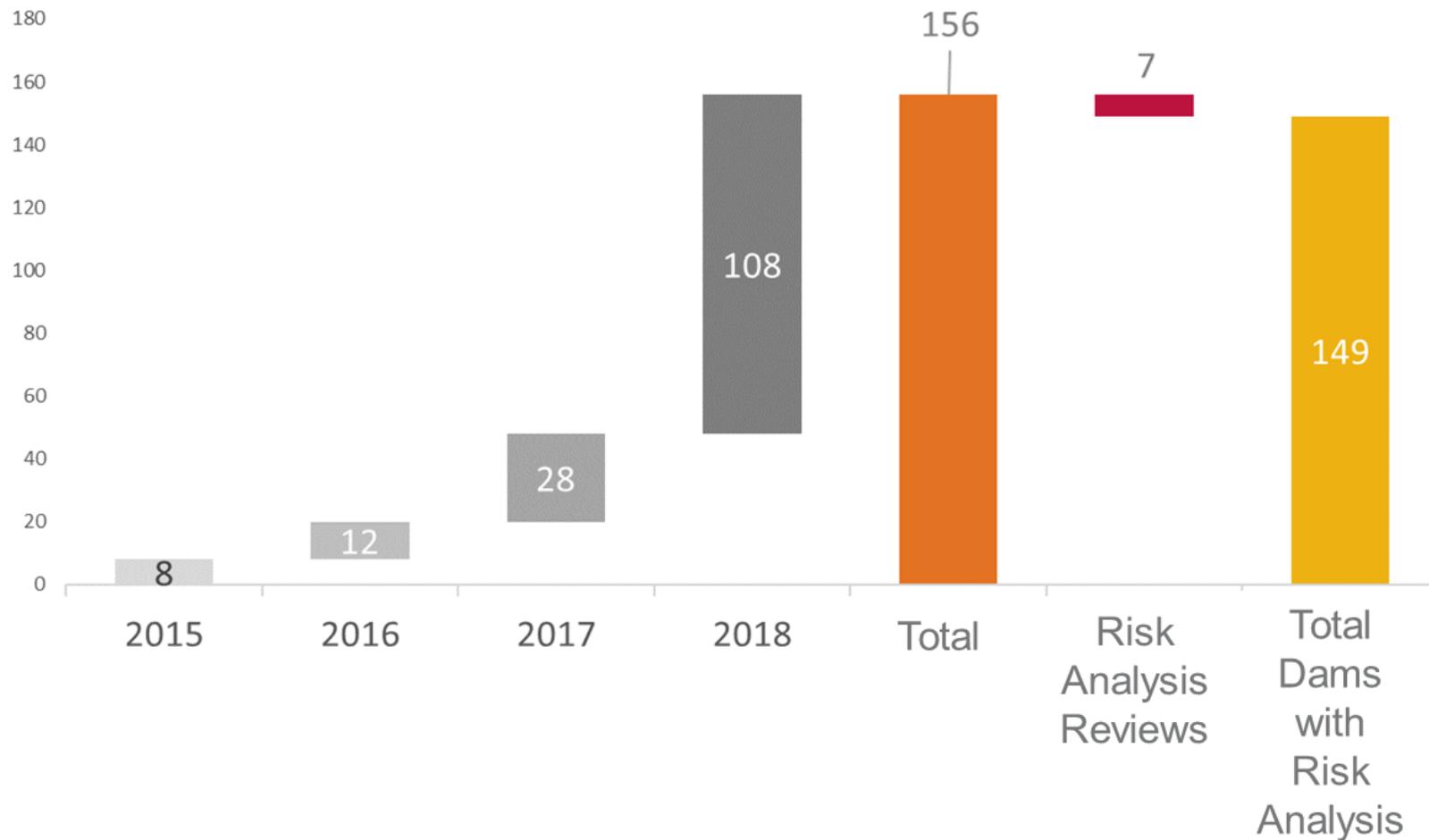
Product of probability and consequence

Stage 7:
Risk Evaluation

Development of Tolerability curves and basis for Risk Informed Decisions

Risk Analysis – Evolution – Status

Risk Analysis - GRG

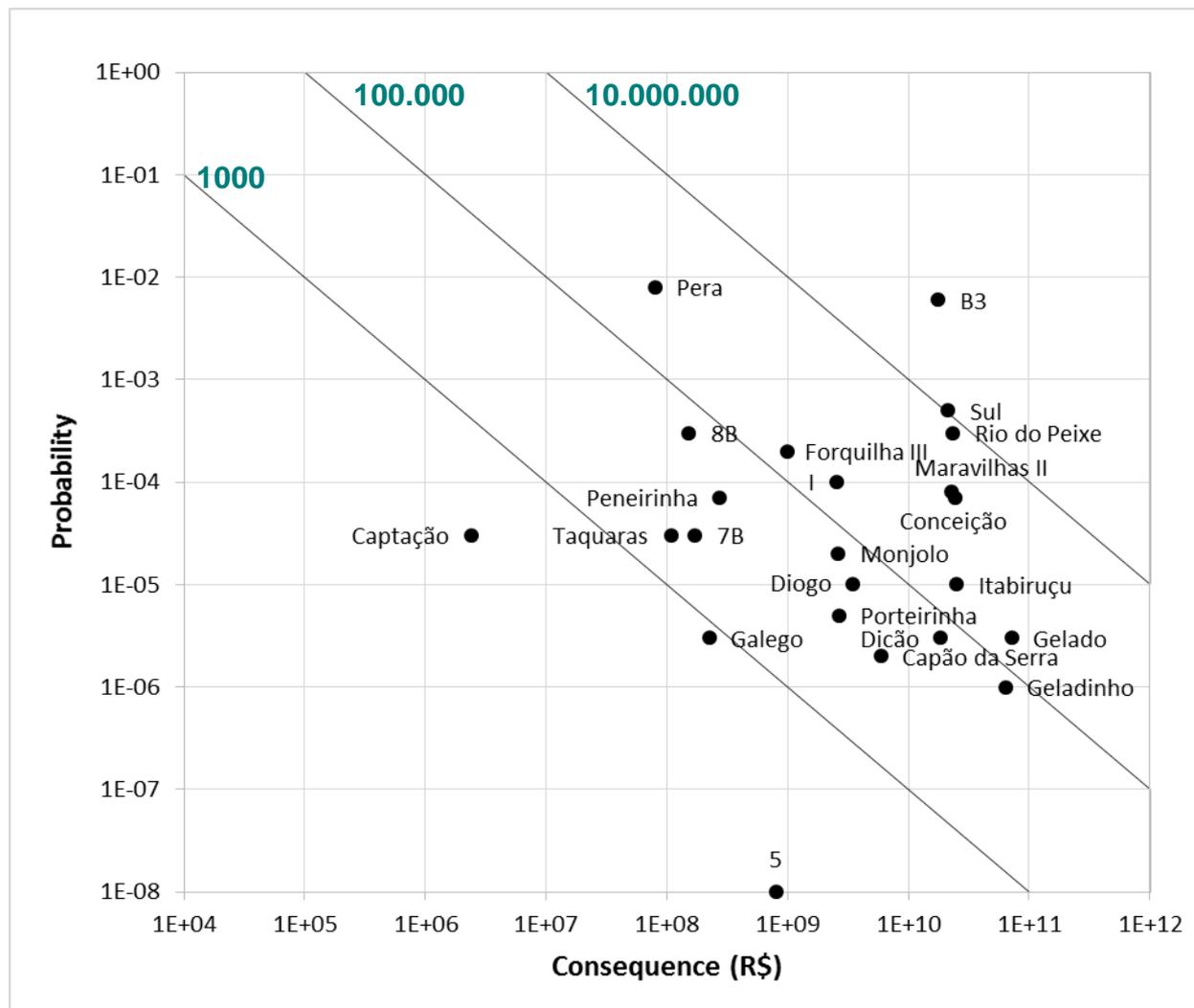




Results Overview

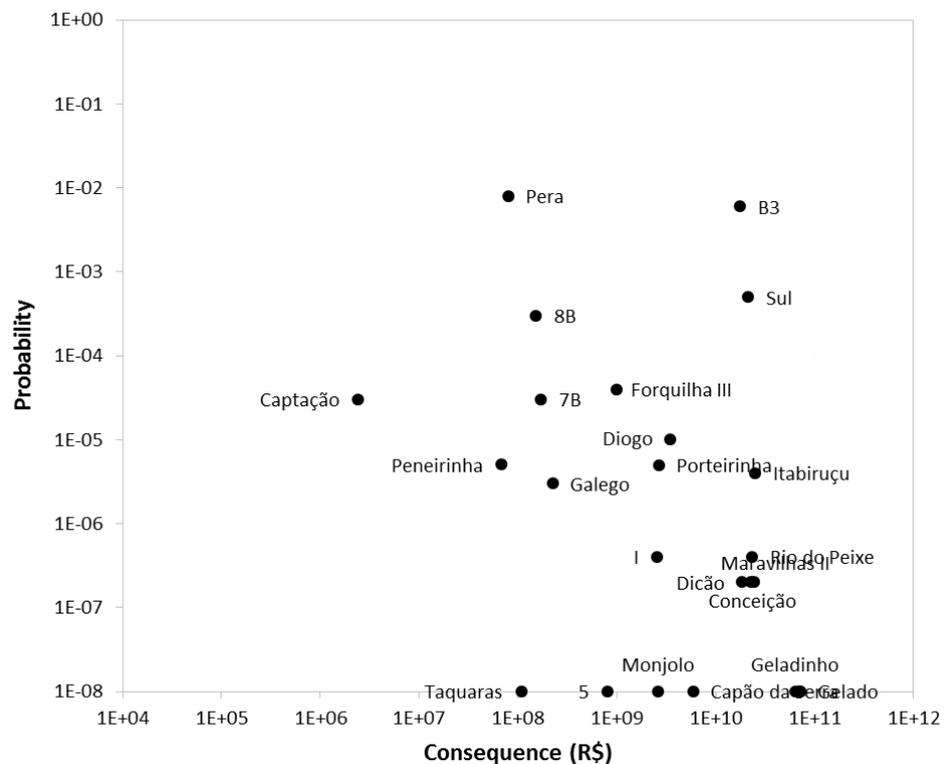
Results Overview

Note: The graph represents the highest risk per dam.

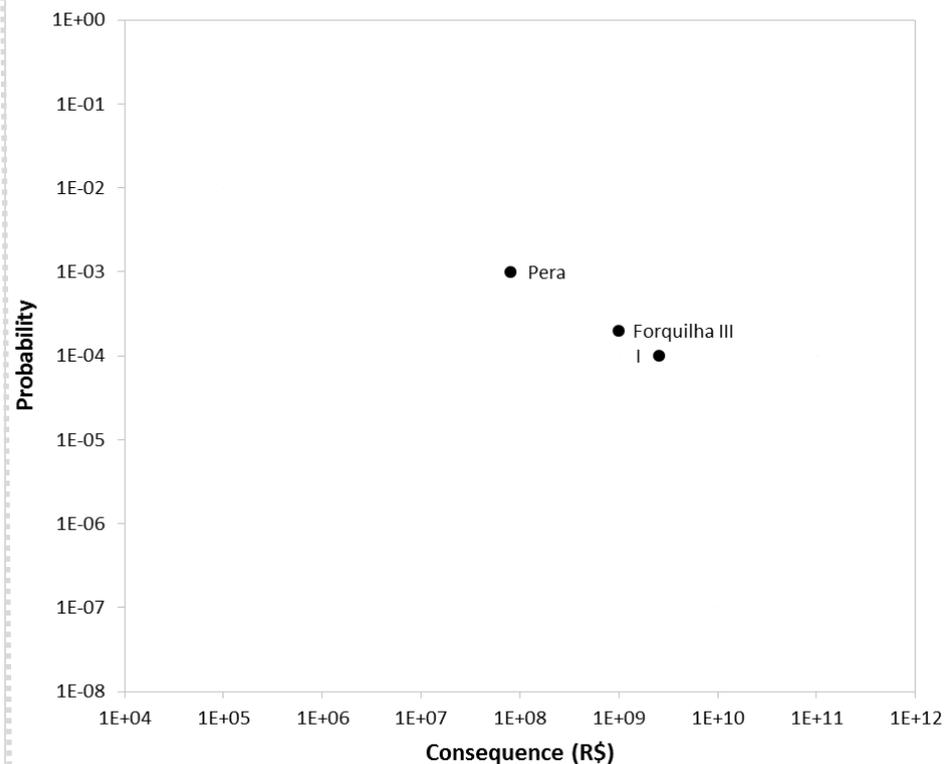


Results Overview

Instabilization

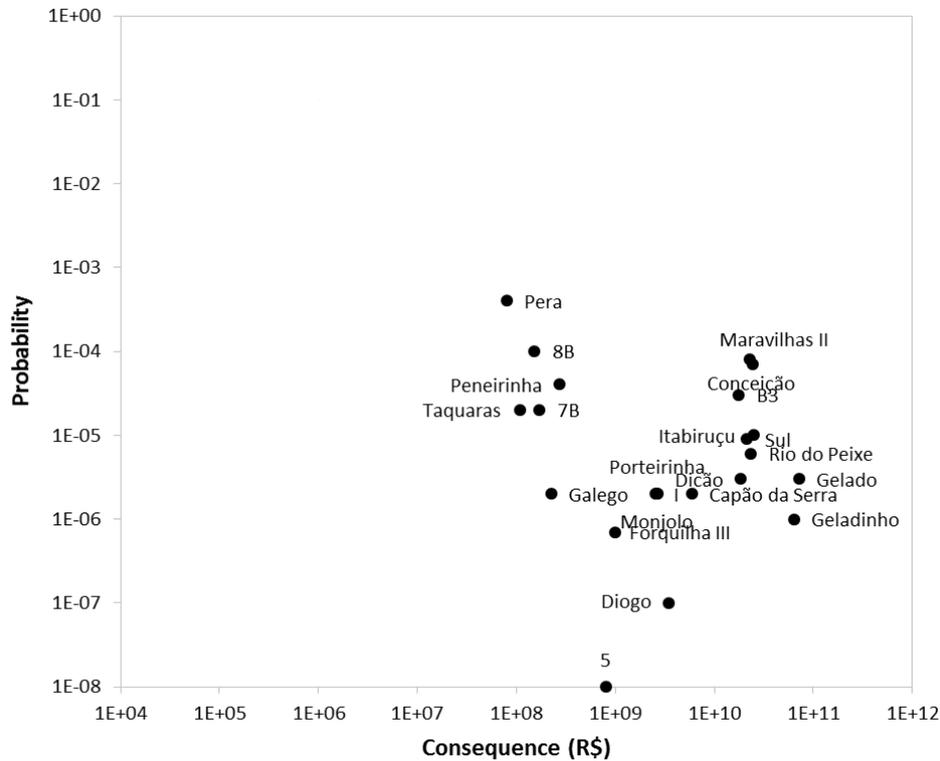


Liquefaction

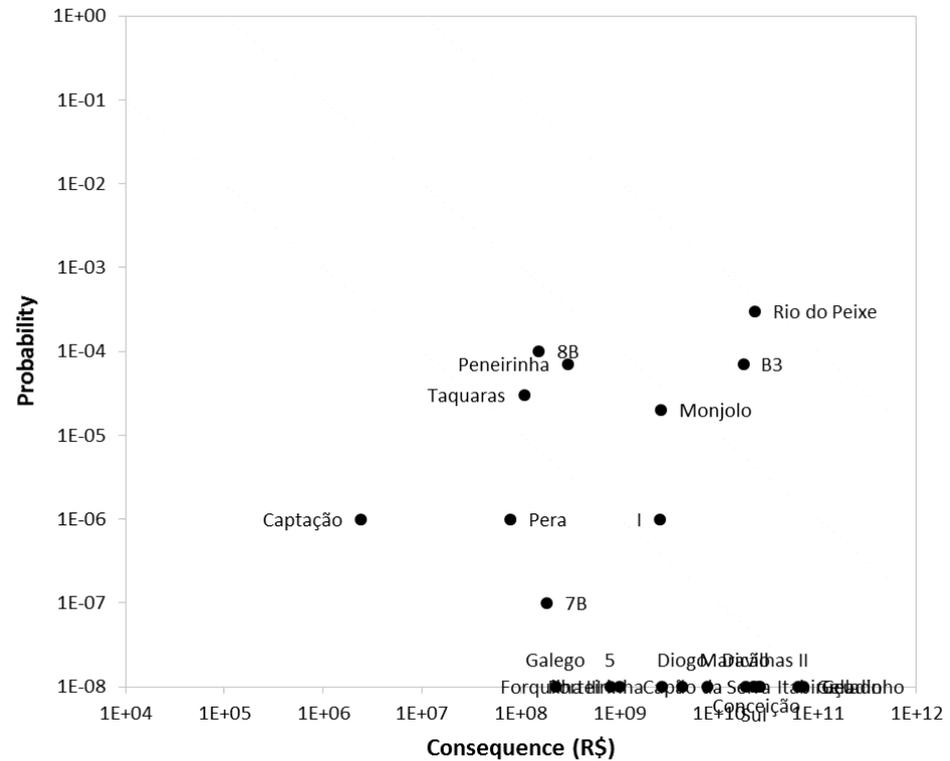


Results Overview

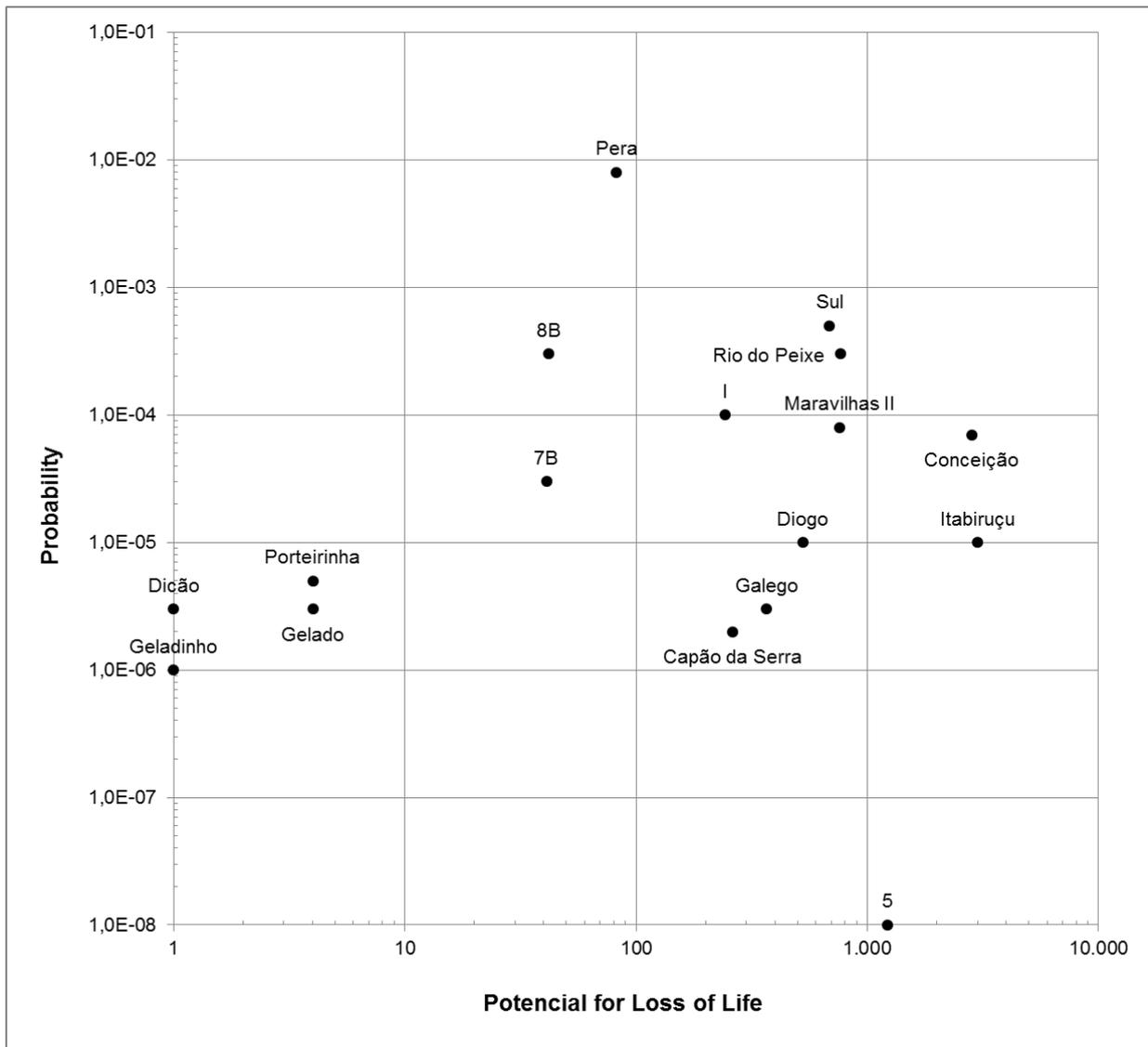
Internal Erosion



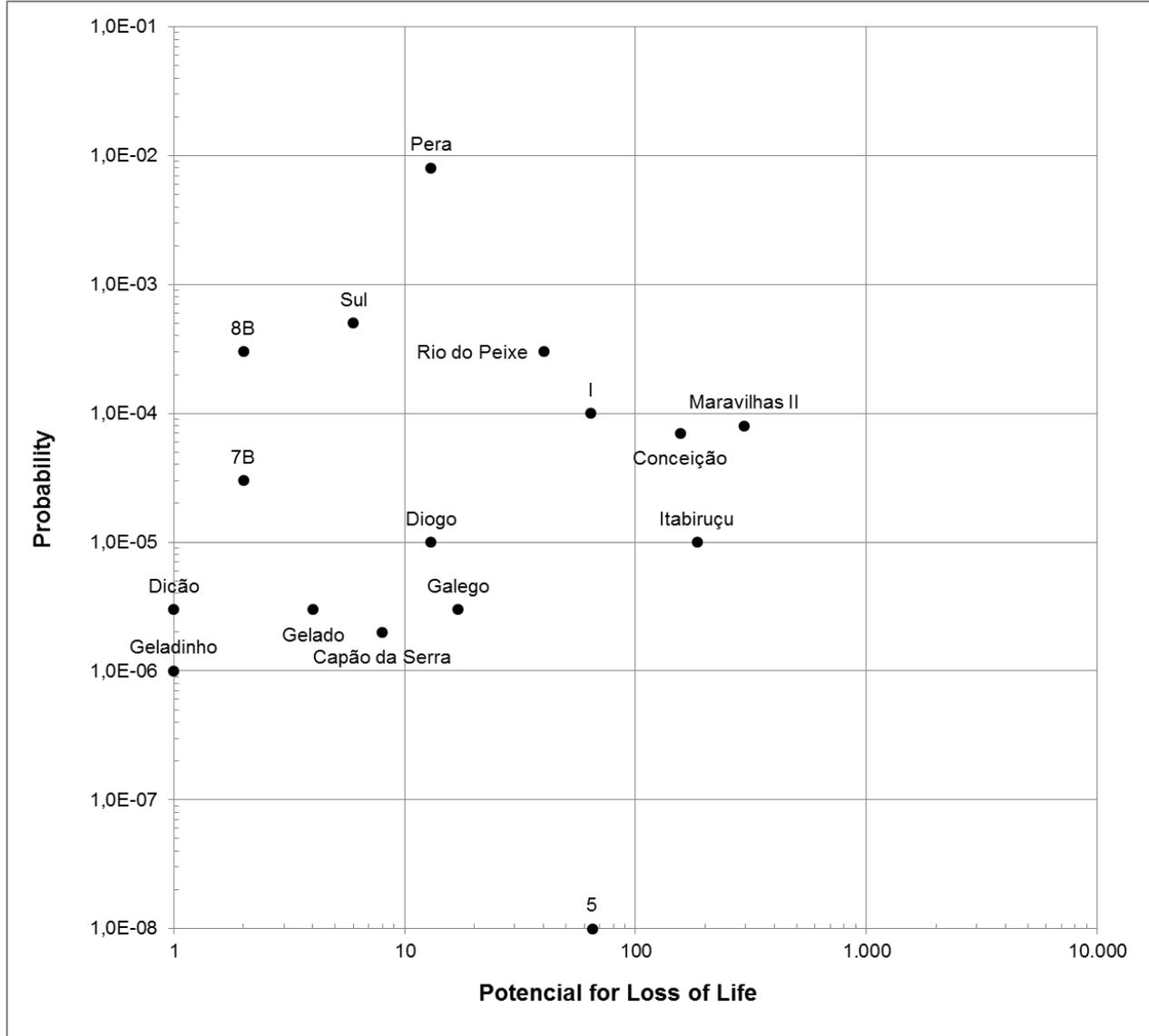
Overtopping



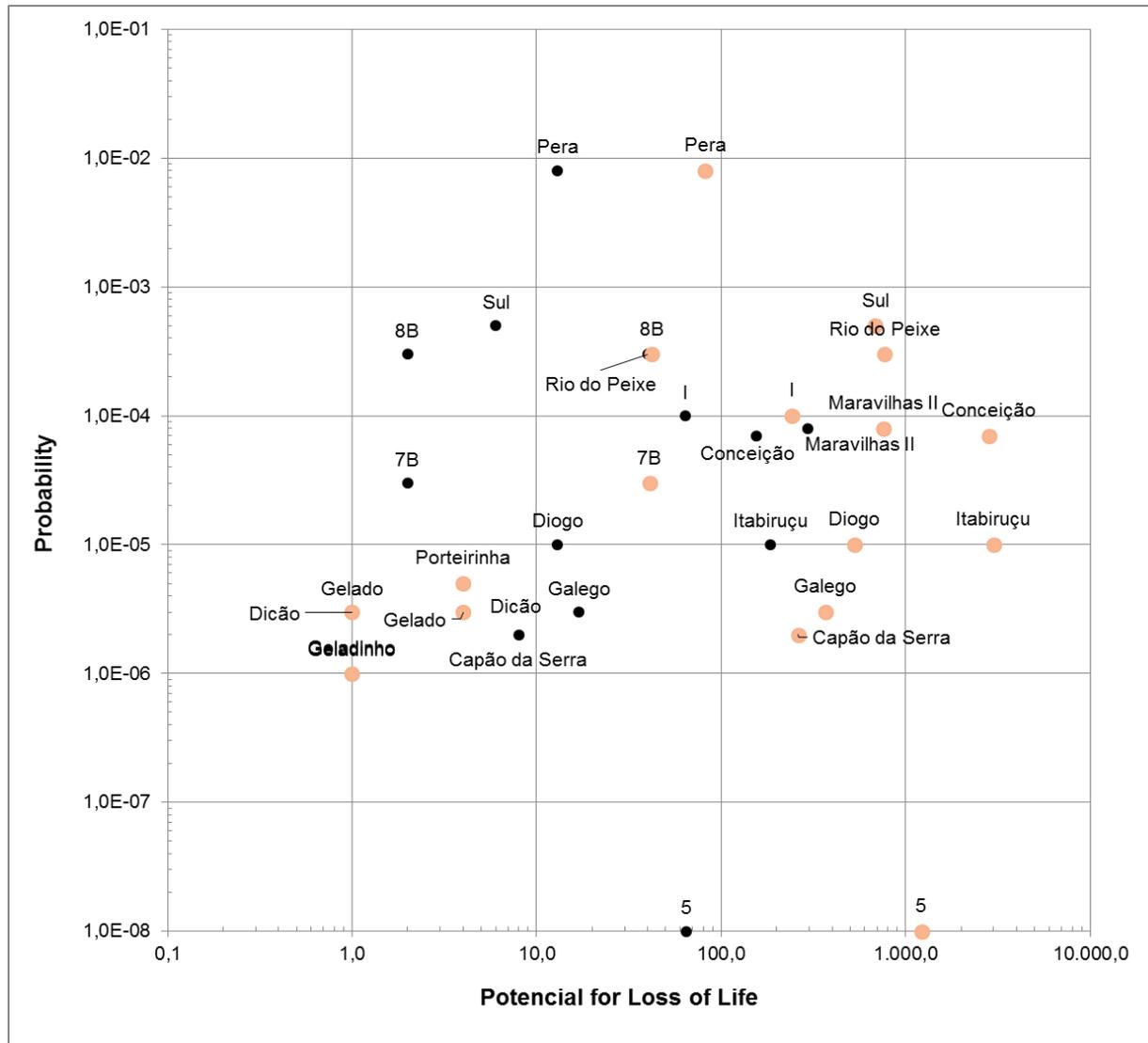
Results Overview – Life Loss – Without Alert



Results Overview – Life Loss – With Alert - Sirens



Results Overview – Life Loss - HEC-FIA



- Without Sirens
- With Sirens - 4h before failure

Risk Evaluation Tolerability Curves

Tolerance – International Criterias

CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA)

*“The individual risk should be considered in terms of the ‘maximally exposed individual’ that is permanently resident downstream of the dam. Typically the maximally exposed individual is exposed to the hazard significantly more than 50% of the time. The maximum level of individual risk should generally be less than **10⁻⁴/year**.*

ANCOLD – (AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS)

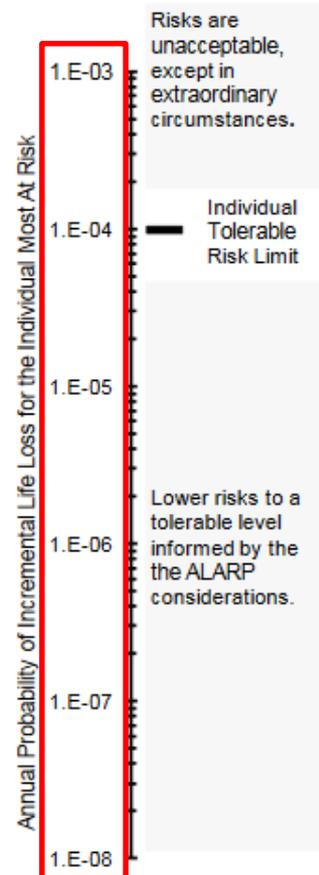
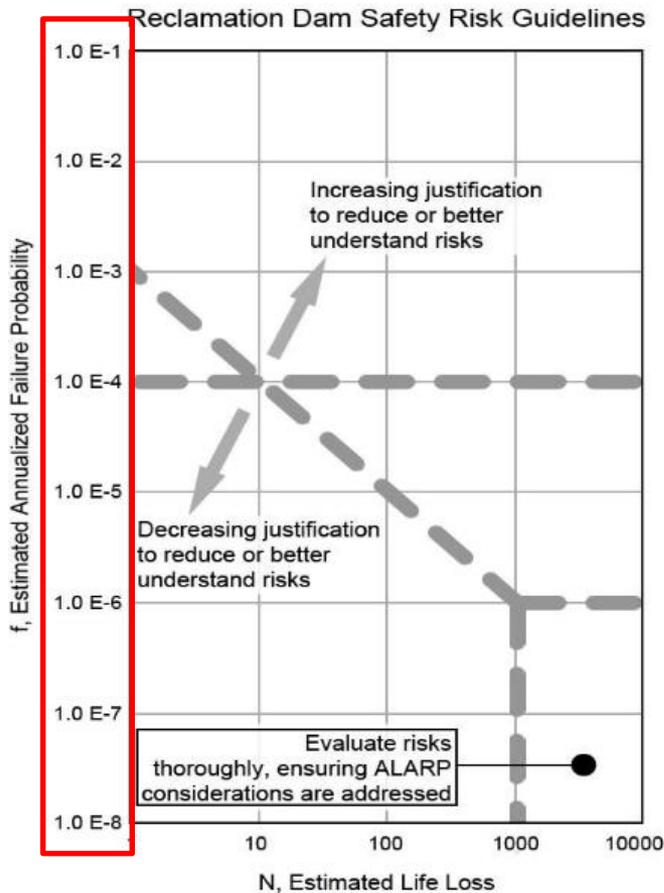
*“For existing dams, an individual risk to the person or group, which is most at risk, that is higher than **10⁻⁴ per annum** is unacceptable, except in exceptional circumstances.”*

USACE - U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS

*“For existing dams, the individual risk to the identifiable person or group by location, that is most at risk, should be less than a limit value of **1 in 10,000 per year**, except in exceptional circumstances.”*

Tolerability Curves - Examples

USBR



USACE

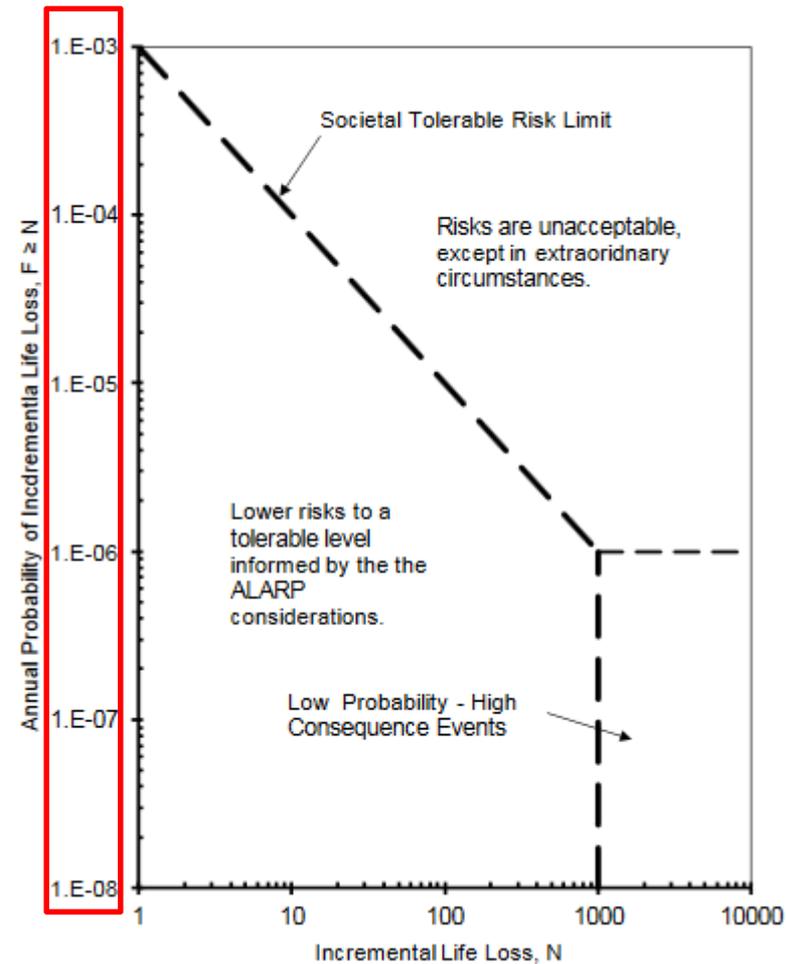
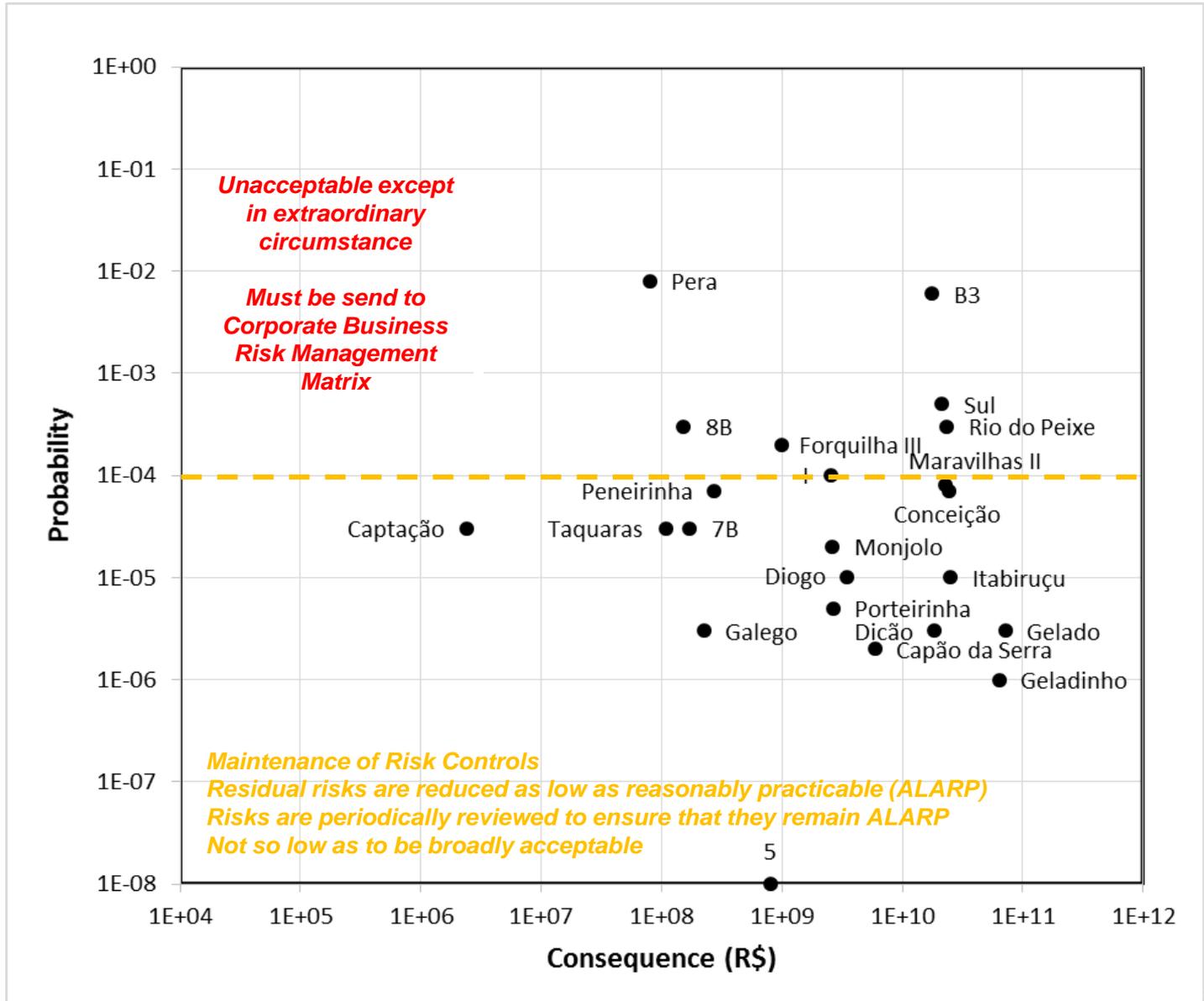
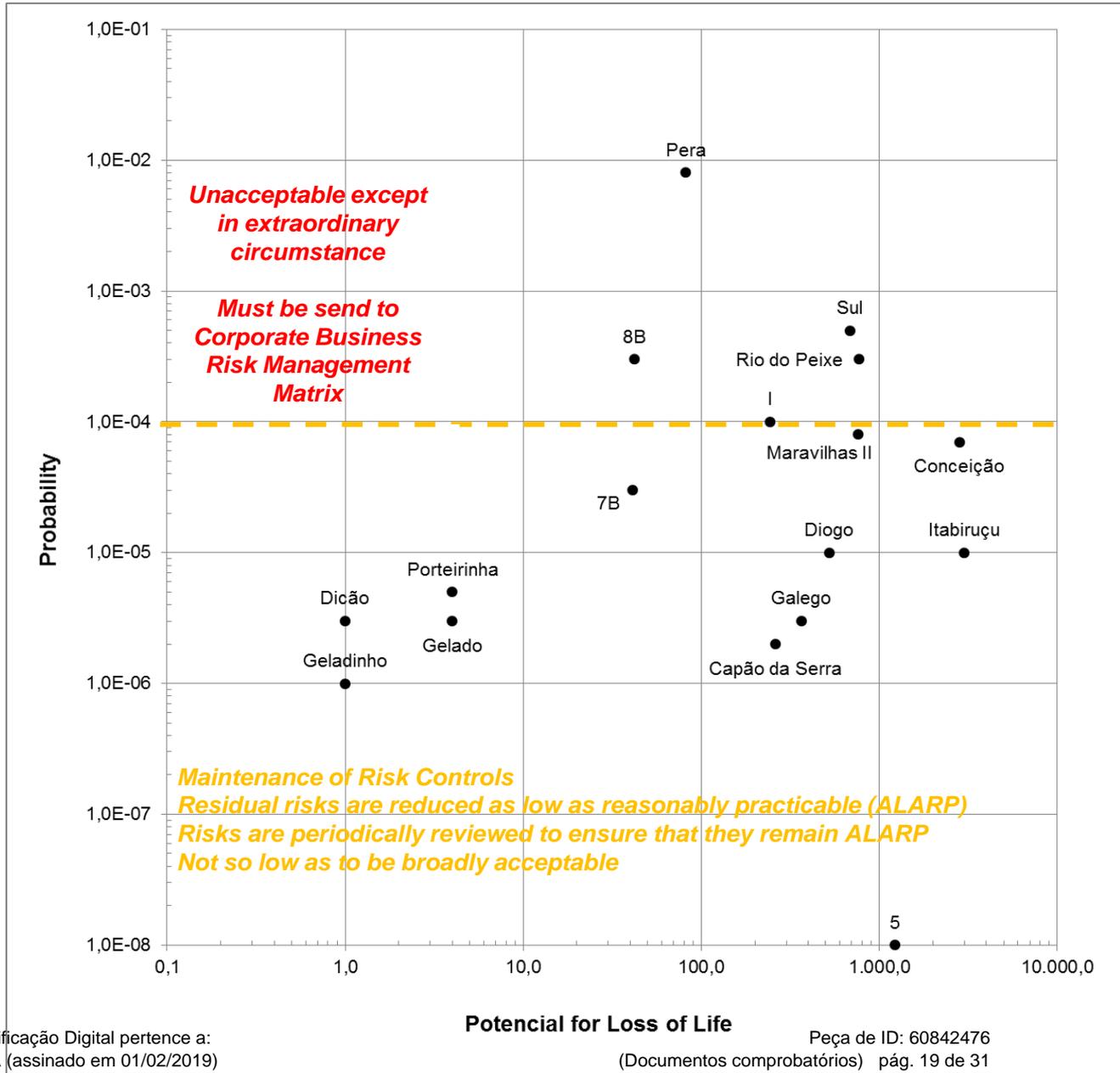


Figure 7. Reclamation's Dam Safety Public Protection Guidelines [9]

Tolerability Curve – First Stage – Reaching Maturity



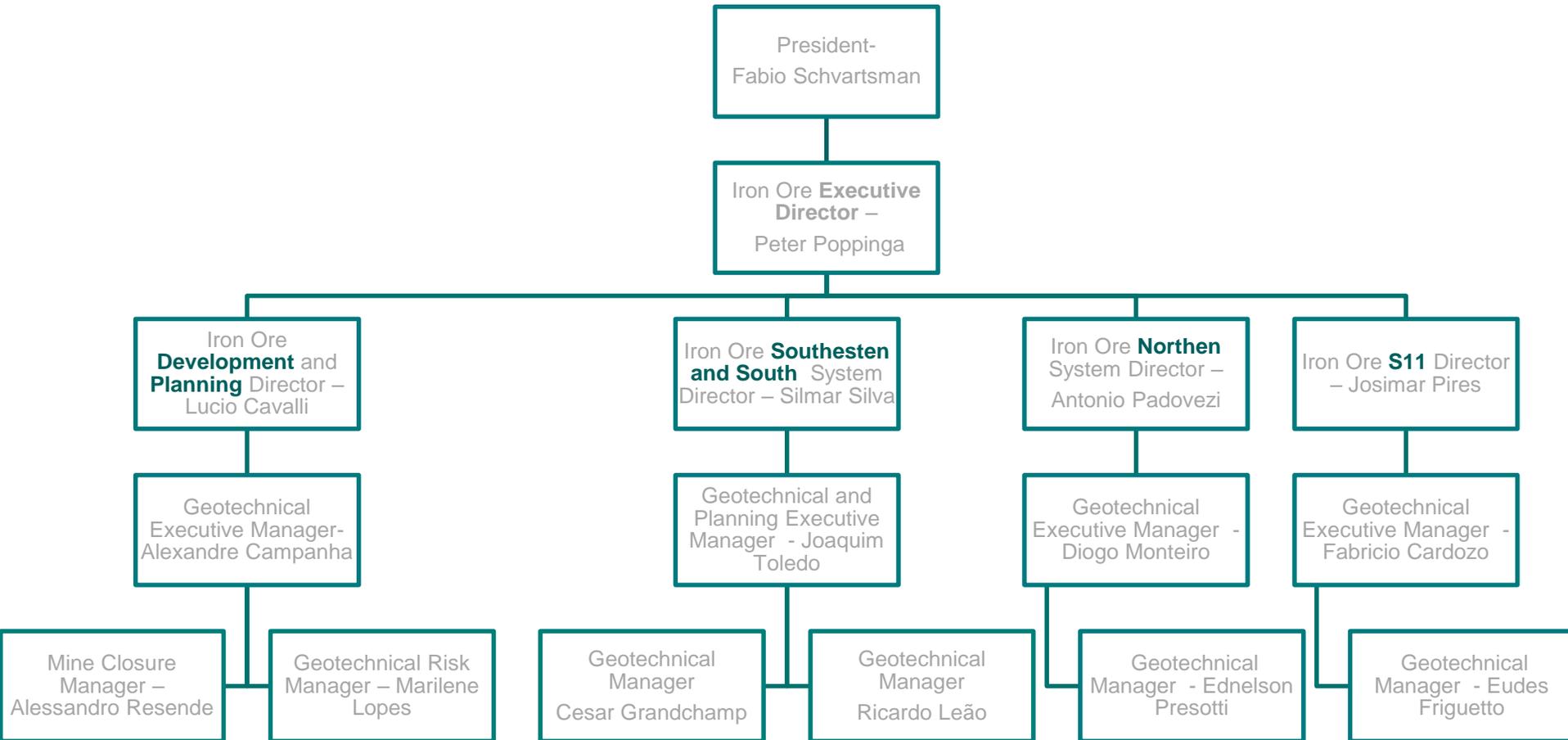
Tolerability Curve – First Stage – Reaching Maturity



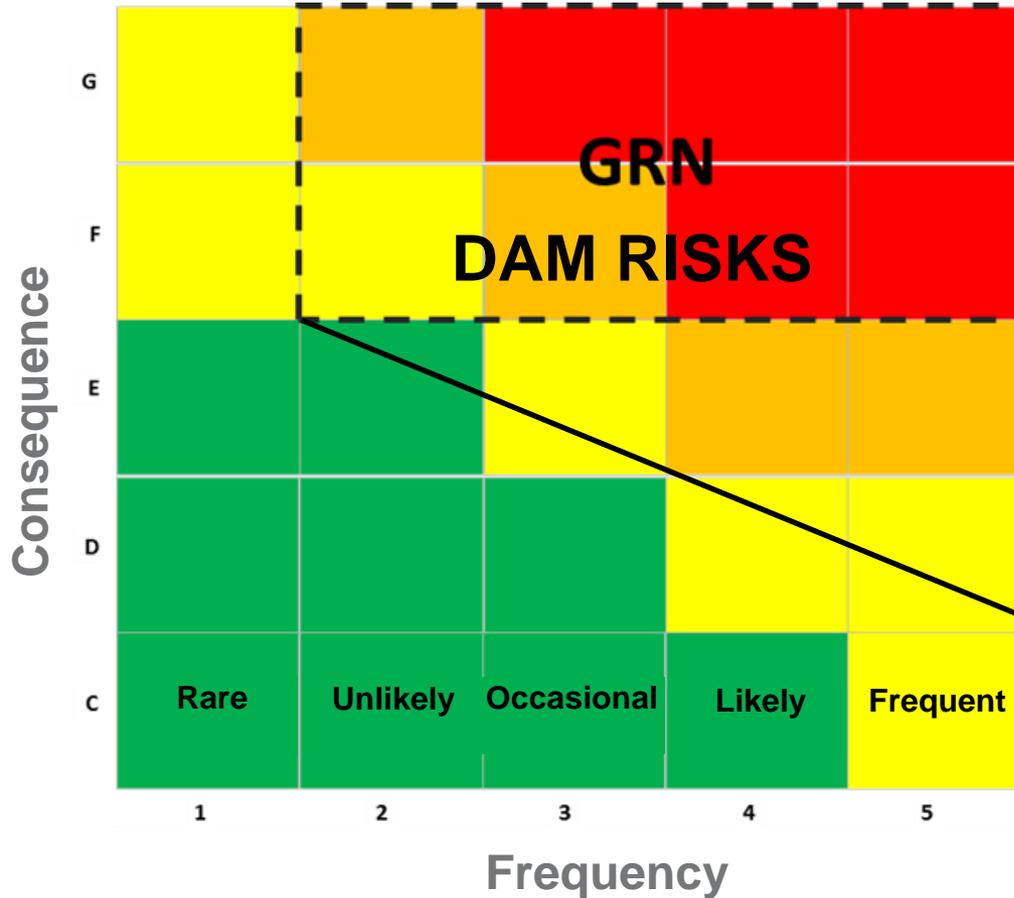
Tolerability Curve – First Stage – Risk Diligences

- **Dique da Pera:** Decharacterization work completed in October / 17. Structure excluded from the SIGBM and requested exclusion in the BDA of the FEAM. **Concluded**
- **Dam B3 (Brucutu) and Sul Dam:** There was an uncertainty regarding the parameters used in the stability analysis. For this reason, tests were carried out to better characterize the resistance of the material (finalized in October / 17) for later revision of the probabilities of rupture to the instabilization failure mode. **(April / 2018)**
- **Rio do Peixe Dam:** Review of hydrological studies due to dredging in the reservoir. **December / 17.**
- **8B:** There is an uncertainty regarding the parameters for stability analysis. For this reason new tests were carried out and the review of the risk analysis is under way. Deadline: **December / 17**
- **Forquilha III and I Dam (Córrego do Feijão)** The probability of failure identified was associated with the length of the beach. Thus, beach length maintenance and the reduction of the volume of water stored in the reservoirs were performed to reduce the probabilities of failure. These actions will be continuous. Risk analysis is under review. Deadline: **December / 17**

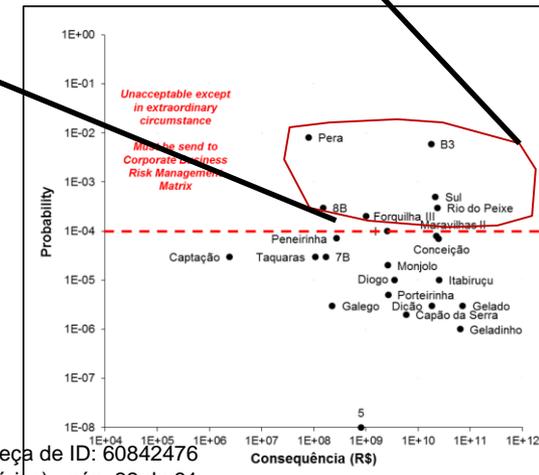
Geotechnical Organizational Chart



Corporate and Business Risk (GRN) and GRG Integration



| | |
|------------|----------------------------|
| Rare | $P < 10^{-4}$ |
| Unlikely | $10^{-4} \leq P < 10^{-3}$ |
| Occasional | $10^{-3} \leq P < 10^{-2}$ |
| Likely | $10^{-2} \leq P < 10^{-1}$ |
| Frequent | $P \geq 10^{-1}$ |

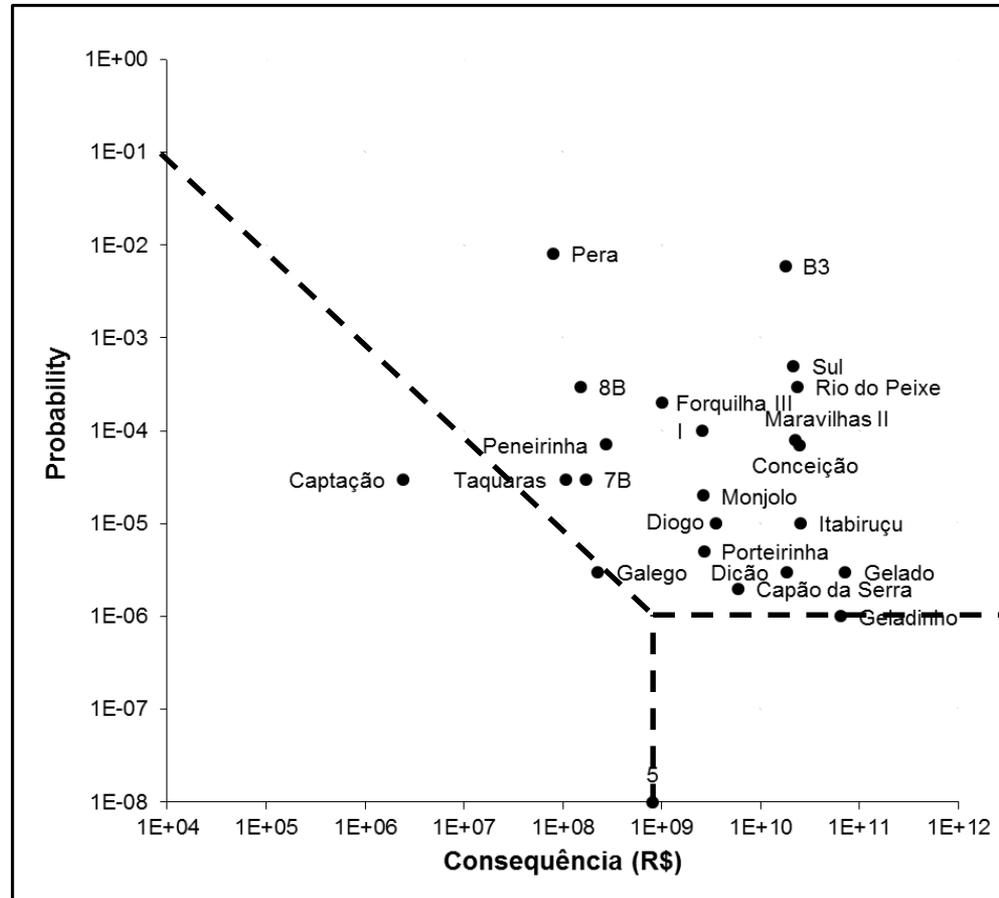


Corporate and Business Risk (GRN) and GRG Integration

| Level | Effects to Health (Occupational Health) | Safety | Environment | Reputation | Social & Human Rights | Financial Impact |
|----------|--|---|---|---|--|--------------------|
| F | Life-threatening or disabling diseases, in a group of more than 5 people at risk. | Incident resulting in multiple fatalities, in a group of more than 5 people at risk. | Significant environmental impact, reaching the outer limits of the enterprise, affecting anthropized and/or natural areas, possible to control by adopting containment actions, cleanliness, and operational adequacy, which needs more than 3 years to remediate the area. | International media/NGO condemnation; Single license to operate revoked; Significant impact on share price/credit rating; Adverse reactions from strategic political authorities (local, regional and national). Attention to labor union and social networks reactions and possible employee's strike (turn of). National and international repercussion in the organizational environment. | Limited impact (a person or a family), affecting physical integrity. | > US\$ 100.000.000 |
| G | Life-threatening or disabling diseases, in a group of more than 20 people at risk. | Incident resulting in multiple fatalities, in a group of more than 20 people at risk. | Significant environmental impact, reaching the outer limits of the enterprise, affecting anthropized and/or natural areas, possible to control by adopting containment actions, cleanliness, and operational adequacy, which needs more than 6 years to remediate the area. | Prolonged international media/NGO condemnation; Multiple licenses to operate revoked; Products boycotts; Mass demonstrations; Adverse reactions from strategic political authorities (local, regional and national); Financial viability imperiled; Catastrophic impact on share price/credit rating. Attention to labor union and social networks reactions and possible employee's strike (turn of). National and international repercussion in the organizational environment. | Local (neighborhood, community) or regional (one or more municipalities) impact, affecting physical integrity. | > US\$ 1 billion |

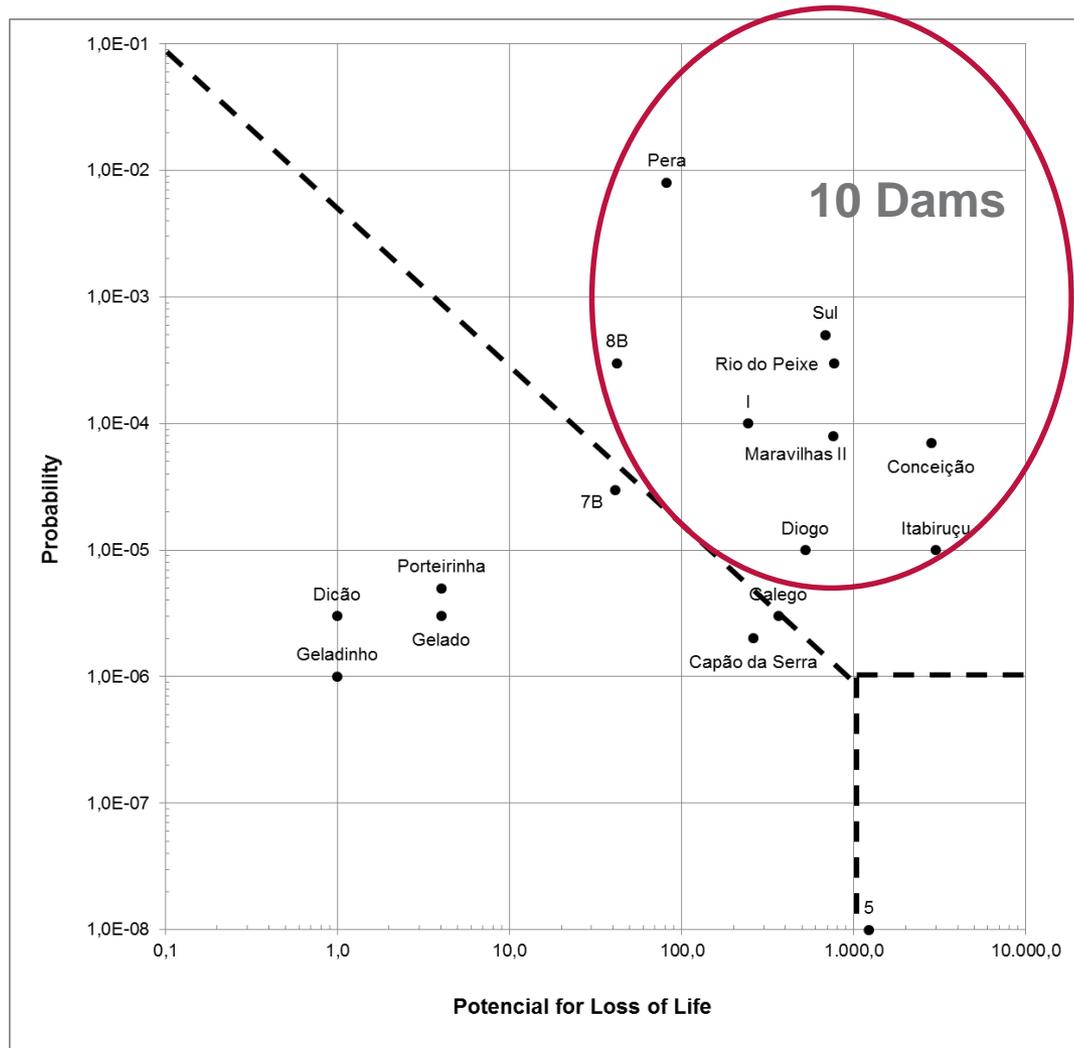
Tolerability Curve – Second Stage

To be defined. Difficult to apply in the short term



Tolerability Curve – Second Stage

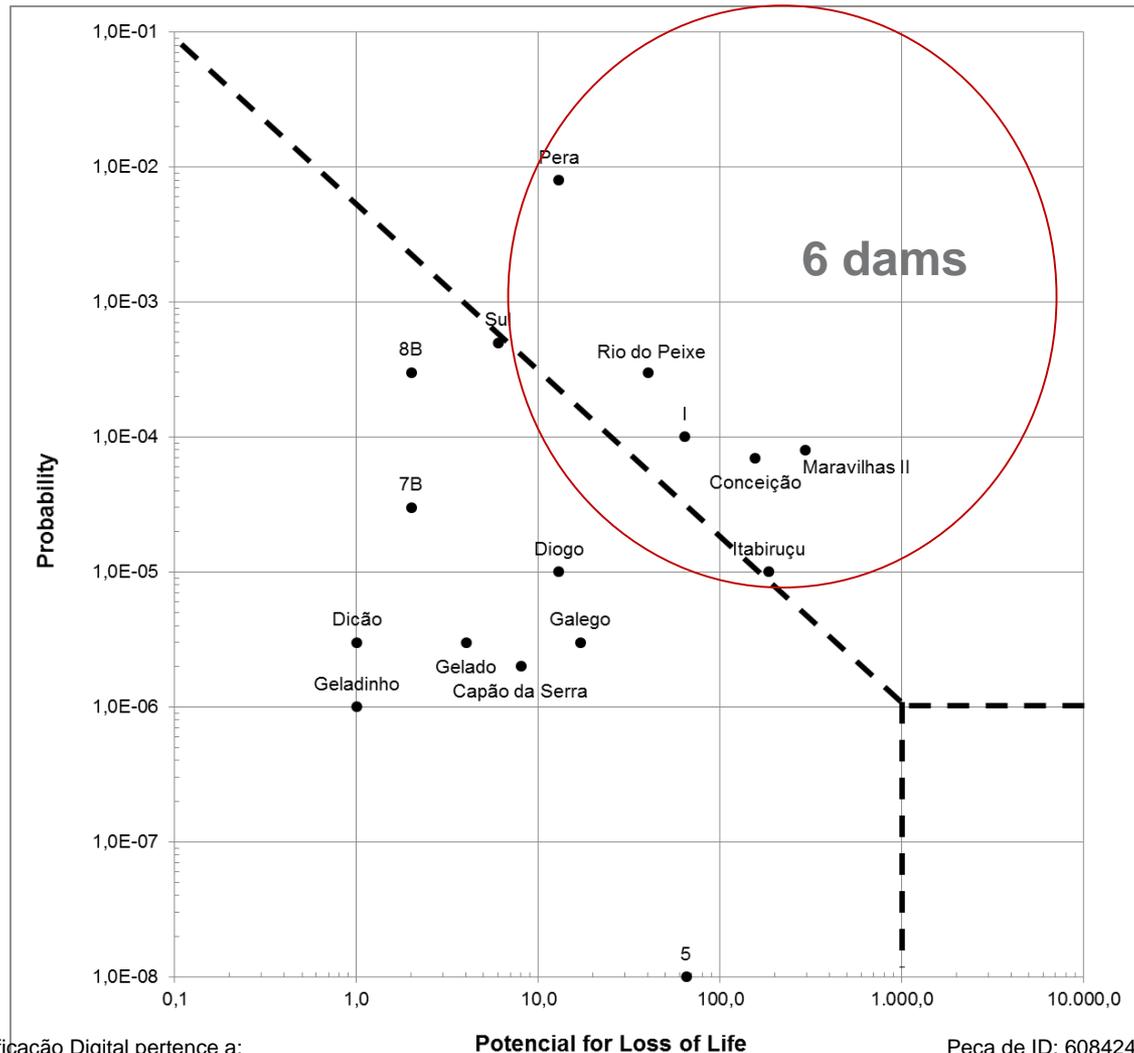
To be defined. Difficult to apply in the short term



Without Sirens

Tolerability Curve – Second Stage

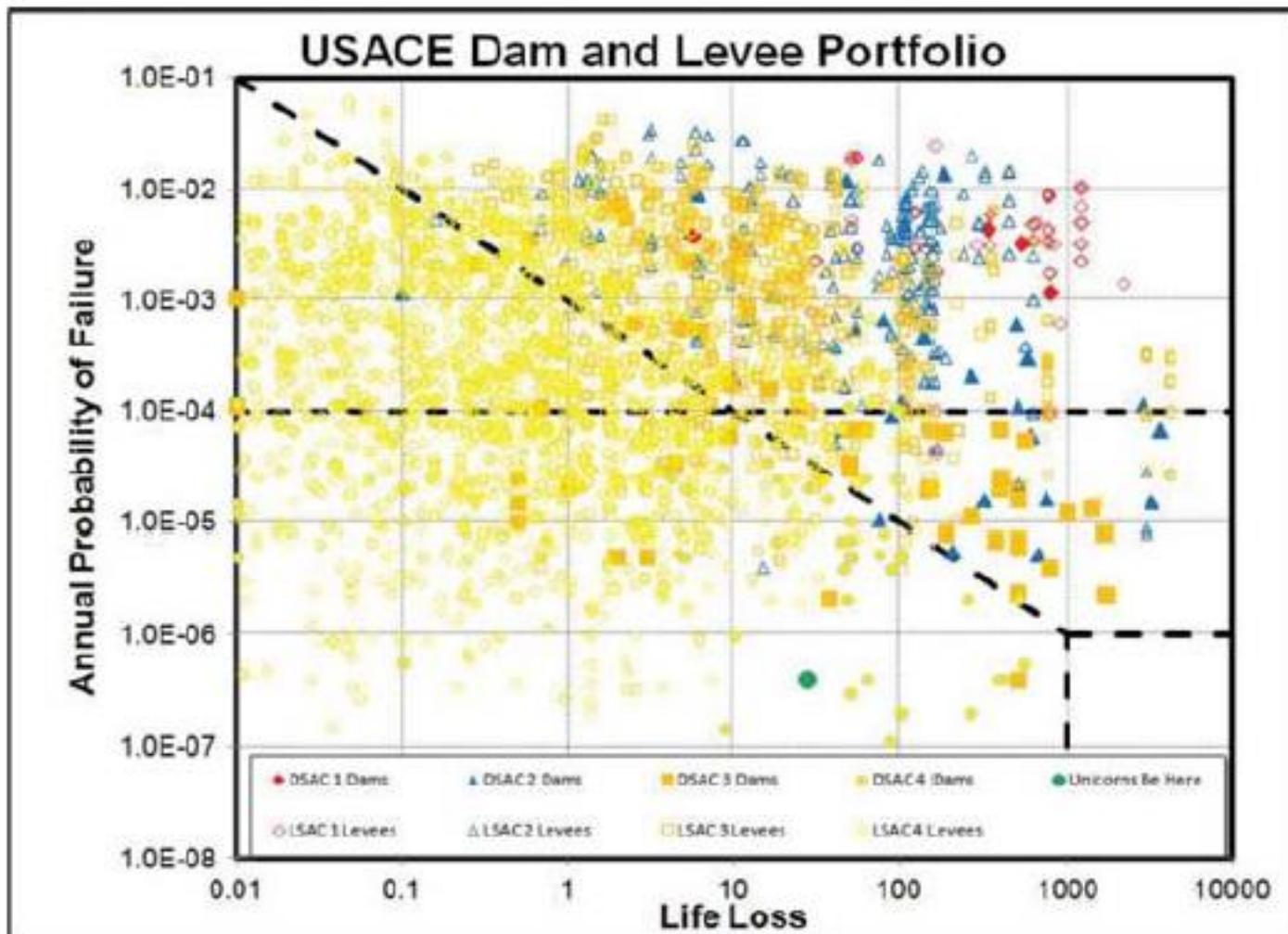
To be defined. Difficult to apply in the short term



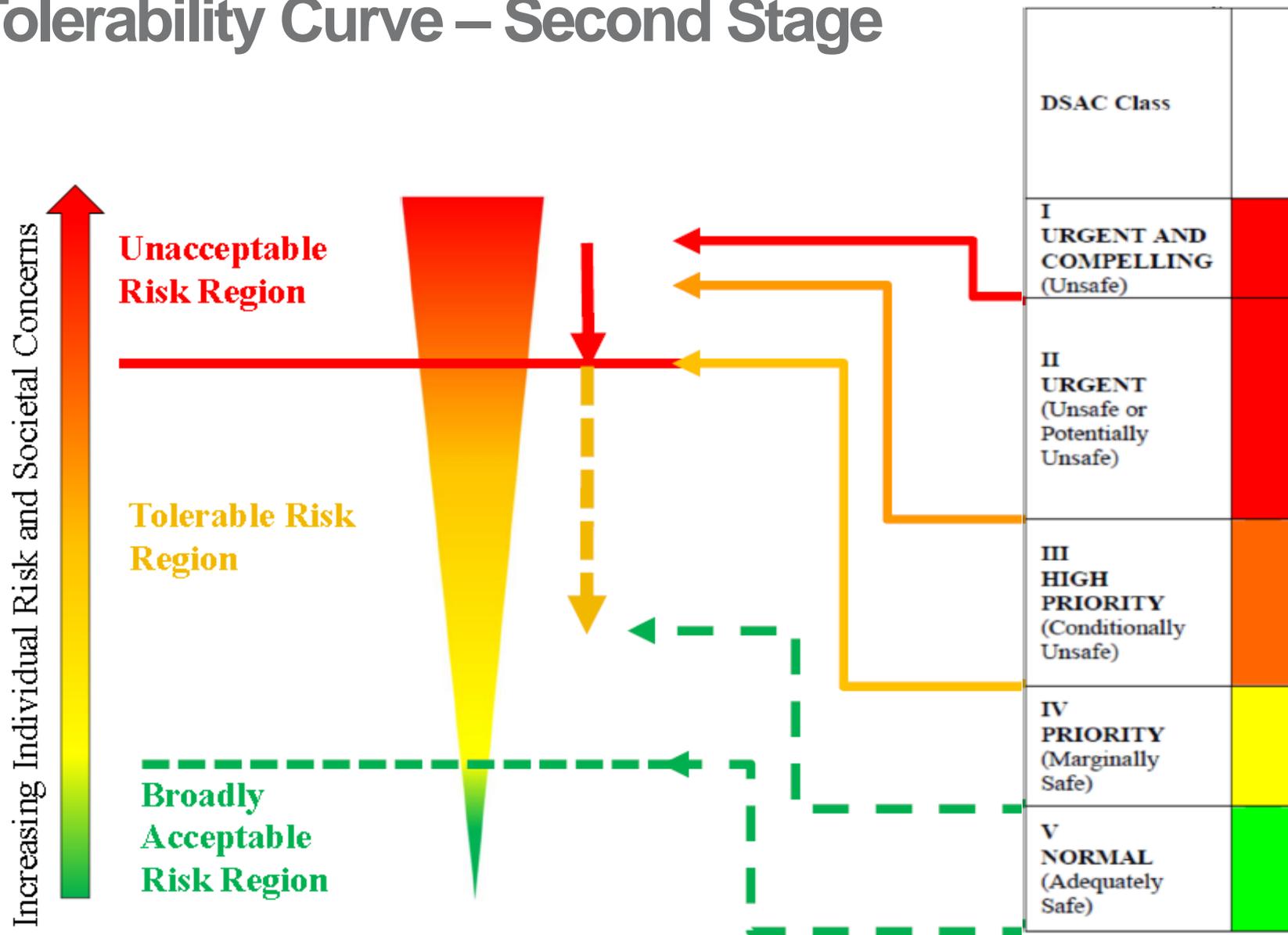
With Sirens

Tolerability Curve – Second Stage

Difficult?



Tolerability Curve – Second Stage





Conclusions

Conclusions

- The definition of a tolerability limit for risks associated with dams is fundamental for the risk communication and implementation of the GRG in VALE
- Only performing risk analysis does not guarantee the safety of our structures. It is important to have an Integrated Risk Management System associated with a Risk Governance for the Risk Treatment and Diligences.
- It was decided to define stages of maturity and evolution of tolerability levels
- Initially, VALE will start defining tolerability as the maximum level of individual risk should be less than 10^{-4} /year. According to some international criteria (eg. CDA)
- With this limit, for example, VALE will not tolerate spillway design flood less than 10,000-year.
- All risks with probabilities higher than 10^{-4} /year are now included in VALE's Business Risk Matrix and presented to the board of directors, CEO and Administrative Council.
- Subsequently, after the gain of maturity in Risk Management culture in VALE, a new tolerability limit will be defined considering societal limits (using both





NOTA TÉCNICA

IDENTIFICAÇÃO

SGDP: 2645592
SISCEAT 26411009
Ofício: e-mail
Solicitante: Marcos Paulo de Souza Miranda
Assunto: IC MPMG-0188.14.000311-5
Município: Belo Horizonte

APRESENTAÇÃO

Este Estudo Técnico visa atender à solicitação enviada pelo Promotor de Justiça Marcos Paulo de Souza Miranda, com a finalidade de apontar os riscos causados pela implantação de barragens de rejeitos de mineração pela técnica de alteamento a montante e a existência de alternativas tecnológicas ambientalmente melhores e mais seguras para disposição de rejeitos minerários.

O trabalho foi dividido de acordo com o sumário a seguir:

1. DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

1.1 HISTÓRICO DA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NO BRASIL

1.2 TIPOS DE BARRAGENS UTILIZADAS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

2. RISCOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS DE REJEITOS

2.1 EVOLUÇÃO DOS RISCOS ASSOCIADOS À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS EM BARRAGENS

2.2 FATORES DE RISCOS ASSOCIADOS À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS EM BARRAGENS

2.3 FATORES DE RISCOS ASSOCIADOS À DISPOSIÇÃO EM BARRAGENS ALTEADAS POR MONTANTE

3. MELHORES TÉCNICAS DISPONÍVEIS – MDT

3.1 TECNOLOGIAS COM DESAGUAMENTO

3.2 TECNOLOGIAS CONSIDERANDO A RECICLAGEM DE REJEITOS

4. ALGUNS DISPOSITIVOS QUE REGULAMENTAM/ ORIENTAM A DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

4.1 NO BRASIL

4.2 INTERNACIONAIS

5. CONCLUSÃO

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

1.1 HISTÓRICO DA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NO BRASIL

As atividades de mineração tiveram seu início no Brasil, em épocas que remontam cerca de 300 anos atrás.

Em linhas gerais, pode-se dizer que em uma mineração são obtidos o **minério lavrado**, a partir do qual se obtém o produto final, **o rejeito**, e **os estéreis** – que são solos ou rochas não mineralizados ou com mineralização não econômica.

Os rejeitos são consequências inevitáveis dos processos de tratamento a que são submetidos os minérios, sendo gerados paralelamente ao produto de interesse.

No início, a geração de rejeitos pelas empresas de mineração e os impactos decorrentes de sua disposição no meio ambiente eram considerados desprezíveis. No entanto, com a introdução da força a vapor e com o aumento significativo da capacidade de processamento dos minerais de interesse econômico, a geração de rejeitos aumentou significativamente.

Assim, apareceu a necessidade de remover os rejeitos da área de produção e encaminhá-los para algum local conveniente (geralmente próximo aos rios ou cursos d'água).

A partir do século XVIII, não só o volume de minério extraído aumentou, como também o desenvolvimento tecnológico permitiu beneficiar corpos com teor mineral mais baixo, resultando na produção ainda maior de rejeitos.

A Mina de Passagem tem uma importância relevante na história do desenvolvimento da atividade mineira no país, tendo iniciado suas atividades antes até da corrida do ouro no oeste americano. Recebeu esse nome por estar localizada na Vila de Passagem, lugar da passagem da estrada entre Ouro Preto e Mariana sobre o Ribeirão do Carmo, a sudeste de Belo Horizonte.

O ouro foi descoberto na região no início do século XVIII e sua exploração foi iniciada em 1729.

Entre 1729 a 1819, vários mineiros obtiveram concessões para explorar a propriedade mineral de Passagem, até que em 1819 ela foi adquirida, junto com algumas concessões vizinhas, pelo Barão de Eschwege, que criou a primeira companhia mineradora do País de capital privado, com o nome de Sociedade Mineralógica da Passagem.

Até então, a exploração do ouro utilizava técnicas e ferramentas rudimentares para lavagem e beneficiamento do minério. Eschwege aplicou técnicas modernas para a época, instalou um engenho com nove pilões e moinhos para pedras, elaborou o primeiro plano de lavra subterrânea em Passagem e deu início a uma profunda galeria para esgotamento de água (avanços tecnológicos que não haviam sido usados no Brasil antes).

Apesar do aumento considerável de rejeitos produzidos, as práticas de disposição desses rejeitos permaneceram inalteradas e, como resultado, mais rejeitos estavam

sendo depositados e transportados para distâncias cada vez maiores das fontes geradoras para os cursos d'água, lagos e oceanos.

No início do século XX, os pequenos distritos minerários começaram a se desenvolver, atraindo indústrias de apoio e desenvolvendo a comunidade local. Com essas aglomerações, vieram também os conflitos pelo uso da terra e da água, particularmente por interesses agrícolas. Os rejeitos frequentemente acumulados no solo obstruíam os poços de irrigação, além de contaminar as áreas a jusante. Com o tempo, os produtores rurais começaram a associar a diminuição da colheita com as os rejeitos dispostos nas áreas próximas.

Os conflitos relacionados ao uso da terra e da água também surgiram em outros países, abrindo o caminho para elaboração das primeiras legislações sobre o gerenciamento de resíduos da mineração. Precedentes legais gradativamente trouxeram um fim à aceitação da disposição sem controle de rejeitos na maioria dos países ocidentais, tendo como marco o final da década de 20 e início dos anos 30.

Foi a partir da década de 30, que as indústrias investiram na construção das primeiras barragens de contenção de rejeitos para a mitigação dos impactos ambientais.

As primeiras barragens eram projetadas transversalmente aos cursos d'água, não considerando fatores importantes como as inundações. Consequentemente, quando fortes chuvas ocorriam, poucas destas barragens permaneciam estáveis. Equipamentos para movimentação de terras não eram acessíveis para a construção das barragens e raramente existiam engenheiros ou critérios técnicos envolvidos na fase de construção e operação. Um pequeno dique era inicialmente preenchido com rejeitos hidráulicamente depositados e depois incrementado por pequenas bermas.

A partir da década de 40, a disponibilidade de equipamentos de alta capacidade para movimentação de terras, especialmente em minas a céu aberto, tornou possível a construção de barragens de contenção de rejeitos com técnicas de compactação, de maneira similar às barragens convencionais, aumentando a segurança em algumas minas. Mesmo assim, a construção de barragens com rejeitos hidráulicamente depositados continuou sendo utilizada.

Uma das primeiras barragens de vulto construída para armazenamento de rejeitos foi em Nova Lima, na antiga Mineração Morro Velho (hoje, AngloGold Ashanti). A barragem existe desde a década de 1940, na região do vale do Queiroz. Inicialmente, tratava-se de uma barragem interposta ao vale do Queiroz, à altura do antigo bairro do Galo, em Nova Lima. A Barragem do Queiroz assegurou a deposição dos rejeitos da empresa até meados do ano de 1954, com a acumulação, neste período, de cerca de 2,5 milhões de m³.

O desenvolvimento da tecnologia para construção de barragens de contenção de rejeitos ocorreu de modo empírico, engrenado pelas práticas de construção e equipamentos disponíveis em cada época.

Até hoje, ao contrário do que é praticado em barragens para geração de energia, não há tanto rigor na aplicação das técnicas da engenharia para as barragens de rejeitos.

Na diversidade das condições brasileiras, embora algumas minas apliquem as tecnologias disponíveis para implantação de barragens, ainda prevalecem tecnologias mais rudimentares, de concepção empírica.

Continuam construindo aterros com o material estéril removido da mina e lançado em forma de aterros, transversalmente aos vales, para criar volumes de retenção dos rejeitos do beneficiamento do minério (lamas).

Assim, é comum a construção e a operação de barragens de rejeitos utilizando os equipamentos avançados de lavra, mas, sob orientação técnica de engenheiros de minas, especializados apenas em avanço de lavra.

Mesmo tendo consciência do progresso das tecnologias de implantação de barragens, ainda estamos muito distantes de uma situação confortável. A história tem demonstrado que o percurso do avanço tecnológico vem entremeado pelos acidentes com rupturas de barragens. Por sua vez, esses acidentes têm sido catalisadores do progresso tecnológico da engenharia de barragens, já que a cada catástrofe, a sociedade fica mais intolerante ao risco, conforme apresentado no resumo a seguir:

- **Na década de 50**, muitos dos princípios fundamentais de geotecnia já eram compreendidos e, em alguns casos, aplicados em barragens de contenção de rejeitos.
- **Em 1965**, um terremoto causou rompimento de muitas barragens no Chile, recebendo considerável atenção e tornou-se um fator chave na pesquisa sobre as causas das rupturas.
- **Na década de 70**, a maioria dos aspectos técnicos (por exemplo, infiltração, liquefação e estabilidade da fundação) já eram bem entendidos e controlados pelos projetistas.
- **A partir da década de 80**, os aspectos ambientais também cresceram em importância. A atenção foi amplamente voltada para estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes. Nas barragens de rejeitos das grandes mineradoras de Minas Gerais e do Brasil, essa década foi um marco em relação à aplicação de princípios de geotecnia.
- **No início dos anos 2000**, as rupturas das barragens da Rio Verde (no município de Macacos) e da Florestal Cataguases (no município de Cataguases) desencadearam uma série de ações e estudos que culminaram na implantação do Programa de Gestão de Barragens do Estado de Minas Gerais.
- **Em 2014**, a ruptura da barragem de *Mount Polley* gerou uma série de revisões sobre procedimentos de segurança exigidos no Canadá;
- **Em 2015**, a ruptura da Barragem de Fundão (Mariana) está provocando uma reestruturação das análises de estabilidade de barragens construídas com rejeitos, dos procedimentos de operação das barragens e da própria legislação de segurança de barragens.

1.2 TIPOS DE BARRAGENS UTILIZADAS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

Os rejeitos oriundos de beneficiamento a seco são geralmente empilhados. O beneficiamento a seco é muito comum para recursos minerais não metálicos, como rochas ornamentais, calcários e outros. Como não é objeto desse estudo, esse tipo de disposição não será discutido neste trabalho.

Grande parte dos processos de beneficiamento, especialmente de minerais metálicos, ocorrem via úmida, gerando lamas que têm sido dispostas, preferencialmente, em barragens de rejeito. Essas barragens podem ser construídas em uma única etapa, ou podem ser construídas em mais etapas, com alteamentos sucessivos e ao longo do tempo. Em muitos casos o próprio rejeito se torna o material de construção do maciço.

Em Minas Gerais, existem mineradoras que optaram por dispor seus rejeitos em **barragens convencionais**, utilizando solo compactado e construídas em uma única etapa. Algumas vezes, essas barragens convencionais sofrem alteamentos durante a vida útil, porém, são obras desenvolvidas em um período de tempo definido e com controle mais rigoroso.

Outras mineradoras optaram pelas barragens cuja construção se dá **por alteamentos sucessivos**. Essa opção tem sido mais atraente para as empresas, uma vez que, além de diluir os custos envolvidos, dá maior flexibilidade de operação, pois possibilita adaptar a construção da barragem às necessidades de alterar taxas de produção (inevitáveis com as flutuações do mercado de minérios), o que resulta em maiores ou menores volumes de rejeitos a serem armazenados.

Dentre os métodos construtivos clássicos de construção de barragens de rejeitos ao longo da vida útil da mina, podem ser citados os alteamentos pelos métodos de Montante, Jusante e Linha de Centro (Figura 1).

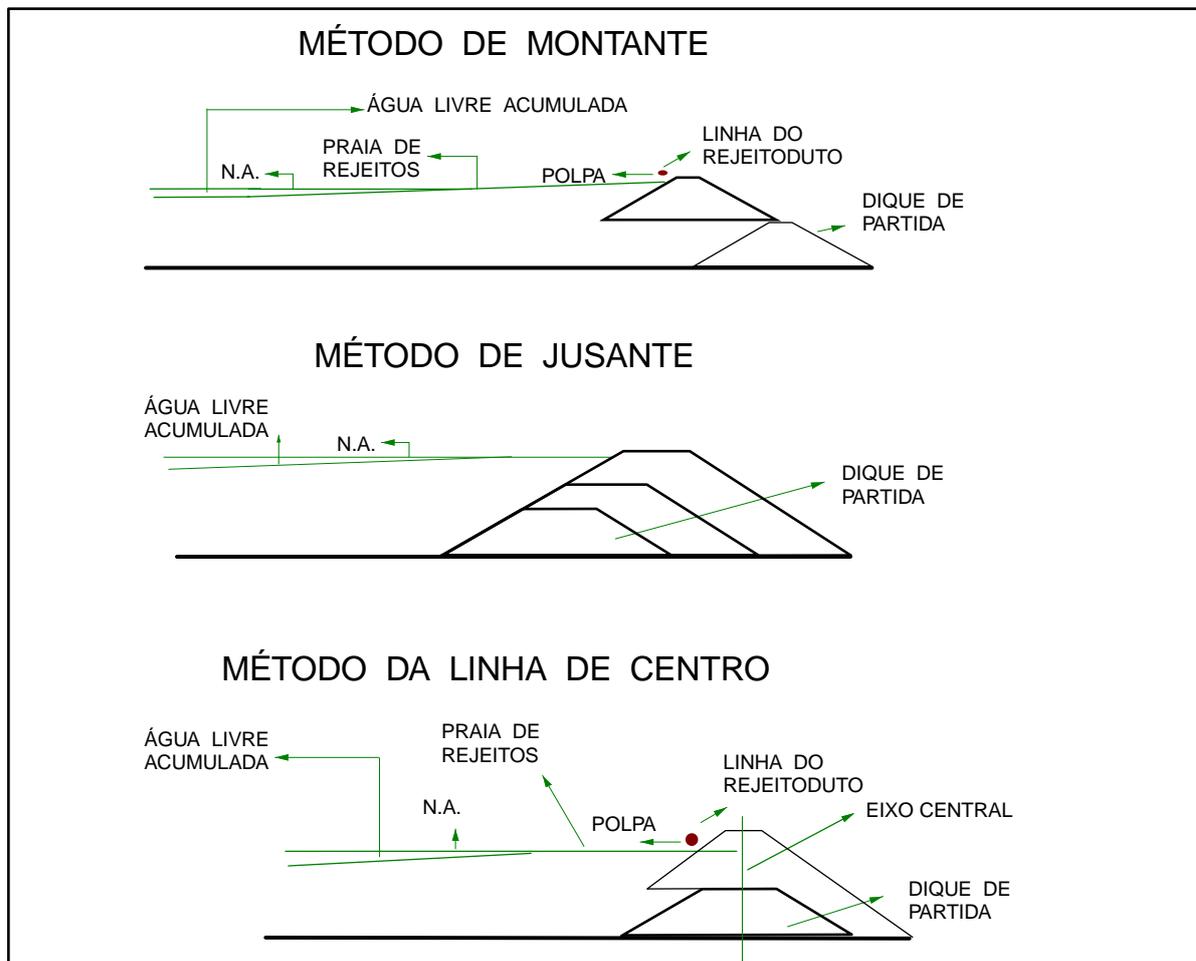


Figura 1 - Métodos de alteamento

A) Método de Alteamento Para Montante

O **método de montante** é considerado o mais econômico e de maior facilidade executiva.

Para a sua execução, inicialmente, é construído um dique de partida, que é essencialmente um aterro e um suporte para a linha de rejeitos descartados.

Após a conclusão deste dique de partida, o rejeito é lançado à montante da periferia da crista, formando uma praia, a qual servirá de fundação para o próximo alteamento. Durante o lançamento, ocorrem segregações granulométricas, ficando a fração grossa depositada nas proximidades do maciço.

Quando o nível dos rejeitos no reservatório estiver chegando ao máximo, um novo dique é executado (sobre os rejeitos) a montante do dique do alteamento anterior. Este processo é repetido com alteamentos sucessivos até a elevação final prevista, sendo que o eixo da crista sempre se desloca para montante. Assim, sucessivamente, a barragem vai sofrendo incrementos até atingir a altura máxima especificada em projeto (Figura 2).

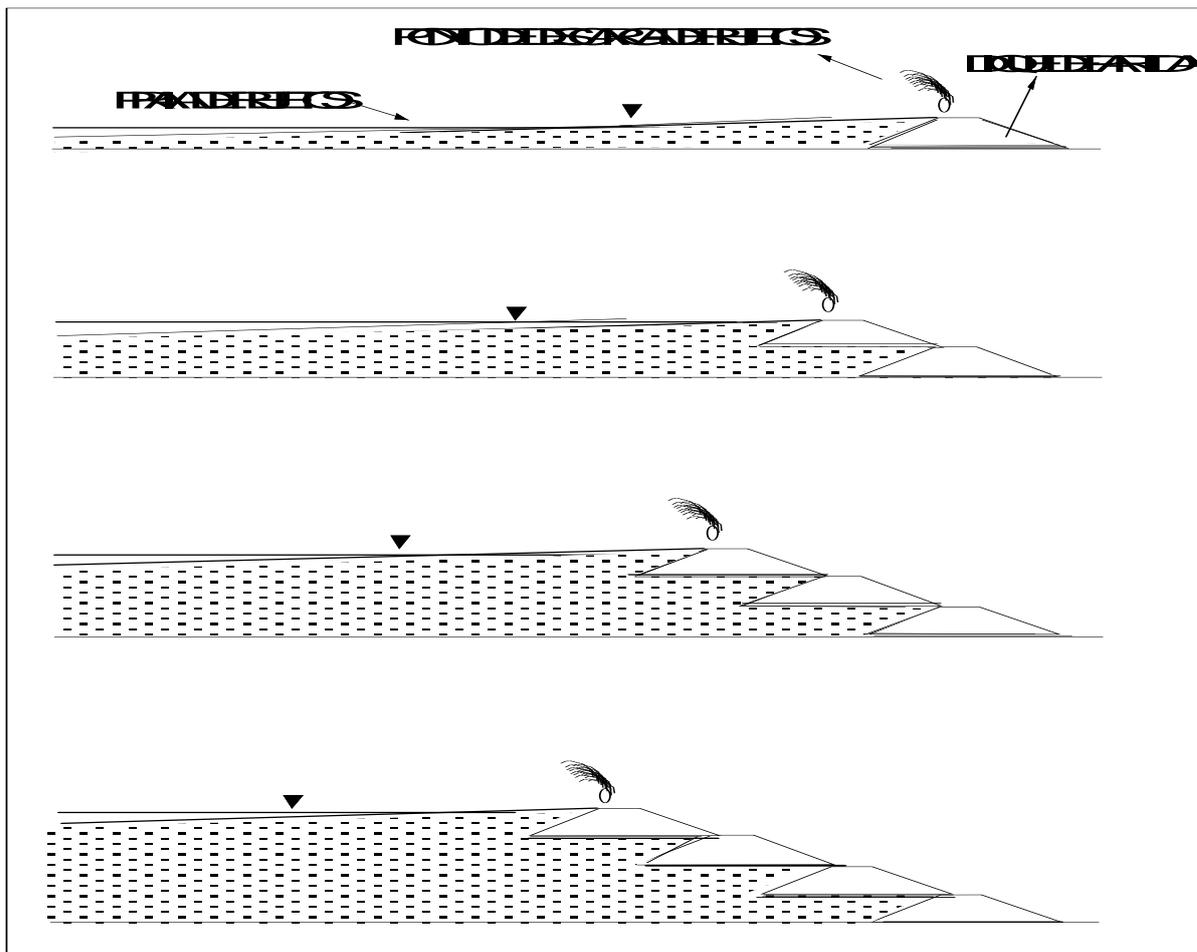


Figura 2 – Sequência de desenvolvimento de uma barragem alteada pelo método de montante

Em Minas Gerais, a opção de barragens alteadas por montante, especialmente para disposição de rejeitos de minério de ferro, é considerável. De acordo com as informações presentes nos relatórios de auditorias técnicas de segurança do banco de dados do Sistema Integrado de Informação Ambiental - SIAM, do Estado de Minas Gerais, em 2008, o tipo de barragem mais adotado para acondicionar rejeitos de indústria e mineração eram aquelas alteadas pelo método de montante (Duarte, 2008).

Conforme pode ser observado na figura a seguir, as barragens alteadas por montante perfaziam, em 2008, um total de 41% das barragens de rejeitos/resíduos de mineração e indústria no Estado de Minas Gerais. Atualmente, o número aumentou, mas a porcentagem é quase igual.

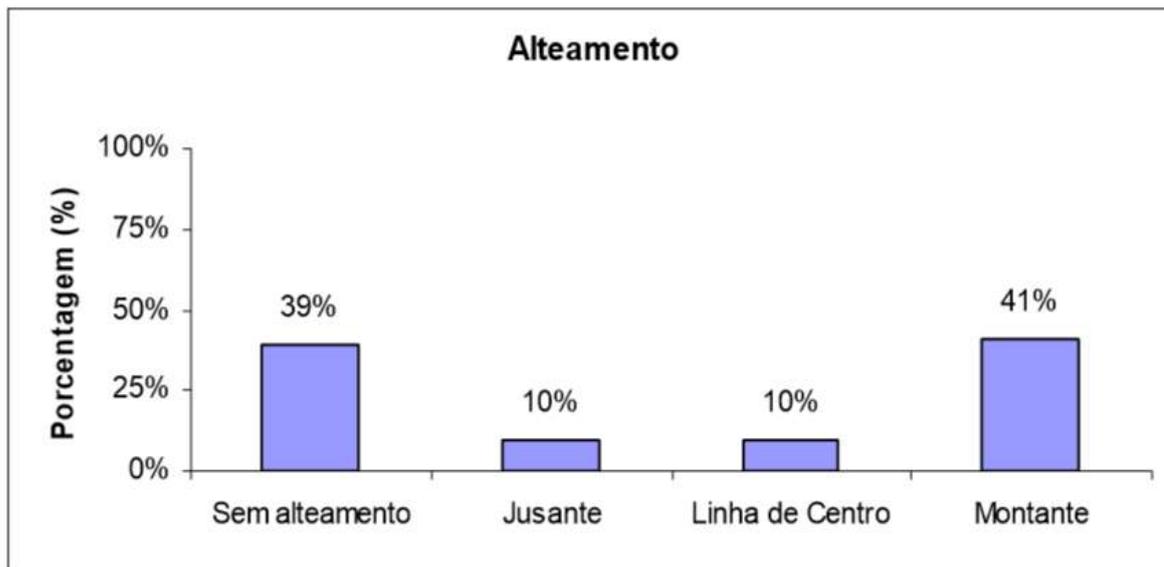


Figura 3 - Gráfico apresentando resultados do levantamento dos tipos de barragens de rejeitos no Estado de Minas Gerais em 2008

Fonte: Duarte, 2008

A seguir são apresentados dois exemplos de barragens alteadas por montante, no Estado de Minas Gerais.



Figura 4 - Barragens alteadas pelo método de montante: Barragem I da Mina de Gongo Soco e Barragem Forquilha III da Mina de Fábrica

A Barragem do Fundão (SAMARCO), na ocasião da ruptura, também era um exemplo de alteamento pelo método de montante.

A concepção original da Barragem do Fundão era pelo método de empilhamento drenado por montante. A existência de um tapete drenante e o cuidado de lançar apenas rejeito arenoso pela sua crista garantiam a drenabilidade do maciço.

A seguir é apresentada uma seção esquemática da Barragem de Fundão, de acordo com sua concepção original.

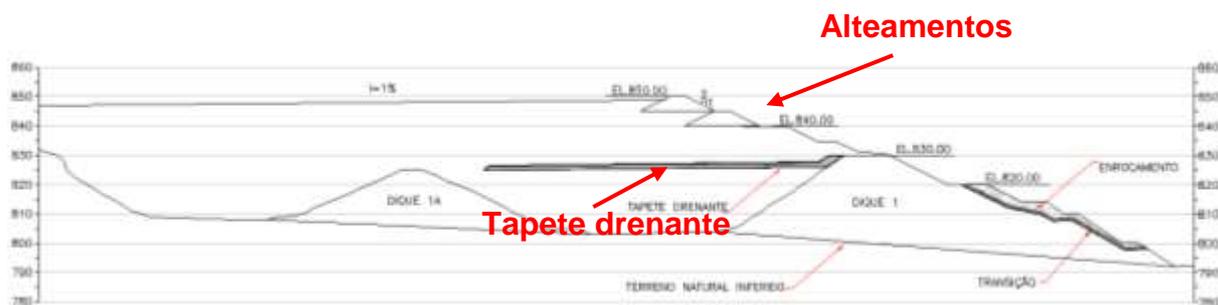


Figura 5 - Seção esquemática da Barragem de Fundão, de acordo com sua concepção original

A partir de 2013, após o recuo do eixo da barragem, os alteamentos ultrapassaram a extensão do tapete drenante e a Barragem do Fundão passou a se comportar como um barramento alteado por montante, nos moldes convencionais (ver a Figura a seguir).

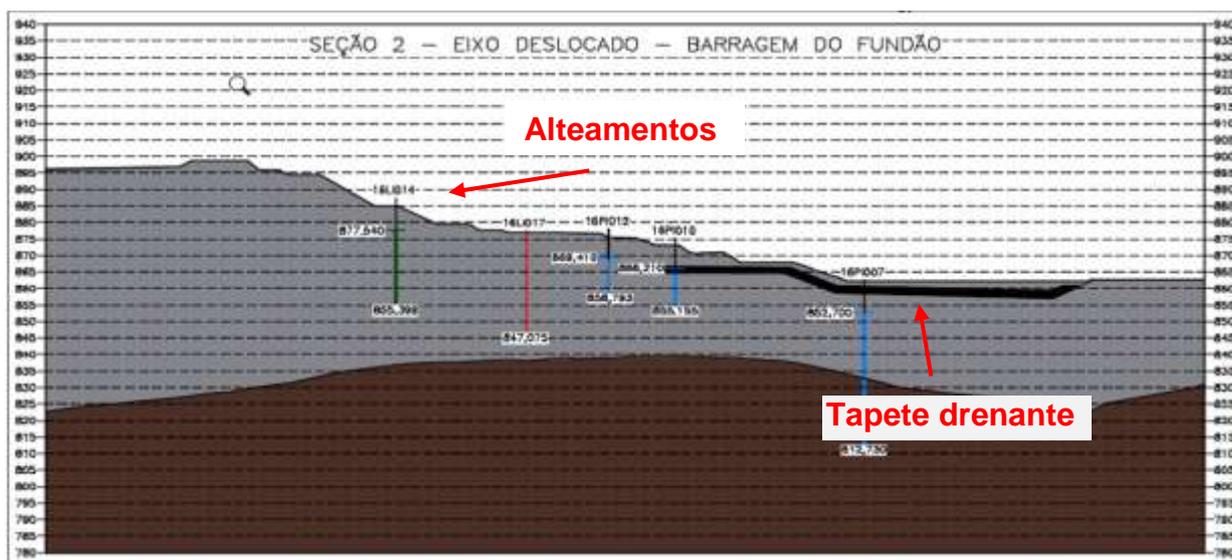


Figura 6 - Seção esquemática da Barragem de Fundão, após o recuo do eixo da barragem

Em novembro de 2015 a Barragem do Fundão rompeu, causando o maior desastre ambiental do país.

A seguir são apresentadas imagens aéreas da Barragem do Fundão, antes e depois de sua ruptura, disponíveis no *site* do *GoogleEarth*.



Figura 7 - Imagem aérea da Barragem de Fundão em 2014



Figura 8 - Imagem aérea da Barragem de Fundão antes da ruptura



Figura 9 - Imagem aérea da Barragem de Fundão após a ruptura

B) Método de Alçamento Para Jusante

No **método de alçamento para jusante**, após a conclusão do dique de partida, o material é lançado de forma que o eixo da barragem, em cada alçamento, vai se deslocando para jusante da mesma (ver Figura 10). Este método é o que exige maiores volumes de materiais de construção, podendo ser utilizado o próprio rejeito, solos de empréstimos ou estéril proveniente de lavra.

As principais vantagens desse método são:

- Resistência a efeitos dinâmicos;
- Escalonamento da construção sem interferência na segurança;
- Não interferência na operação dos rejeitos;
- Facilidade na execução da drenagem interna;
- Aproveitamento integral das técnicas de barragens convencionais;
- Possibilidade de obedecer integralmente às hipóteses de projeto;
- Possibilidade de estanqueidade dos efluentes, em caso de haver substância contaminante nos mesmos.

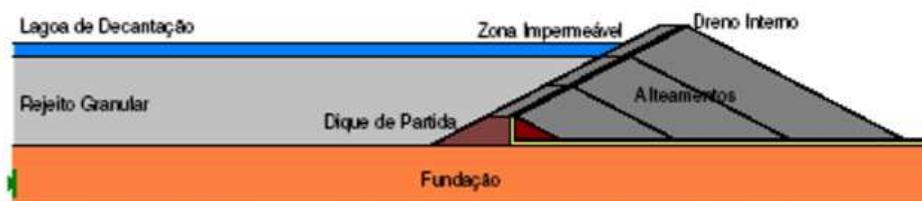


Figura 10 - Perfil esquemático de uma barragem alteada pelo método de jusante

Fonte: Araújo, 2006

Apesar das vantagens relativas à segurança, essa barragem não é a preferida pelos mineradores, por ser mais onerosa, envolvendo maiores volumes de solo compactado e uma construção controlada.

Em Minas Gerais, no levantamento realizado a partir dos dados do SIAM de 2008, estima-se que 10% das barragens de indústria e mineração foram alteadas por montante (ver Figura 3).

Nas figuras a seguir são apresentados dois exemplos deste tipo de barragem.



Figura 11 - Imagem aérea e foto do reservatório da Barragem Santo Antônio (Kinross) – Paracatu - MG. Maior barragem de rejeitos do Brasil



Figura 12 - Imagem aérea da Barragem do Marzagão da Unidade Industrial da Novelis – Ouro Preto - MG.

C) Método de Alçamento Linha de Centro

O **método da Linha de Centro** é geometricamente uma solução intermediária entre o método de montante e o método de jusante. Como nos dois outros métodos, a barragem é iniciada com um dique de partida de solo compactado. Os alteamentos sucessivos se dão de tal forma que o eixo da barragem se mantém na posição inicial, ou seja, coincidente com o eixo do dique de partida. Assim, o espaldar de montante se apoia nos rejeitos e o de jusante sobre toda a etapa subjacente (ver **Figura 13**).

Apesar de ser uma solução geometricamente intermediária entre os dois outros tipos de alteamento, estruturalmente, o seu comportamento se aproxima mais do

comportamento de barragens alteadas pelo método de montante, com a vantagem de permitir um controle da linha freática no talude de jusante do maciço. É um método que apresenta facilidades construtivas e custos compatíveis, mas ainda apresenta alguns pontos críticos em relação à segurança.



Figura 13 - Perfil esquemático de uma barragem alteada pelo método de Linha de Centro

Fonte: Araújo, 2006

Em Minas Gerais, no levantamento realizado a partir dos dados do SIAM de 2008, estima-se que 10% das barragens de indústria e mineração foram alteadas pela metodologia da linha de centro (ver Figura 3).

Na figura a seguir é apresentada a Barragem do Marzagão, que foi construída com alteamentos pela metodologia de linha de centro.



Figura 14 - Imagem aérea da Barragem do Marzagão da Unidade Industrial da Novelis – Ouro Preto – MG

2. RISCOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS DE REJEITOS

Geração de resíduos, poluição e degradação ambiental crescem proporcionalmente à evolução do consumismo da sociedade atual, para atender as necessidades tecnológicas que o ser humano vai criando.

O que se vê na atualidade, decorrente de uma estratégia de mercado, é que qualquer avanço tecnológico rapidamente passa a ser uma necessidade, enquanto, paralelamente, tecnologias existentes vão se transformando em tecnologias obsoletas.

Essas transformações geram um consumo desenfreado, onde a extração de recursos naturais é cada vez mais demandada. Quanto mais irresponsável for a sociedade para consumir, tanto maior será a agressão ao meio ambiente em toda a cadeia produtiva, desde a retirada das matérias primas, até o descarte do mesmo após ser consumido (Loubet, 2014). A mineração é um dos setores que reflete mais claramente essa realidade.

Para conseguir satisfazer essa sociedade, o homem vem aprimorando técnicas de subjugação da natureza, vencendo desafios antes intransponíveis. Mas, em contrapartida, vem criando perigos decorrentes da própria tecnologia, antes inexistentes.

Esses perigos oriundos não mais da natureza, mas decorrente das próprias ações da sociedade, denominam-se riscos (Loubet, 2014). E, infelizmente, as tragédias recentes ocorridas demonstram que os riscos superaram os sistemas de segurança.

A disposição de rejeitos de mineração, como vem sendo praticada no Brasil, chegou a patamares inaceitáveis. Basta recordar as tragédias causadas por rompimentos de barragens de rejeitos vividos nas últimas décadas, especialmente o rompimento da Barragem de Fundão.

A seguir, é apresentada uma breve reflexão da evolução dos riscos envolvendo as barragens de rejeitos.

2.1 EVOLUÇÃO DOS RISCOS ASSOCIADOS À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS EM BARRAGENS

Enquanto as barragens de rejeitos, mesmo sendo rudimentares, se resumiam a estruturas baixas e de menores volumes de represamento, as atividades não geravam grandes acidentes. Entretanto, com o progresso das atividades de mineração e aumento da escala de operações, os problemas estruturais destas barragens passaram a representar riscos maiores e rupturas significativas começaram a ocorrer.

Assim, tem-se observado uma tendência de crescimento do risco encerrado em barragens de rejeitos devido: ao aumento da altura das barragens (maior probabilidade de ruptura) e ao aumento do volume do reservatório (maior potencial de dano).

De acordo com o consultor canadense Andrew Robertson (2011), a capacidade máxima diária de produção de rejeitos no mundo tem evoluído na seguinte proporção:

1930- 100 ton/dia
1960- 1.000 ton/dia
1990- 10.000 ton/dia
2000 - 100.000 Ton/dia
Atual - 670.000 ton/dia.
2030 - 1,0 milhão de ton/dia
(previsão)

Ou seja, **a quantidade de rejeitos tem aumentado dez vezes a cada trinta anos.** Enquanto isso, as alturas máximas das barragens de rejeitos evoluíram da seguinte forma:

1900 - altura máxima de barragem ~ 30 m
1930 - altura máxima de barragem ~ 60 m
1960 - altura máxima de barragem ~ 120 m
2000 - altura máxima de barragem ~ 240 m
Atual – barragem de 340 m está em construção
Em fase de projeto, há uma barragem
com altura prevista acima de 400 metros

Ou seja, **a altura das barragens de rejeitos dobra a cada trinta anos.**

Quanto mais alta a barragem, maior a probabilidade de falha e quanto maior o volume de rejeito armazenado, maior potencial de dano. Como o risco é o produto da Probabilidade de Ocorrência x Consequência, podemos dizer que o risco cresce proporcionalmente ao produto: altura das barragens x quantidade de rejeito acumulado. Portanto:

O risco de falha em barragem de rejeitos aumenta vinte vezes a cada trinta anos.

2.2 FATORES DE RISCOS ASSOCIADOS À DISPOSIÇÃO DE REJEITOS EM BARRAGENS

Numa visão preliminar, uma barragem de rejeitos deveria ter uma estrutura estável, juntamente com sua fundação. Deveria, também, permitir o controle adequado de toda a água que a ultrapassa, enquanto retém inteiramente o rejeito em seu reservatório. Na prática, entretanto, rupturas de barragens de rejeito continuam a ocorrer, apesar da moderna tecnologia disponível para o projeto, a construção e a operação. Essas rupturas têm ocasionado perdas econômicas e degradação ambiental, e, em muitos casos, perda de vidas humanas.

Ao se analisar casos de rupturas de barragens de rejeitos (brasileiras e de outros lugares do mundo) é possível identificar diversas características e parâmetros que já vinham indicando a possibilidade de ocorrência desses eventos, seja no projeto, na construção, na operação e ou na desativação dessas barragens.

As principais causas destas rupturas incluem, em alguns casos, características geotécnicas complexas que requerem cuidados especiais para superar as condições adversas. Porém, as causas mais frequentes estão relacionadas a situações já resolvidas pela tecnologia disponível. Tal fato significa que é necessária uma aplicação mais sistemática do conhecimento especializado, abandonando definitivamente as improvisações ao longo da vida útil de uma barragem.

De acordo com Ávila, 2011, muitas rupturas que ocorreram, estão associadas às deficiências de gestão de segurança. Neste âmbito vale ressaltar:

Falta de compromisso da alta administração das empresas, com a implantação de procedimentos de gestão adequados. Os rejeitos formam a parcela recusada do recurso mineral explorado. Não existe retorno financeiro direto das ações ligadas à sua disposição. Portanto, há uma tentação contínua de reduzir os respectivos custos a um mínimo, reduzindo equipes, cortando pesquisas, não investindo em monitoramento da segurança.

Falta de planejamento de longo prazo, não identificando e nem programando as datas limite para ações necessárias. Muitos projetos são contratados “para ontem”, sem tempo para a execução de sondagens, amostragens e ensaios de laboratório. A engenharia é feita “queimando etapas” de análises, de estudos de alternativas, de preparação de uma contratação da obra através de um processo racional que defina as características da obra antes da contratação. Durante a execução da obra, as situações novas começam a surgir, sem tempo suficiente para a sua adequada correção. O resultado, muitas vezes, é uma estrutura deficiente, com maior risco.

Falta de projeto de engenharia adequado, sem a realização de estudos importantes (hidrológicos, geológico-geotécnicos com sondagens e ensaios dos materiais de fundação e de construção, estudos dos rejeitos e seu comportamento, especificação das boas técnicas de construção, projeto de instrumentação para observação do comportamento da barragem), ou sendo elaborado por projetistas pouco experientes.

Falta de supervisão especializada de construção, necessária para garantir a construção seguindo o projeto e intervindo nas necessidades de adaptação do

projeto. Ou, ainda, para orientar os registros do controle de construção e a laboração da documentação "como construído" (essencial nas fases seguintes de operação).

Falta de manual de operação para orientar os procedimentos de operação da barragem com segurança.

Improvisação da equipe de operação, substituindo uma equipe especializada por alguém da produção que fica encarregado desta tarefa, sem estar preparado e capacitado para isso.

Falta de inspeções e avaliações periódicas de segurança realistas, tanto pelo projetista, quanto por auditor independente, dificultando a identificação de problemas a tempo de serem solucionados.

Dificuldades de obtenção de licença ambiental nos prazos requeridos, podendo gerar situações de risco com rejeitos depositados acima da cota prevista inicialmente, ou com improvisações para prolongar a vida útil da barragem.

Além das dificuldades relacionadas com a gestão e com problemas técnicos ligados às deficiências que a engenharia ainda não venceu, é necessário ficar atento aos seguintes aspectos:

Pouco compromisso das agências reguladoras nas análises dos projetos de barragens nas diversas fases do licenciamento ambiental, em particular, nas fases de implantação, operação e renovação das licenças;

Falta de fiscalização das barragens por parte dos órgãos responsáveis;

Existência de barragens abandonadas ou desativadas sem implantação de um plano de fechamento adequado. Assim, a estrutura fica sujeita a condições de longo prazo significativamente diferentes das que prevaleceram no período operacional e para as quais estava preparada.

2.3 FATORES DE RISCOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS ALTEADAS POR MONTANTE

Atualmente, dentre as formas de disposição de rejeitos, as **barragens construídas por alteamentos sucessivos pelo método de montante ainda vêm se apresentando como uma das opções preferidas pelas mineradoras**, por ser esse método o mais econômico e de maior facilidade executiva. Entretanto, esse tipo de barragem traz no seu bojo muito mais variáveis que condicionam sua segurança do que as outras barragens, como poderá ser visto neste item. Então, se é pertinente dizer que não existe risco zero para qualquer tipo de barragem, o que dizer para as barragens alteadas a montante?

No mundo, as estatísticas mostram que a grande maioria das barragens de rejeitos que romperam eram barragens alteadas por montante. O Estado de Minas Gerais não foge à essa regra. Dos grandes acidentes com barragens de rejeitos no Estado, nas últimas décadas, somente duas barragens não eram alteadas por montante.

O registro mais antigo deste tipo de acidente em Minas Gerais foi no município de Itabirito, em 1986, quando uma barragem de rejeitos de minério de ferro, construída

com alteamentos por montante, da Mina de Fernandinho, do grupo Itaminas rompeu, causando sete mortes.

Em 2001, em Nova Lima, na localidade de São Sebastião de Águas Claras (Macacos) uma barragem de rejeitos de minério de ferro rompeu causando cinco óbitos e cobrindo de lama dois quilômetros de uma estrada, além de atingir 43 ha de área e assorear quase 6km de curso d'água. A barragem era de propriedade da mineradora Rio Verde, que foi comprada pela Vale após o acidente.

As figuras a seguir apresentam vista da Barragem de Macacos antes e após o rompimento.



Figura 15 - Imagem aérea da Barragem de Macacos em Nova Lima - MG



Figura 16 - Imagem aérea da Barragem de Macacos em Nova Lima – MG após o rompimento

Novamente em Itabirito, em 2014, outra barragem de rejeitos de minério de ferro, alteada por montante, teve parte de seu talude rompido (Barragem da Herculano Mineração), causando 3 óbitos, além de outros danos ambientais.

As imagens a seguir apresentam a barragem antes e após o rompimento. O realce em amarelo destaca a porção do talude de jusante que rompeu.



Figuras 17 e 18 - Imagens aéreas da barragem da Herculano Mineração em Itabirito - MG antes e após o rompimento



Figuras 19 e 20 - Imagens aéreas de áreas atingidas pelo rompimento da barragem da Herculano Mineração

Por último, em Mariana (2015) rompeu a Barragem de Fundão, causando 19 óbitos e provocando o maior desastre ambiental do país. A Barragem do Fundão, como já foi comentado, na ocasião do rompimento era um exemplo de barragem de rejeitos alteada pelo método de montante.

As figuras a seguir apresentam imagens após o rompimento da Barragem de Fundão.



Figuras 20 e 21 - Imagens de áreas atingidas pelo rompimento da Barragem de Fundão

A seguir são listados os pontos mais críticos relacionados às barragens construídas com alteamento por montante e que elevam os riscos desse método de disposição de rejeitos.

A) Projeto:

Em relação ao projeto tem-se, além de toda a experiência e detalhamento exigido para qualquer outra barragem, as seguintes dificuldades:

1. O projetista deve ter uma experiência específica não só do estado da arte da engenharia de barragens, como também do processo de beneficiamento e das características dos rejeitos que ali serão produzidos. Apesar desse fato, na prática, a escolha do projetista tem sido feita pelas empresas, levando em conta a economia com o projeto e não a “*expertise*” do projetista.
2. O projeto inicial tem que ser revisado e adaptado a cada fase de alteamento, tendo em vista que a barragem será construída todos os dias ao longo de sua vida útil e várias mudanças e percalços irão aparecendo ao longo do tempo. Durante a vida útil da barragem, é comum que as empresas mudem de projetistas, incorrendo no risco de não atendimento às premissas iniciais de projeto quando são executadas as outras fases de alteamento.
3. O projetista deve ter completo entendimento de todos os fenômenos relacionados a este tipo de barragem, não só para desenvolver o projeto, como também para direcionar a operação, elaborando um manual de operação detalhado e abrangente o suficiente para garantir que as premissas adotadas em projeto sejam atendidas. Entretanto, é muito comum que os manuais de operação não sejam elaborados com os cuidados necessários.

B) Fundação

Com exceção do dique de partida que se apoia em terreno natural, o material da fundação dos alteamentos é o próprio rejeito. Um dos requisitos para altear uma barragem pelo método de montante é que a praia seja resistente o suficiente para suportar o novo dique. Sendo assim, os riscos são maiores, tendo em vista que:

1. Os rejeitos têm comportamentos próprios e diversificados para cada tipo de minério, de processo de beneficiamento, da profundidade em que o corpo mineral está, do tipo de lançamento ou da posição em que é lançado. Essa diversidade modifica as propriedades desses rejeitos ao longo do tempo, podendo alterar a qualidade do material que vai funcionar como fundação dos alteamentos;
2. Além da natureza variável dos rejeitos, o controle do tamanho da praia não costuma ser rigoroso durante os lançamentos. Não são raros os casos em que a lama avança em algum momento, deixando lentes de finos intercaladas no material de fundação dos próximos alteamento.

C) Construção

Como os alteamentos são repetitivos, e, aparentemente, de fácil execução, o minerador costuma realizar a maior parte das tarefas com equipamentos e pessoal próprios. Assim, dificilmente o rigor necessário nas atividades é adotado.

A consequência é que o controle de qualidade não é exercido por uma entidade independente, pois o próprio dono tende a não aceitar correções de um contratado e na maioria das vezes dispensa o controle de qualidade. Neste caso, deveria valer a máxima: “quem projeta não deve construir, nem quem opera deve projetar ou construir.”

D) Maciço

Da mesma forma como o material da fundação dos alteamentos, o próprio maciço é construído com o rejeito, cabendo citar para os maciços as mesmas deficiências da fundação.

E) Operação

Na prática, observa-se que a operação das barragens alteadas por montante, em sua maioria, é negligenciada e, o resultado é a potencialização do risco.

O mesmo controle de qualidade que costumam ter na linha de produção não é realizado na atividade de disposição dos rejeitos.

Ao que parece, esquecem que para essas barragens a operação se confunde com a construção. São inúmeros os aspectos que devem ser controlados e monitorados todos os dias e a falta de qualquer desses controles pode levar a barragem a falhar.

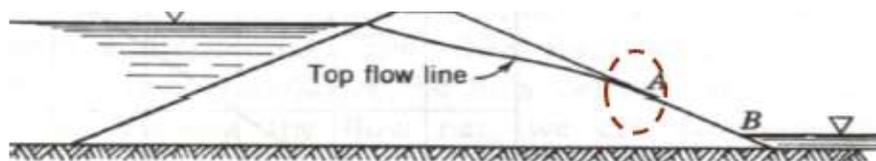
Apenas como exemplo, podem ser citados alguns dos aspectos que devem ser controlados no dia a dia da operação da barragem:

- massas e volumes dispostos em cada área do reservatório (inclusive a atualização da curva cota volume dos reservatórios);
- cotas das superfícies da lama e dos rejeitos granulares (níveis dos reservatórios);
- pontos de lançamento de rejeitos;
- comprimento da praia a montante
- borda livre operacional;
- leituras da instrumentação.

Entretanto, é muito comum, ao inspecionar barragens, deparar com responsáveis pela operação que não conhecem o manual de operação e/ou não tiveram treinamento para operá-la. Faltam equipes estruturadas e treinadas. Infelizmente, pode-se dizer que este quadro ocorre na maioria dos empreendimentos.

F) Susceptibilidade ao “Piping”

Piping em uma barragem se dá pela passagem sem controle de água pelo maciço, fundação ou ombreiras, carreando partículas de solo, provocando erosão por onde passa, originando assim a formação de canais dentro da massa de solo (Figura 22).



Figuras 22 – Seção ilustrando a linha de percolação da água pelo maciço. Se essa percolação não tiver controle, na saída do maciço a água carrega partículas de solo, causando a erosão do talude de jusante

Piping é umas das causas mais frequentes de colapso de barragens. A susceptibilidade ao *piping das barragens* alteadas por montante se deve ao fato de existirem poucas medidas estruturais que podem ser tomadas para controlar o nível d'água interno da barragem.

Apesar de não ser um caso de barragem de rejeitos, o exemplo clássico de ruptura de barragem por *piping* é o da barragem de Teton, nos Estados Unidos, em junho de 1976. Tratava-se de uma barragem de terra com 90 m de altura máxima. A ruptura da barragem de Teton implicou na morte de cerca de 11 pessoas, e o total de vítimas não foi maior porque ainda houve tempo para se enviar um alerta a jusante via estação de rádio, que fez com que muitas pessoas deixassem suas casas e se dirigissem para locais mais altos e afastados da calha do rio.

As figuras a seguir apresentam flagrantes do momento da ruptura de Teton.



Figura 23 - Vista aérea da brecha de ruptura da Barragem de Teton – EUA



Figura 24 – Evolução da brecha de ruptura por *piping* da Barragem de Teton. As setas em vermelho realçam a evolução da brecha ao longo da última hora do momento da ruptura

Fonte: Veiga Pinto, 2008

A barragem de Buffalo Creek. (West Virginia, EUA) é outro exemplo de ruptura por *piping* (conjugado com galgamento). Foi construída com escórias de carvão provenientes de uma mina existente nas proximidades, explorada pela Pittston Coal Company.

Embora o objetivo inicial fosse o de constituir um pequeno reservatório de água, à medida que os anos foram passando, as escórias (e outros materiais) continuaram a ser adicionados à barragem, aumentando a sua altura e, conseqüentemente, o volume de armazenamento, o qual em 1972 tinha já uma capacidade de cerca de 500 000 m³.

Na manhã de 26 de fevereiro de 1972 a barragem colapsou, em virtude da passagem de uma onda de cheia, seguida de *piping* no talude de jusante. O reservatório esvaziou-se em apenas 15 minutos. A cheia a jusante da barragem durou apenas 3 horas.

Em conseqüência desse acontecimento morreram 118 pessoas, foram destruídas mais de 500 casas com mais de 4000 pessoas desalojadas (Figura 25).



Figura 25 – Vista de área devastada pela onda de ruptura da Barragem de Buffalo Creek – EUA

Em Minas Gerais, em 2003, a barragem de rejeitos industriais da Catuagases Florestal rompeu, liberando cerca de 1,4 bilhão de litros de lixívia negra no Córrego Cágado, propagando a poluição hídrica até a foz do Rio Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro. A causa provável foi a ocorrência de *piping* pela ombreira direita.

G) Susceptibilidade à Liquefação

A **liquefação** ocorre quando o material granular em estado fofo e saturado recebe um esforço, que tende a reduzir o seu volume. A redução de volume do solo saturado requer a expulsão da água dos poros do solo. Se o solo tem baixa permeabilidade, a saída da água desses poros é dificultada, resultando no acréscimo das poropressões. Assim, o contato efetivo grão a grão é menor, (redução das tensões efetivas entre os grãos), ficando estes sem atrito e podendo escoar como um fluido.

As condições para que possa ocorrer a liquefação do solo em um talude incluem a presença de finos, a baixa densidade/compacidade e a saturação por água. Somadas a essas condições, ainda é necessária a existência de um carregamento externo, em condições não drenadas, que é denominado “gatilho” da liquefação.

Os gatilhos da liquefação podem ser os mais diversos, como aumento da poropressão por elevação do nível d'água, aumento de sobrecarga por elevação do aterro num tempo menor que o necessário para que as poropressões se dissipem, sismos, vibrações de equipamentos pesados, etc.

No caso de barragens alteadas por montante, se não houver um rigoroso controle da dimensão da praia, os rejeitos, quando possuem baixa densidade relativa e estão saturados, podem se liquefazer e sofrer rupturas no talude com certa facilidade.

Esse tipo de fenômeno tem sido responsável pelo coplaso de várias barragens de rejeitos.

A ruptura em cascata de duas barragens de rejeitos, de uma mina de fluorita, localizada perto de Stava, no norte da Itália, talvez tenha sido o mais trágico acidente envolvendo barragem de rejeitos, ocorrido até os dias de hoje. A ruptura das barragens ocorreu no dia 19 de julho de 1985, destruindo o vilarejo de Stava e causando grande estrago em Tesero, na junção do riacho de Stava com o rio Avisio, a 4 km de distância da mina. De acordo com os registros da época, esta ruptura catastrófica resultou na morte de 268 pessoas (Freire Neto, 2009).

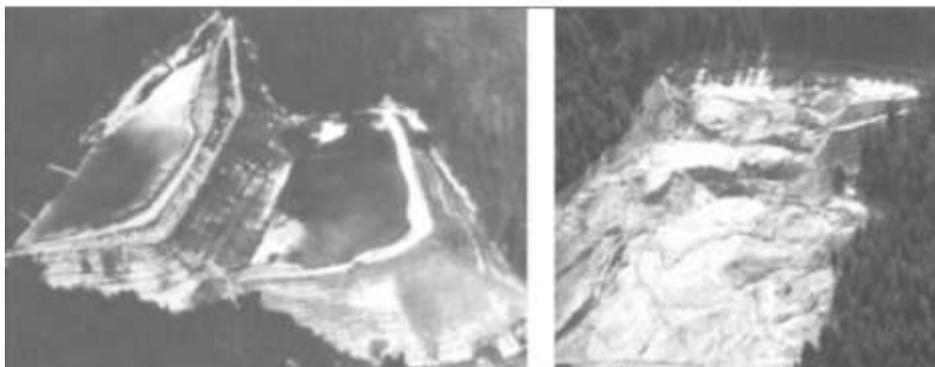


Figura 26 – Ruptura das barragens de rejeitos em Stava – Itália

Em Minas Gerais, a **liquefação** foi o mecanismo que causou a ruptura de pelo menos quatro barragens: de Fernandinho (Itabirito), de Macacos (Nova Lima), B1 da Herculano Mineração (Itabirito) e de Fundão (Mariana).

Todas essas estruturas foram construídas pelo método de alteamento por montante.

G) Maior Risco Frente à Sismos

Apesar do Brasil estar localizado no interior de uma placa tectônica (a placa da América do Sul), seu território não está livre da ocorrência de sismos. Tremores de

magnitude pequena (<4) são comuns no Brasil e podem ocorrer em qualquer região, conforme pode ser observado no mapa apresentado na Figura a seguir.

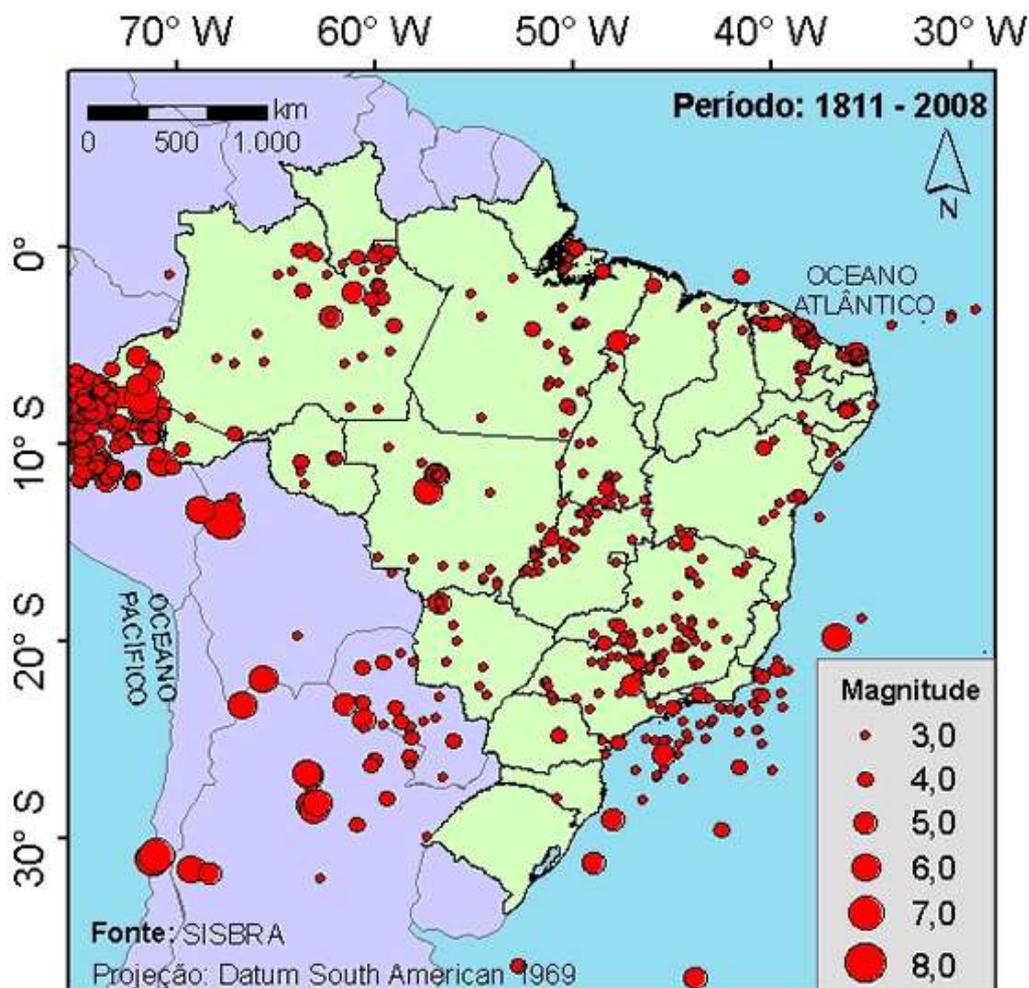


Figura 27 – Mapa de sismicidade natural brasileira obtido a partir Banco de Dados do SIS/UnB (SISBRA)

Tremores da magnitude de 2,5 pontos na Escala Richter ocorrem quase todos os dias, mas quase sempre passam despercebidos por estarem distantes de cidades e de estações sismológicas.

No Quadrilátero Ferrífero, há um histórico de registros de abalos sísmicos, conforme pode ser observado na Figura a seguir. Nos registros desses abalos, as magnitudes encontradas são menores que 5.

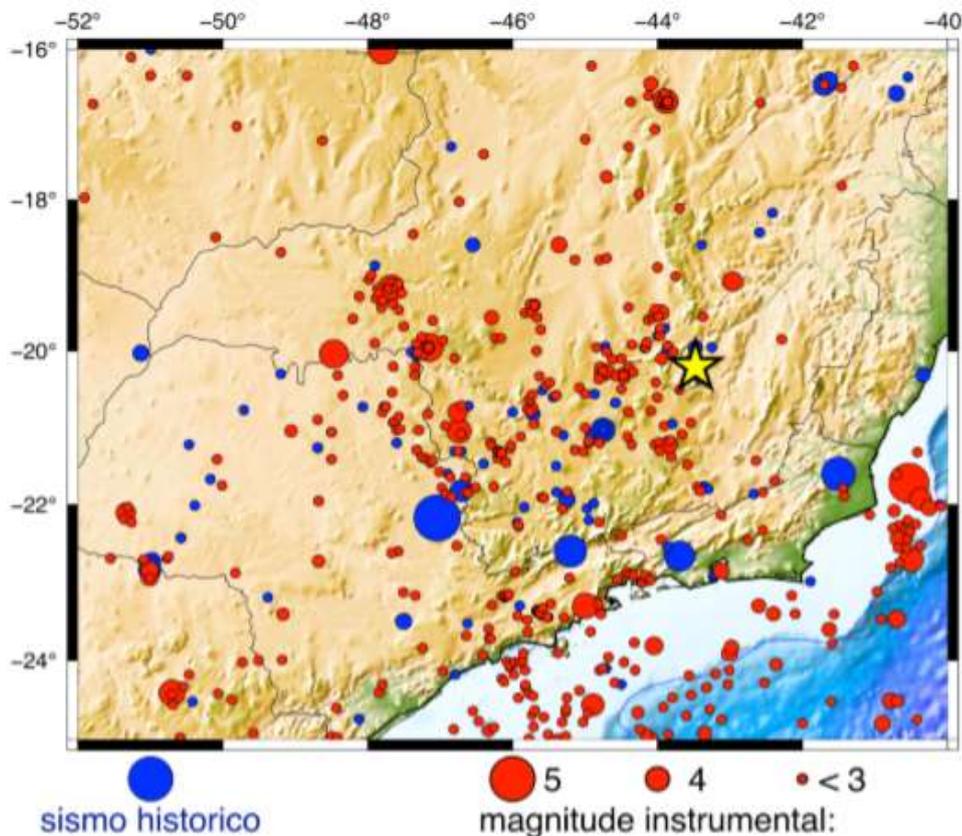


Figura 28 – Epicentros do Catálogo de Sismos do Brasil (até fevereiro de 2015, onde os círculos vermelhos são eventos registrados por estações sismológicas e os azuis por relatos históricos. A estrela amarela realça a região do Quadrilátero Ferrífero

Os sismos naturais no interior de placas tectônicas ocorrem, geralmente, por movimentações bruscas e repentinas em superfícies de descontinuidade (fraturas e falhas). Nesses casos é possível identificar nitidamente as chegadas das ondas P e S individualmente. Podem, também, ocorrer pulsos semelhantes repetidos em um intervalo de tempo relativamente pequeno devido à mesma causa, nas proximidades do foco.

Em regiões com ocorrência de rochas cársticas não são raras as ocorrências de abalos causados por colapso de canais subterrâneos e abatimento de cavernas. Esses abalos são ocasionados por um trem de ondas superficiais mais longo e sem repetição de pulsos. Fenômeno semelhante foi identificado nos estudos desenvolvidos pela Herculano Mineração, no acidente ocorrido com a Barragem B4 em abril de 2014. Nessa ocasião, o reservatório da barragem esvaziou rapidamente através de um vórtex que surgiu no seu interior, por onde o rejeito armazenado fluíu. Na área da barragem B4, existem rochas com lentes de dolomito, onde se desenvolveram cavidades. No dia em que se formou o vórtex, foram registrados tremores, provavelmente relacionados ao abatimento de cavidades subterrâneas.

O fato dos sismos no Brasil serem de pequena intensidade, não exclui a possibilidade de causar efeitos nas barragens. A intensidade dos abalos é avaliada por meio da escala Richter – uma escala logarítmica de base 10, que atribui um número de 1 a 9 para quantificar a energia liberada por um sismo. Enquanto que os efeitos dos abalos, estão descritos e quantificados na Escala Mercalli.

Vários artigos correlacionam as duas escalas (intensidade x efeitos). Em geral, os abalos começam a produzir efeitos sentidos pela população quando ultrapassam os 3 pontos na Escala Richter. Nessa faixa, já são capazes de mover mobílias e derrubar objetos de prateleiras, além de quebrar pratos e janelas e balançar sinos de igrejas. Árvores e arbustos também sofrem oscilações. Se a intensidade dos sismos for igual ou maior que 5, os terremotos, geralmente, causam trincas e conseguem derrubar construções mais frágeis.

Entretanto, essa correlação não pode ser rigorosa. Tremores naturais abaixo de 3 pontos na escala Richter, geralmente imperceptíveis, em alguns casos, podem gerar danos diretos às construções, incluindo barragens. Um exemplo dessa situação, ocorreu em Bebedouro, SP. Em 2005, tremores de magnitude máxima 2,9 chegou a provocar trincas em algumas casas. Os registros indicaram que o hipocentro (local no interior da terra onde se origina o foco sísmico) situava-se a poucas centenas de metros de profundidade e, por isso, provocaram efeitos maiores.

As condições especiais que, geralmente, intensificam os efeitos de um sismo são:

- a) hipocentro bem raso e bem próximo às edificações;
- b) edificações já fragilizadas por outros fatores anteriores (por exemplo, excesso de carga ou de chuva);
- c) pulsos repetidos várias vezes, assim, por exemplo, os primeiros pulsos podem provocar pequenas fissuras no maciço de uma barragem, enquanto os próximos pulsos vão tornando a situação mais crítica;
- d) vibrações continuadas dos tremores, por um tempo prolongado. Nesse caso, podem causar liquefação do material de uma massa de solo fofo, saturado, de baixa coesão e baixo ângulo de atrito (condição semelhante às barragens alteadas por montante).

Apesar de não haver registros na literatura de casos de liquefação provocados por tremores com magnitudes inferiores a 5 na escala Richter, não é prudente descartar essa possibilidade, considerando que o foco do abalo possa estar em pequena profundidade, amplificando os efeitos.

I) Susceptibilidade à Erosão

A subida sucessiva do maciço e a própria característica do material de construção (que é o rejeito) dificultam a rotina de manter os taludes de jusante protegidos por

29/50

cobertura vegetal, ou outro tipo de proteção. Sendo assim, o maciço fica mais susceptível aos agentes erosivos, do que nos outros tipos de barragens.

J) Geração de Particulados

Pelo mesmo motivo citado acima, as barragens construídas com alteamento por montante se tornam fontes geradoras de particulados (poeira), fato que comumente causa atrito com a vizinhança.

K) Carreamento de Sólidos e Assoreamento de Cursos d'Água

Ainda pelo mesmo motivo citado nos itens anteriores, as barragens construídas com alteamento por montante correm mais riscos de fornecerem materiais para carreamento por água de chuva concorrendo para o assoreamento dos cursos d'água imediatamente a jusante.

BARRAGENS ALTEADAS POR MONTANTE:

É indispensável que exista: uma equipe estruturada de operação, um manual de operação detalhado, e uma auditoria externa independente com atuação frequente e não apenas anual.

Apesar de todas as inseguranças relativas à utilização desse método, o número de barragens para contenção de rejeitos construídas por montante é muito maior do que as construídas por jusante e linha de centro juntas. No balanço custo x benefício, geralmente, não se considera o custo do potencial de dano.

Alguns países, especialmente aqueles mais sujeitos a sismos como o Chile, já proibem ou restringem a alternativa de alteamento por montante.

3. MELHORES TÉCNICAS DISPONÍVEIS – MTD

Tendo em vista que o crescimento dos volumes de rejeitos gerados é inevitável, com a demanda crescente por minerais, se continuarmos insistindo na disposição de rejeitos em barragens, teremos que conviver com riscos cada vez maiores.

Em contrapartida, as discussões apresentadas neste trabalho demonstram que a sociedade tem se tornado cada vez mais intransigente a riscos desnecessários.

Criou-se, assim, um impasse, onde alternativas tecnológicas de menor risco se tornarão indispensáveis, pois as tragédias envolvendo barragens de rejeitos vem movimentando vários segmentos da sociedade na busca de soluções.

Para reverter o processo de degradação ambiental decorrente do crescimento econômico, é necessário introduzir mudanças na forma de se pensar a relação “processo produtivo x meio ambiente”. Mecanismos devem ser procurados para promover ações de prevenção da degradação.

A própria tecnologia que vem gerando riscos, pode encontrar a solução para assegurar que eles não ocorram, buscando o mais efetivo e avançado estágio no desenvolvimento de atividades e de seus métodos de operação.

De acordo com Loubet (2014), dentre as soluções para o impasse entre a necessidade do desenvolvimento e o desejo de preservação ambiental, encontra-se a ligação dinâmica entre o Direito e a Técnica. Nessa ligação, o casamento do progresso do universo técnico-científico com instâncias constitucionais legitimadas promoveu o surgimento do conceito de BAT (Best Available Techniques). O tema tem exercido papel preponderante nos países que muito influenciam a legislação e a doutrina do Direito Ambiental Brasileiro.

Foi nos Estados Unidos que teve início o conceito de BAT, relacionado à política de implementação do controle de qualidade da água. Mas, hoje, tal conceito encontra-se amplamente difundido também na Europa e já está sendo praticado no Brasil, ainda que muito timidamente

O conceito de BAT, doravante denominado MTD (Melhores Técnicas Disponíveis), pode ser assim entendido:

- Melhores – sinônimo de mais eficazes para se alcançar um nível geral alto de proteção do meio ambiente como um todo.
- Técnicas – aquelas que também incluem a tecnologia usada e o modo na qual a instalação está projetada, construída, mantida, operada e desativada, englobando o conceito “do berço à tumba” e fortalecendo a visão holística.
- Disponíveis - aquelas desenvolvidas sobre uma escala que permite implementação no setor industrial, sob condições viáveis técnica e economicamente, levando em considerações custos e vantagens, mas sem deixar de contemplar as exigências da sociedade. É importante que o cotejo custo x benefício considere, além do valor econômico da implementação das ações, também a valoração do bem ambiental afetado.

Segundo Loubet (2014), nas questões ambientais, as relações entre o Direito e a Técnica passam a ser cada vez mais frequentes, complexas e necessárias, configurando a interdisciplinaridade do Direito Ambiental. Portanto, embora haja uma conceituação técnica com princípios que fundamentam o conceito de MTD, no Direito Ambiental Brasileiro também são identificados princípios que fundamentam e norteiam a aplicação desse mesmo conceito. São eles:

Precaução – havendo indícios de que certa atividade pode acarretar riscos ou danos potenciais ao meio ambiente, deverão ser adotadas as melhores tecnologias para evitar ou mitigar esses danos.

Tolerabilidade – o limite das agressões ao meio ambiente que pode ser tolerado está relacionado ao meio em que se desenvolverão as atividades, condicionando as MTD como o *standard* mínimo a ser exigido para proporcionar o patamar de proteção exigido para cada caso.

Participação Pública e Transparência – para manter a legitimidade democrática, é de extrema importância que o processo de definição das MTD seja resultante de um amplo debate, com base em informações de qualidade e suficientes o bastante para possibilitar a participação dos interessados (empreendedor, governo e sociedade).

Razoabilidade e Proporcionalidade – dois princípios que fundamentam a liberdade do empreendedor de escolher a tecnologia específica, desde que ela atenda aos anseios da sociedade e à legislação vigente. Ou seja, as MTD escolhidas não devem constar como obrigações de meio e sim de resultado, na medida proporcional ao que é esperado.

Livre Iniciativa – a livre iniciativa é pautada também pela preservação ambiental, tendo sua atuação limitada pela indisponibilidade do meio ambiente. Ou seja, há necessidade de buscar a coexistência da atividade, sem que a ordem econômica inviabilize o meio ambiente.

Vedação à Concorrência Desleal – a definição das MTD a serem adotadas devem respeitar a adoção de critérios justos e igualitários entre os agentes econômicos, de forma que a competência seja o diferencial entre eles.

Infelizmente, no Brasil, os licenciamentos ainda não incorporaram o conceito de MTD. Embora esteja previsto que a análise do processo de licenciamento averigue as alternativas locais e tecnológicas, não é isso que acontece na prática. De forma muito precária, analisa-se, no máximo, algumas poucas alternativas locais. Tal fato, fica agravado nos licenciamentos dos sistemas de disposição de rejeitos resultantes de tratamento a úmido. Raramente, o empreendedor apresenta alternativa diferente de barragem para a disposição da lama. Mais raro ainda é o caso do órgão licenciador exigir o estudo de outro tipo de disposição.

No rol das MTD aplicadas aos rejeitos úmidos, estão apresentadas as principais tendências mundiais de “novos métodos de disposição” de rejeitos de mineração, em substituição às barragens de rejeitos clássicas. A expressão “novos métodos de disposição” contem implícita uma expectativa de inovação na técnica de disposição. Entretanto, alguns dos métodos hoje chamados de novos, embora contenham

aspectos de desenvolvimento recente, foram iniciados há algumas décadas e vêm sendo aprimorados ao longo do tempo.

3.1 DISPOSIÇÃO DE REJEITOS PRIORIZANDO O DESAGUAMENTO

Como a água é o principal agente instabilizador, incorporando o risco de propagação dos danos, as tecnologias alternativas de disposição devem priorizar o desaguamento dos rejeitos, sempre que possível.

Esses métodos de disposição procuram reduzir o grau de saturação da polpa de rejeitos através da drenagem da água dos poros ou da evaporação. Os objetivos principais dos novos métodos de disposição são:

- Maior capacidade de armazenamento em uma mesma área;
- Maior aproveitamento da água;
- Aumento da segurança;
- Vantagens para o fechamento;
- Menor chance de contaminação.

O método de disposição a aplicar depende das características dos rejeitos. Para isso são descritos, a seguir, os dois tipos básicos de rejeitos:

- a) os que contêm uma fração expressiva de material arenoso/siltoso, com baixo teor de argila e de grande conteúdo de fração granular (**rejeitos arenosos**);
- b) os que contêm maior conteúdo de material mais fino, predominando argila e silte, com fração mínima de areia (**rejeitos finos**).

Os dois tipos de rejeitos podem ser dispostos por métodos que retiram água dos mesmos:

- No caso dos rejeitos arenosos, a água é retirada por drenagem;
- No caso dos rejeitos argilosos, a evaporação e a filtração são os principais agentes da retirada da água.

A seguir, são apresentadas as principais alternativas tecnológicas para disposição de rejeitos que estão sendo utilizadas no mundo, focadas no desaguamento dos rejeitos.

A - Empilhamento Drenado

Utilizado para rejeitos com baixo teor de argila e de grande conteúdo de fração granular, que têm boa drenabilidade. Não existem estudos conclusivos quanto à porcentagem de argila limite para se utilizar este método de disposição, mas de acordo com Ávila (2015), há indícios que o limite da fração argilosa não deve ser superior a 5%.

Neste método, que ainda considera a concepção de barragem, ao invés de utilizar uma estrutura impermeável de barramento, adota-se uma estrutura drenante, que

não retém a água livre que sai dos poros dos rejeitos, liberando esta água através de um sistema de drenagem interna, de grande capacidade de vazão, ligada aos rejeitos do reservatório.

Este método tem sido utilizado no Brasil, desde a década de 80, embora em poucos casos.

Os objetivos principais do método de empilhamento drenado são:

- Obter um maciço não saturado, portanto com maior estabilidade;
- Obter maior densidade e, portanto, maior capacidade e vida útil;
- Obter menor potencial de dano em uma eventual ruptura;
- Obter maior facilidade para o fechamento e recuperação ambiental;

Mesmo se tratando de um ganho da segurança, por não reter a água no reservatório da estrutura, esse tipo de estrutura, ainda se comporta como uma barragem, exigindo uma operação criteriosa.

No Brasil, um exemplo de empilhamento drenado é a Barragem do Germano, que fazia parte do sistema de disposição de rejeitos da SAMARCO (ver **Figura 29**).

O Reservatório do Germano foi formado a partir da construção da Barragem Principal do Germano, em 1976. A mesma entrou em operação em 1977, com a finalidade de receber os rejeitos, arenosos e lama, provenientes da planta de beneficiamento de minério de ferro. A crista da barragem alcançou a elevação 899 m com aproximadamente 120 metros de altura. Em 2008, foi implantada a Barragem de fundão ao lado da Barragem do Germano. Mesmo tendo ocorrido a ruptura da Barragem de Fundão, em 2015, causando sérias avarias no pé do maciço principal da Barragem de Germano, esta estrutura continua estável até o momento.

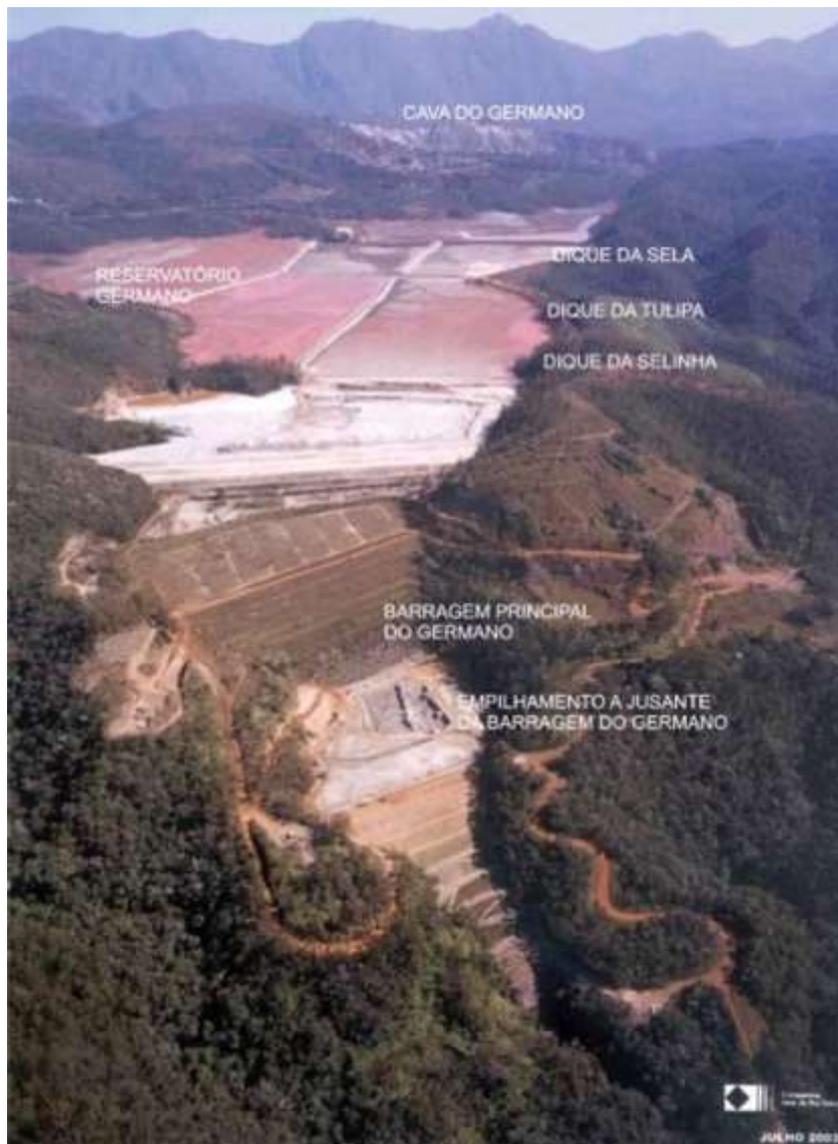


Figura 29 – Vista da Barragem do Germano (empilhamento drenado)

B – Disposição de Rejeitos Finos com Secagem

Dependendo da magnitude e do processo de desaguamento (retirada de água) da polpa de rejeito fino, oriunda do processo de beneficiamento do minério, os rejeitos podem apresentar diferentes estados físicos (polpa, pasta ou massa tipo torta), com comportamentos geotécnicos distintos.

A disposição de rejeitos finos com secagem é uma técnica onde o rejeito é depositado em finas camadas, permitindo-se seu adensamento e drenagem antes do lançamento da camada seguinte, de modo a produzir uma condição do material mais densificada, baixas poropressões e eventualmente sucção. Esta técnica traz benefícios não só por conta de uma maior densificação do material, mas também porque há um significativo aumento da sua resistência.

Algumas vantagens podem ser mencionadas:

- A alta densidade permite reduzir o volume total de estocagem;
- A estabilidade da superfície é muito mais segura do que a deposição a úmido, permitindo uma rápida revegetação;
- O empilhamento a seco pode atingir alturas maiores do que as tecnologias convencionais permitiriam;
- A contaminação da água subterrânea é reduzida;
- É uma tecnologia muito útil em regiões áridas e semi-áridas onde a conservação de água é muito importante;
- O conjunto de características permite reduzir a extensão de áreas para disposição.

A Figura a seguir apresenta aspectos da superfície de uma área de disposição de rejeitos após a combinação de espessamento do rejeito e secagem por evaporação



Figura 30 - Aspecto do rejeito após a combinação de espessamento do rejeito e secagem

Fonte: Sims et alii, 2013

Como desvantagens, tem-se custos de operação elevados e problemas com material particulado, sem contudo, inviabilizar essa opção.

A secagem do rejeito pode ser por evaporação ou por filtração

Secagem Por Evaporação

Uma variante de disposição considera a secagem solar. Essa técnica é particularmente aplicável para áreas onde a taxa de evaporação é elevada. A secagem solar utiliza baias de secagem com baixa profundidade (cerca de 1,0 m) para facilitar a evaporação. Após a secagem o material pode ser removido do local de secagem e disposto em pilhas.

Basicamente procura-se bombear a lama na máxima densidade bombeável com bombas centrífugas, procurando-se obter um teor de sólidos entre 30 e 35% para então ser submetido à evaporação.

Para que a evaporação da água contida no rejeito aconteça mais facilmente, deve-se dividir a área de disposição em leitos de secagem, onde a lama (rejeito) é descarregada até atingir uma determinada altura. Após o lançamento em uma baia de secagem, passa-se a dispor em outra baia de secagem livre e assim por diante. Quando todas as baias de secagem estiverem ocupadas repete-se o ciclo, depositando uma nova camada de lama no leito de secagem inicial. Dessa forma, a diminuição da umidade ocorre por meio da evaporação e da drenagem.

A Figura a seguir apresenta aspectos de rejeito após a secagem por evaporação, simulando baias de secagem.



Figura 31 - Teste de secagem de rejeitos de bauxita

Fonte: Ávila, 2014

É necessário ter diferentes reservatórios para permitir os ciclos de lançamento e de espera. Ou seja, estes reservatórios devem possuir área suficiente para que a disposição ocorra em um dos reservatórios, enquanto a secagem continua em outros.

O número mínimo de reservatórios deve ser calculado considerando diversos fatores como clima, taxa de produção de rejeito, características do próprio rejeito e tipo de instalação de armazenamento. Além disso, em cada reservatório projetado devem ser atendidos alguns aspectos, tais como:

- Espessamento da lama: o espessamento da lama pode ser obtido com a adição de floculadores;
- Bombeabilidade do rejeito: quanto maior o teor de sólidos, maior a declividade da superfície e melhor será a drenagem, sendo o limite prático deste parâmetro a bombeabilidade do rejeito. Acima de determinado valor de teor de sólidos, as bombas centrifugas já não conseguem bombear o rejeito, sendo utilizadas bombas de deslocamento positivo. Em algumas plantas industriais têm-se utilizado o transporte via caminhões ou correias transportadoras, quando o rejeito apresenta alto teor de sólidos.
- Drenagem superficial: o principal aspecto a ser tratado é a remoção da água superficial, seja proveniente dos rejeitos, seja de precipitação de chuva. Para isso, é necessário manter uma declividade mínima que permita um rápido escoamento da água pluvial;

Secagem Por Filtração

Esta técnica tem se desenvolvido devido aos avanços dos sistemas robustos de filtros prensas e filtros a vácuo. O rejeito é desaguado, ficando com menos de 20% de água (dependendo da massa específica). Dessa forma, é permitido o transporte por caminhão ou correia até o local de deposição.

A Figura a seguir apresenta uma amostra de rejeito fino após a passagem pelo filtro-prensa.



Figura 32 - Aspecto do rejeito fino após ser submetido ao processo de filtração

Fonte: Ávila, 2015

O material é disperso e compactado para aumentar a densidade da pilha. Pode-se dizer que a pilha formada pela deposição de rejeito filtrado é muito mais estável do que o local de deposição da pasta.

A Figura a seguir apresenta aspectos do rejeito filtrado em um projeto piloto para a disposição de rejeitos filtrados.



Figura 33 - Rejeito fino após ser submetido ao processo de filtração

Fonte: Nery et alii, 2013

C Rejeitos em Pasta (“paste tailings”)

Um rejeito em pasta apresenta uma consistência típica de pasta de dente, não tende a fluir facilmente se não estiver confinado e não libera água durante a sua disposição final.

Alguns rejeitos espessados de alta densidade também tendem a exibir, pelo menos em certa medida, tais características, podendo ser definido como uma massa viscosa que não apresenta segregação e nem libera, na disposição, significativas quantidades de água.

Entretanto, a terminologia “rejeito em pasta” caracteriza os rejeitos espessados que incorporam algum tipo de aditivo, de preferência polímeros aglutinadores, de forma a se obter a consistência típica destes materiais.

A Figura a seguir ilustra os diferentes visuais que adotam as pastas minerais.



Figura 34 - Aspecto visual de pastas minerais

Fonte - Osório, 2007

3. 2 TECNOLOGIAS CONSIDERANDO A RECICLAGEM DOS REJEITOS

O ideal, na verdade, seria o aproveitamento total de rejeitos para outras finalidades. Assim, haveriam ganhos múltiplos para o meio ambiente e a sociedade, principalmente:

- Evitando impacto em áreas não degradadas;
- Minimizando riscos associados às barragens, pilhas etc;
- Diminuindo custos com a produção de materiais como tijolos, agregados, entre outros.

Várias pesquisas em todo o mundo vêm se desenvolvendo no sentido de descobrir aplicações de usos para os diversos tipos de rejeitos existentes.

Os usos mais comuns dos rejeitos de mineração são aqueles voltados para a construção civil de modo geral. Assim, já foram obtidos bons resultados na utilização de rejeitos como aditivos para fabricação de cimento, uso em concreto, fabricação de tijolos, agregados pavimentação, etc.



Figura 35 - Tijolos produzidos com rejeitos de mineração

Pesquisas realizadas na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), pelo Grupo de Pesquisas RECICLOS-CNPq, apontam para alternativas que poderiam contribuir para a minimização dos impactos ambientais bem como redução dos riscos potenciais das barragens de rejeito de minério de ferro.

Esses rejeitos brutos (retirados diretamente das barragens) poderiam ser aplicados como materiais para infraestrutura urbana e rodoviária ou mesmo como matérias primas para a construção civil e a mineração.

De acordo com os pesquisadores, a adoção destas novas tecnologias reduziria significativamente os volumes das barragens utilizadas atualmente pela atividade mineradora.

O Grupo de Pesquisas RECICLOS-CNPq é coordenado pelo Prof. Ricardo Fiorotti, do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFOP, e conta atualmente com pesquisadores da UFOP e externos, colaboradores externos, alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado. Com todos esses aliados, já foi possível disponibilizar estudos aprofundados sobre a utilização de rejeitos na composição de argamassas de revestimento e assentamento, incorporados ao cimento ou concreto, na fabricação de cerâmicas, uso como pozolanas ou como material de enchimento alternativo (filer) para concretos asfálticos. A ampla gama de possibilidades de destinação, não só possibilita um ganho ambiental muito grande, como também, pode ter uma função social relevante.

O maior desafio para essas aplicações está na escala de utilização de rejeitos. Os volumes de rejeitos gerados ainda são exponencialmente maiores do que as demandas para aplicação desses rejeitos.

Mesmo assim, deve-se persistir nas buscas de novas aplicações e alternativas para a destinação do rejeito de mineração.

4. DISPOSITIVOS QUE REGULAMENTAM/ ORIENTAM A DISPOSIÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

4.1 NO BRASIL

A) LEGISLAÇÃO FEDERAL

Lei 12.305 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Inclui os rejeitos de mineração e funciona como um instrumento a mais para fortalecer a aplicação de MTD.

Lei 12.334 - Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no

9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Esta Lei aplica-se às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

De acordo com essa lei, ficou à cargo do órgão fiscalizador: criar e manter cadastro das barragens sob sua jurisdição, com identificação dos empreendedores, para fins de incorporação ao SNISB; exigir do empreendedor a anotação de responsabilidade técnica, por profissional habilitado pelo Sistema Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) / Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), dos estudos, planos, projetos, construção, fiscalização e demais relatórios citados nesta Lei; exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança; articular-se com outros órgãos envolvidos com a implantação e a operação de barragens no âmbito da bacia hidrográfica; exigir do empreendedor o cadastramento e a atualização das informações relativas à barragem no SNISB; informar imediatamente à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) qualquer não conformidade que implique risco imediato à segurança ou qualquer acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.

No caso das barragens de mineração, o órgão fiscalizador é o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), sem prejuízo dos órgãos ambientais e outros.

Definição de barragens de mineração, segundo o DNPM: barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas (retificação DOU - 14/09/2012) localizados no interior da área concedida ou área de servidão, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração, descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas.

PORTARIA DNPM Nº 416, DE 03 DE SETEMBRO DE 2012 - Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.

Os pontos fortes dessa Portaria são:

- ✓ Introduz os critérios de “**categoria de risco**” (estado e conservação) para classificação das barragens, além do potencial de danos associado.
- ✓ Detalha a estrutura e o conteúdo mínimo do **Plano de Segurança de Barragens – PSB**;
- ✓ Estabelece estrutura e conteúdo mínimo da **Revisão Periódica de Segurança de Barragem**, parte integrante do Plano de Segurança da Barragem, que tem por objetivo verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.
- ✓ Cria a obrigatoriedade das **Inspeções Especiais**. Sempre que detectadas anomalias na barragem de mineração deverão ser realizadas Inspeções de Segurança Especiais semanalmente, ou em menor prazo.

PORTARIA Nº 526, DE 09 DE DEZEMBRO DE 2013: Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM), conforme art. 8º, 11 e 12 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e art. 8º da Portaria nº 416, de 3 de setembro de 2012.

Os pontos fortes dessa Portaria são:

- ✓ Estabelece **condições, formato e conteúdo mínimo** a ser abordado no PAEBM.
- ✓ Cria a obrigatoriedade da **entrega de cópias físicas do PAEBM para as Prefeituras e Defesas Cíveis municipais e estaduais afetadas**, além de cópia digital para o CENAD através do sítio eletrônico do referido Centro.
- ✓ Cria a **obrigação de atualizar o PAEBM sempre que houver alguma mudança** nos meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situação de emergência, bem como deverá o empreendedor notificar as entidades identificadas no art. 8º desta Portaria sobre a mudança do coordenador do PAEBM.
- ✓ Esclarece sobre **responsabilidades e qualificações dos envolvidos** nas ações emergenciais.
- ✓ Exige **treinamentos de equipes**

- ✓ Estabelece **critérios para se identificar as situações de emergências** e cria rotinas para serem adotadas nessas situações.

B) LEGISLAÇÃO ESTADUAL - MG

DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 62, DE 17 DE DEZEMBRO 2002: Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

Os pontos fortes dessa Deliberação Normativa são:

- ✓ Estabelece os **critérios de classificação de barragens**, sendo que a periodicidade deve variar de acordo com a classificação da barragem: Barragens Classe III, auditoria a cada 1 ano; Barragens Classe II, auditoria a cada 2 anos; Barragens Classe I, auditoria a cada 3 anos.
- ✓ Prevê **documentação mínima obrigatória para implantação e operação e fechamento de barragens** (Projeto de concepção do sistema), incluindo a caracterização preliminar do conteúdo a ser disposto; Projeto executivo da barragem, incluindo caracterização físico-química do conteúdo a ser disposto, estudos geológico-geotécnicos da fundação, execução de sondagens e outras investigações de campo, coleta de amostras e execução de ensaios de laboratórios dos materiais de construção, estudos hidrológico-hidráulicos e plano de instrumentação; Manual de operação do sistema, incluindo procedimentos operacionais e de manutenção, frequência de monitoramento, níveis de alerta e emergência da instrumentação instalada; Análise de desempenho do sistema e elaboração de plano de contingência, com informação às comunidades; Plano de desativação do sistema; Supervisão da construção da barragem e elaboração de relatórios *as built* (como construído);
- ✓ Prevê a criação das **auditorias de segurança das barragens**.
- ✓ Prevê a **criação do Cadastro de Barragens**

DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 87, DE 17 DE JUNHO DE 2005: Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM N.º 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

Os pontos fortes dessa Deliberação Normativa são:

- ✓ **Obriga todas as barragens a passar por Auditoria Técnica de Segurança**, sendo que a periodicidade deve variar de acordo com a classificação da barragem: Barragens Classe III, auditoria a cada 1 ano; Barragens Classe II, auditoria a cada 2 anos; Barragens Classe I, auditoria a cada 3 anos.
- ✓ **Prevê que as Auditorias Técnicas de Segurança devem ser independentes**, ou seja, devem ser feitas por profissionais externos ao

quadro de funcionários da empresa, para garantir clareza e evitar conflito de interesses, e executadas por especialistas em segurança de barragens;

- ✓ Uma **auditoria** de idêntica natureza **deverá ser sempre solicitada** ao empreendedor, **quando ocorrer qualquer tipo de evento imprevisto na operação da barragem, ou quando houver alteração programada nas características das estruturas**, devendo ser entregue à FEAM o Relatório da Auditoria de Segurança no prazo de até 120 (cento e vinte) dias, contados a partir da solicitação.
- ✓ Esclarece que a **realização de auditoria de segurança não dispensa o licenciamento ambiental da alteração programada nas características da estrutura da barragem.**
- ✓ Lista a **documentação mínima necessária para a formalização do processo de Licença de Instalação de novas barragens** (sumário descritivo da barragem, contendo descrição da geologia local e sua influência, tecnicamente fundamentada, do ponto de vista geotécnico, ambiental e de segurança; tratamento da fundação; relação dos projetos que foram feitos, incluindo datas de elaboração, nome e número do CREA dos respectivos projetistas; descrição da rotina de monitoramento a ser adotada; Mapa de localização da barragem, indicando a hidrografia e os principais aspectos de uso e ocupação do solo; Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do(s) responsável (is) técnico(s) pelo projeto e pela implantação da barragem; Desenhos técnicos: Planta com arranjo geral, com apresentando a barragem e o reservatório; Planta da barragem; Seção transversal da barragem; Seção longitudinal pelo eixo da barragem; Planta e seções de Instrumentação).
- ✓ Prevê que o COPAM deverá **constituir Grupos Multidisciplinares de Trabalho para propor critérios de cadastro e de classificação quanto ao potencial de dano ambiental**, bem como propor providências necessárias para a adequação dos procedimentos de segurança a serem adotados nas seguintes estruturas: Pilhas de rejeitos de mineração; Barragens de infraestrutura para fins de geração de energia elétrica (usinas hidrelétricas) e para captação de água.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 124, DE 09 DE OUTUBRO 2008:
complementa a Deliberação Normativa COPAM Nº 87, de 06/09/2005, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

Os pontos fortes dessa Portaria são:

- ✓ **Altera a data limite anual da Auditoria Técnica de Segurança**, passando para setembro, em vez de março. A vantagem está no fato de que a avaliação é feita imediatamente antes do período de chuvas que é a época crítica das barragens.

- ✓ Cria o **modelo da Declaração de Condição de Estabilidade** forçando o auditor a se posicionar se a estrutura **é estável, instável ou estável sob condições específicas**. Nas auditorias anteriores, era comum o auditor não se posicionar quanto à situação real da barragem, deixando a interpretação vaga.

DECRETO ESTADUAL 46993/2016: do Governo de Minas Gerais, instituindo a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem a ser realizada em todos os empreendimentos que fazem a disposição final ou temporária de rejeitos de mineração em barragens que utilizem ou que tenham utilizado o método de alteamento para montante, entre outras providências. Nos artigos 7º e 8º deste Decreto, é abordado o licenciamento de barragens com alteamentos a montante. De acordo com esses artigos, estão suspensos os processos novos de licenciamento, seja para implantação ou seja para ampliações, das barragens que têm ou já tiveram alteamentos a jusante.

C) NORMAS BRASILEIRAS - NBRs

As NBRs são as Normas Brasileiras aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, estabelecidas de acordo com um consenso entre pesquisadores e profissionais da área.

NBR 13.028: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Esta Norma especifica os requisitos mínimos para elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos e reservação de água em mineração, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente. Encontra-se em fase de revisão.

NBR 13.029: Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Esta Norma especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de pilha para disposição de estéril gerado por lavra de mina e céu aberto ou de mina subterrânea, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente.

4.2 INTERNACIONAIS

No estudo comparativo entre as legislações mundiais sobre barragens, elaborado pelo Banco Mundial (Bradlow, Palmieri e Salman, 2002), é possível ver que cada país trata suas barragens de forma diferenciada. Entretanto, algumas diretrizes são comuns em quase todos os que têm tradição mineradora, entre elas, um organismo estruturado que responde pela fiscalização e acompanhamento das barragens. No Chile e Austrália, por exemplo, esse organismo é estatal, enquanto no Canadá é uma associação mantida pelos mineradores.

Dentre as diretrizes internacionais, aquelas ditadas por países como Canadá, Chile, Austrália e África do Sul, com longa e vasta experiência em mineração, são reconhecidas no mundo como “boas práticas” e muitas empresas de outros países as seguem.

Além arcabouço de legislações e diretrizes praticados nos países tradicionalmente mineradores, outros organismos internacionais também publicam guias de boas práticas que já são amplamente difundidos e adotados.

A seguir, são apresentados alguns exemplos de publicações abordando as “boas práticas” da engenharia.

A Guide to the Management of Tailings Facilities: aprovado pela Mining Association of Canada.

Conjunto de Regulamentos do Código de Águas do Chile: estabelecendo as condições técnicas que deverão ser cumpridas nos projetos, construções e operações de obras hidráulicas.

Improving Tailings Dam Safety: Boletim 139 da International Commission on Large Dams, onde são discutidos os aspectos críticos da gestão, projeto, operação e fechamento de barragens de rejeitos.

5. CONCLUSÃO

A dependência da sociedade em relação aos recursos minerais cresce dia a dia. Além disso, os recursos tecnológicos permitem a exploração de minérios com teores cada vez mais baixos. Ambos os fatores, tornam inevitável o crescimento da geração de rejeitos.

O que se tem observado é que a medida que os volumes de rejeitos gerados aumentam, as barragens vão sendo construídas com elevações cada vez maiores. Entretanto, o uso dos recursos tecnológicos para garantir a segurança não vem acompanhando tal evolução, expondo a sociedade e o meio ambiente a riscos inadmissíveis.

Os últimos episódios envolvendo rupturas de barragens de rejeitos foram trágicos, em especial o caso da SAMARCO. Tais acontecimentos vêm demonstrando a necessidade urgente de mudar radicalmente os paradigmas da disposição de rejeitos, não admitindo mais a disposição de lamas saturadas, a não ser em casos muito específicos.

Ainda no calor dessa tragédia, percebe-se uma movimentação de vários segmentos da sociedade no encontro de soluções mais seguras e eficientes. Além da campanha Mar de Lama Nunca Mais, normas estão sendo revisadas, assim como os requisitos exigidos para projeto, construção, operação e auditorias de barragens de rejeitos. O importante, é que as lições sejam aprendidas, evitando novas tragédias.

As barragens de rejeitos com alteamento por montante, apesar de tantos pontos desfavoráveis e de tantos sinistros associados a elas, continuam sendo a opção preferida das mineradoras, justificada apenas pelo baixo custo de sua implantação.

Na verdade, quando se pondera apenas custo de implantação e operação de uma barragem, sem contemplar a valoração do impacto e dos riscos potenciais, não está sendo discutida a totalidade dos custos dessa barragem, conforme ironiza a figura abaixo.

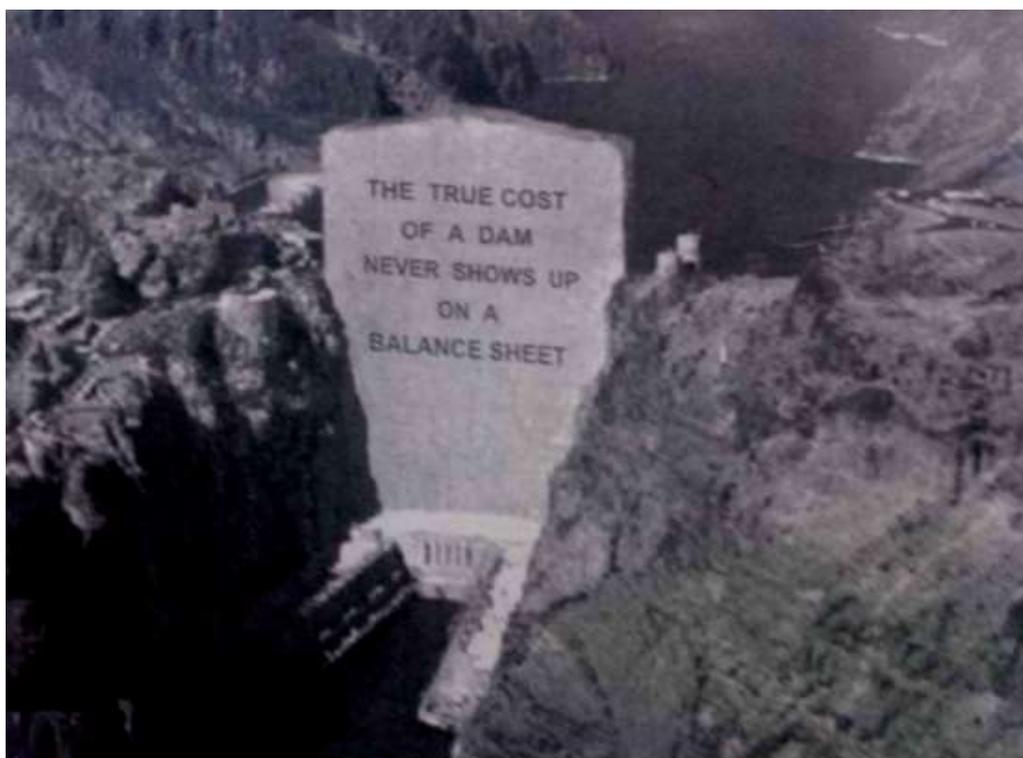


Figura 36 - Imagem ironizando quanto custa o potencial de dano de uma barragem
Fonte: CIGB/ICOLD, 2003

A preferência pelas barragens alteadas por montante, muitas vezes, contraria o que se espera de uma disposição segura de rejeitos: a minimização dos riscos para a população e o meio ambiente, a diminuição da necessidade de impactar áreas com a disposição de rejeitos, a otimização do uso da água no empreendimento mineral e a reciclagem de resíduos de mineração.

A tendência é que os elevados riscos associados à disposição de rejeitos em barragens, especialmente naquelas alteadas por montante, devam dar lugar à adoção de tecnologias de rejeitos que promovam a reutilização dos mesmos ou o desaguamento, visando vantagens ambientais e maior segurança.

É urgente que a sociedade como um todo mude a forma de pensar a relação “processo produtivo x meio ambiente”. Dentre as soluções para o impasse entre a necessidade do desenvolvimento e o desejo de preservação ambiental, deve-se fortalecer a ligação dinâmica entre o Direito e a Técnica, incorporando definitivamente a cultura de Melhores Técnicas Disponíveis.

A redução do teor de umidade dos rejeitos e sua disposição com baixo grau de saturação é o processo mais promissor para redução de riscos a custos efetivos, no curto prazo.

Para rejeitos granulares existem experiências bem-sucedidas com pilhas de grande altura. Enquanto, para rejeitos finos a retirada de água através do espessamento, secagem solar ou filtração torna possível a disposição com baixo grau de saturação.

Todas essas tecnologias trazem grandes vantagens em relação ao potencial de dano, diminui os riscos e facilita o fechamento do local de disposição, além de diminuir a necessidade de monitoramento no longo prazo (pós-fechamento).

Na impossibilidade de substituir barragens para contenção de rejeitos por outras tecnologias, deve-se dar preferência por barragens convencionais, com controle do material utilizado e da compactação. Na necessidade, ainda, de ampliação dos reservatórios já existentes, deve-se dar prioridade ao alteamento por jusante que proporciona mais segurança.

Paralelamente, à adoção de metodologias que incorporam o desaguamento dos rejeitos, deve-se continuar buscando o aprimoramento das técnicas de aplicação de rejeitos em usos diversos, até que um dia, grande parte dos rejeitos produzidos possam ser reutilizados, proporcionando uma verdadeira solução ambiental com ganhos socioeconômicos reais.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARAÚJO, C. B. Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

ÁVILA, J.P. A Disposição de Rejeitos Sem Barragens In: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, REGEO, 2011.

ÁVILA, J.P. The disposal of granular tailings by drained stacking to achieve a low degree of saturation, reducing risks of instability. In: 2ND INTERNATIONAL SEMINAR ON TAILINGS MANAGEMENT, Antofagasta, Chile, 2014.

ÁVILA, J.P. Acidentes em Barragens de Rejeitos no Brasil. In: DEBATE SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS – Clube de Engenharia, RJ, 2015.

BRADLOW, PALMIERI & SALMAN. Regulatory Frameworks for Dam Safety - A Comparative Study. The World Bank, Washington DC, 2002.

CIGB/ICOLD. The Dams Newsletter N.1. Disponível em www.icold-cigb.org. 2003

DUARTE, A. P. Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais em Relação ao Potencial de Risco. Dissertação de Mestrado. Departamento de Saneamento, Meio

Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. Belo Horizonte, 2008.

LOUBET, L.F. Licenciamento Ambiental: A Obrigatoriedade da Adoção das Melhores Técnicas Disponíveis (MDT). Belo Horizonte, 2014.

NERY, K.D. Evaluation of Field Compaction of a Filtered Residue From Alumina Production In: PASTE, Canadá, 2013.

OSÓRIO, C. A. H. Efeito da Adição de Reagentes Agregantes e de Ligantes sobre a Consistência em Pastas Mineraias. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG. Belo Horizonte, 2007.

ROBERTSON, A. Challenges & Solutions Beyond Incremental Changes. In: Tailings and Mine Waste, Vancouver, BC, 2011.

SIMMS, et Alii. Desiccation in Dewatering and Strength Development of High Density Hard Rock Tailings. In: PASTE, Canadá, 2013.

VEIGA PINTO, A. Gestão de Riscos e Segurança de Barragens. In: 3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados – Rio de Janeiro, 2008

Belo Horizonte, 02 de maio de 2016.

Marta Aparecida Sawaya Miranda
Geóloga – CREA – 77.973/D
Analista do Ministério Público – MAMP 2663



Poder Judiciário do Estado de Minas Gerais
Justiça de Primeira Instância

PODER JUDICIÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

COMARCA DE BELO HORIZONTE

22ª Vara Cível da Comarca de Belo Horizonte

Avenida Raja Gabaglia, 1753, Luxemburgo, BELO HORIZONTE - MG - CEP: 30380-900

PROCESSO Nº: 5013909-51.2019.8.13.0024

CLASSE: AÇÃO CIVIL PÚBLICA (65)

AUTOR: Ministério Público - MPMG

RÉU: VALE S.A.

CERTIDÃO DE TRIAGEM

Certifico que:

não está correta a classe processual / vinculação de assuntos;

não houve juntada de comprovante de recolhimento das custas;

há divergência entre o valor recolhido e o valor efetivo da causa, mencionado na petição inicial;

a parte autora não está regularmente representada;

não houve marcação no sistema do pedido de segredo de justiça, de justiça gratuita, de liminar ou de antecipação de tutela, constante na petição inicial;

não foram apresentados os seguintes documentos relacionados na inicial

há outro processo envolvendo mesmas partes, objeto e causa de pedir, nesta comarca, conforme pesquisa no SISCOM/PJE - Processo n° _____

realizada a conferência inicial, foram feitas, de ofício, as seguintes retificações

realizada a conferência inicial, os documentos apresentados e as informações inseridas no sistema estão em conformidade com as orientações da CGJ (Novo Código de Normas da Corregedoria - Provimento 355).

BELO HORIZONTE, 1 de fevereiro de 2019

ANDREA WERNECK PEREIRA



Poder Judiciário do Estado de Minas Gerais
Justiça de Primeira Instância

PODER JUDICIÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

COMARCA DE BELO HORIZONTE

22ª Vara Cível da Comarca de Belo Horizonte

Avenida Raja Gabaglia, 1753, Luxemburgo, BELO HORIZONTE - MG - CEP: 30380-900

PROCESSO Nº 5013909-51.2019.8.13.0024

CLASSE: AÇÃO CIVIL PÚBLICA (65)

ASSUNTO: [Mineração]

AUTOR: MINISTÉRIO PÚBLICO - MPMG

RÉU: VALE S.A.

Vistos, etc.

Cuida-se de **ação civil pública com pedido de tutela de urgência**, em que a parte autora afirma que a Ré realiza operações de minério de ferro por intermédio das subsidiárias Mineração Corumbaense Reunida S.A. e Minerações Brasileiras Reunidas S.A. Dentre seus empreendimentos, a Ré é responsável pelo complexo minerário Paraopebas - Mina Córrego do Feijão - situada no Município de Brumadinho/MG, local onde houve o rompimento das barragens de rejeito I, IV e IV-A no dia 25/01/2019. Afirma que, segundo informações obtidas no site da Vale S.A. o dano potencial dessas barragens era classificado como alto - classe C. No entanto, essas barragens possuíam laudos que atestavam sua estabilidade e segurança, o que demonstra que a Ré não está adotando medidas minimamente necessárias para manter a segurança de seus empreendimentos, deixando para último plano a incolumidade da vida humana e do meio ambiente.

Diante dos fatos, o Ministério Público requisitou à Ré informações sobre a metodologia, resultados e ranqueamento obtidos pelo setor de gestão de risco geotécnico da empresa, sendo apresentados documentos que demonstram que, em outubro de 2018, a Requerida tinha ciência de que 10 barragens, dentre as 57 avaliadas, estavam na zona de atenção (ALARP ZONE), sendo elas: Barragem Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II, Forquilha III, Barragem I do Complexo Minerário Mina Córrego Feijão e Barragem IV-A do Complexo Minerário Mina Córrego Feijão. Salienta que, das 10 barragens, 2 já se romperam, causando a tragédia de Brumadinho.

Todas essas barragens estão próximas a núcleos urbanos, onde há pessoas residentes/transitando na zona de autossalvamento, em que não há tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes. Os fatos demonstram a necessidade de adoção imediata de medidas para se evitar eventos similares, objetivando neutralizar os riscos sociais e ambientais.

A Constituição da República alçou o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado à categoria de direito fundamental. De sorte que cabe ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo. Assim, requer em sede de tutela seja determinado que a Requerida adote as seguintes providências:

a) apresente, no prazo de 24 horas, relatório a ser elaborado por auditoria técnica independente acerca da estabilidade das barragens Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II, Forquilha III, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários, bem como de quaisquer outras estruturas que estejam em zona de risco ou atenção.

b) elabore e submeta à aprovação da ANM e SEMAD, imediatamente, um plano de ação que garanta a total estabilidade e segurança das barragens acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas, bem como de quaisquer outras estruturas que estejam em zona de risco ou atenção.

c) execute imediatamente todas as medidas necessárias para garantir a estabilidade e seguranças das barragens acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas, bem como de quaisquer outras

estruturas que estejam em zona de risco ou atenção. Devendo ser observadas as recomendações da equipe de auditoria técnica independente e das determinações dos órgãos competentes, noticiando nos autos as providências, no prazo máximo de 24 horas.

d) mantenha a contratação de auditoria técnica independente para acompanhamento e fiscalização das medidas de reparo e reforço das barragens de risco acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas. Devendo apresentar relatórios aos órgãos competentes acerca das providências implementadas e estabilidade das barragens em periodicidade diária até a cessação de risco, ressaltando que a auditoria técnica independente deverá continuar exercendo suas funções até que reste atesta por ela que todas as estruturas de contenção de rejeitos mantiveram, pelo período ininterrupto de 01 ano, coeficiente de segurança superior ao indicado pela legislação, normas técnicas vigentes e melhores práticas internacionais.

e) elabore e submeta à aprovação dos órgãos competentes, no prazo máximo de 24 horas um plano de ações emergenciais.

e.1) seja comunicado nestes autos a lista de pessoas cadastradas como residentes na zona de autossalvamento das estruturas de risco, no prazo de 24 horas.

e.2) adotar todas as medidas necessárias para pronta e efetiva comunicação de toda a população que estiver situada na área de autossalvamento e imediata realocação em caráter provisório e emergencial, caso verifique a inexistência atual de condições de segurança e/ou se o relatório elaborado por auditoria técnica independente não atestar a estabilidade de quaisquer estruturas.

f) elabore, submeta à aprovação dos órgãos competentes e execute, no prazo de 48 horas, o plano de segurança das barragens de risco acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas.

g) comunique imediatamente aos órgãos competentes qualquer situação de elevação/incremento de risco de rompimento das barragens de risco e quaisquer outras estruturas de sua responsabilidade.

h) abstenha-se de lançar rejeitos ou praticar atividades que possam incrementar o risco das barragens e quaisquer outras estruturas que estejam em cona de riscou ou atenção.

Por fim, requer aplicação de multa diária de R\$1.000.000,00 (um milhão de reais), no caso de descumprimento da decisão.

É o relatório. Decido.

Nos termos do art. 300, do CPC, a tutela de urgência será concedida quando houver elementos que evidenciem a probabilidade do direito e o perigo de dano ou o risco ao resultado útil do processo e não será concedida quando houver perigo de irreversibilidade dos efeitos da decisão, de acordo com a legislação processual vigente.

A plausibilidade consiste na probabilidade de que a versão alegada seja a verdadeira, podendo-se assim concluir até prova em contrário, ou seja, um juízo prévio, arrimado naquilo que o postulante apresenta, com evidência suficiente para a decisão favorável.

O perigo de dano revela-se como um risco que pode ser considerado palpável, no sentido de que a demora da prestação jurisdicional possa comprometer, substancialmente, a satisfação do direito subjetivo da parte.

Há previsão de concessão liminar na Lei de Ação Civil Pública (Lei nº 7.347/85), notadamente em seu artigo 12, que dispõe o seguinte: "Poderá o juiz conceder mandado liminar, com ou sem justificação prévia, em decisão sujeita a agravo".

No caso dos autos, visa-se a tutelar o meio ambiente e o direito a vida, que se encontram em evidente perigo, diante do risco de rompimento das estruturas localizadas na zona de atenção.

Na qualidade de titular de empreendimento minerário e objetivamente responsável pelos riscos inerentes à sua atividade, a Ré tem o dever de assegurar a estabilidade das barragens de rejeitos e demais estruturas integrantes de seus complexos de mineração, nesse sentido estabelece a Lei Federal 12.334/2010, a qual tratou da política nacional de segurança de barragens.

Impõe-se destacar que é permitido ao empreendedor exercer uma atividade

perigosa autorizada, lado outro, os consumidores e cidadãos em geral tem o direito subjetivo à vida, à incolumidade física e patrimonial, decorrendo daí o dever de segurança, como ensina Sérgio Cavalieri: "*Se, de um lado, a ordem jurídica permite e até garante a liberdade de ação, a livre iniciativa, etc, de outro, garante também a plena e absoluta proteção do ser humano*".

Continuando com Cavalieri (Programa de Responsabilidade Civil, 13ª ed. 277) o art. 927 do CCB abarca "*toda atividade que contenha risco inerente, excepcional ou não, desde que intrínseco, atado à sua própria natureza. E assim nos parece porque pela teoria do risco criado, que também pode ser chamada de risco de atividade, todo aquele que se disponha a exercer alguma atividade empresarial ou profissional tem o dever de responder pelos riscos que ela possa expor à segurança e à incolumidade de terceiros, independentemente de culpa. Essa obrigação é inerente ao dever de obediência às normas técnicas e de segurança, bem como aos critérios de lealdade, quer perante os bens e serviços ofertados, quer perante os destinatários dessas ofertas. A responsabilidade decorre do simples fato de dispor-se alguém a realizar determinados serviços. O fornecedor passa a ser o garante dos serviços que oferece, respondendo pela segurança dos mesmos*".

No mesmo sentido, dispõe o art. 14 do CDC: "*O fornecedor de serviços responde, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos relativos à prestação dos serviços, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua fruição e riscos*".

Destaque-se que havendo risco de prejuízos sérios e irreversíveis ao meio ambiente e à sociedade, em observância ao princípio da precaução e da teoria do risco integral, devem ser adotadas medidas eficazes para prevenir a degradação.

O princípio da precaução constitui um dos principais vetores do regime jurídico da responsabilidade civil ambiental, sendo adotado expressamente pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992.

De sorte que, havendo a constatação do possível dano ao meio ambiente, devem ser adotadas medidas eficazes, sendo possível a inversão do ônus da prova para atribuir à empresa o encargo de provar a segurança do empreendimento, a teor do disposto no art. 6º, inc. VIII, da Lei n. 8.078/1990 c/c art. 21 da Lei n. 7.347/1985, conjugado ao princípio da precaução (Lei n. 6.938/1981).

Nesse sentido:

AGRAVO REGIMENTAL NO AGRAVO EM RECURSO ESPECIAL.
DIREITO CIVIL E DIREITO AMBIENTAL. USINA HIDRELÉTRICA.
CONSTRUÇÃO. PRODUÇÃO PESQUEIRA. REDUÇÃO.
RESPONSABILIDADE OBJETIVA. DANO INCONTESTE. NEXO
CAUSAL. PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO. INVERSÃO DO ÔNUS DA
PROVA. CABIMENTO. PRECEDENTES. INOVAÇÃO EM RECURSO
ESPECIAL. NÃO OCORRÊNCIA.

1. A Lei nº 6.938/1981 adotou a sistemática da responsabilidade objetiva, que foi integralmente recepcionada pela ordem jurídica atual, de sorte que é irrelevante, na espécie, a discussão da conduta do agente (culpa ou dolo) para atribuição do dever de reparação do dano causado, que, no caso, é inconteste.

2. O princípio da precaução, aplicável à hipótese, pressupõe a inversão do ônus probatório, transferindo para a concessionária o encargo de provar que sua conduta não ensejou riscos para o meio ambiente e, por consequência, para os pescadores da região.

3. Não há inovação em recurso especial se, ainda que sucintamente, a matéria foi debatida no tribunal de origem.

4. Agravo regimental não provido. (AgRg no AREsp n. 183.202/SP, Rel. Ministro RICARDO VILLAS BÔAS CUEVA, TERCEIRA TURMA, julgado em 10/11/2015, DJe 13/11/2015.)

Por outro lado, o risco intrínseco, atado à própria natureza da atividade, que se tornou anormal e imprevisível no momento em que três barragens de grande porte ruíram em poucos anos - sendo que a Barragem I e a Barragem IV-A do complexo Minerário Mina Córrego Feijão, além de outras oito que estão em situação de maior risco, foram indicadas como seguras segundo laudos técnicos aventados pela ré que atestavam estabilidade e segurança -, demonstra serviços de prevenção e alarme defeituosos, provocando um risco adquirido.

Com efeito, os documentos colacionados pelo Ministério Público, máxime em Id 60842476, p. 22, e 60842464, p. 23, aventam que em outubro de 2018 já havia sido constatado pela ré o grau de risco de rompimento das barragens

indicadas.

Sendo assim, impõe-se a determinação de medidas para assegurar a preservação do meio ambiente e a primazia da segurança humana face os ganhos econômicos.

Diante do exposto, **DEFIRO a TUTELA PROVISÓRIA** para determinar que a Requerida adote as seguintes providências:

a) apresente, no prazo de 24 horas, relatório a ser elaborado por auditoria técnica independente acerca da estabilidade das barragens Laranjeiras, Menezes II, Capitão do Mato, Dique B, Taquaras, Forquilha I, Forquilha II, Forquilha III, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários, bem como de quaisquer outras estruturas que estejam em zona de risco ou atenção.

b) elabore e submeta à aprovação da ANM e SEMAD, imediatamente, um plano de ação que garanta a total estabilidade e segurança das barragens acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas, bem como de quaisquer outras estruturas que estejam em zona de risco ou atenção.

c) execute imediatamente todas as medidas necessárias para garantir a estabilidade e seguranças das barragens acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas, bem como de quaisquer outras estruturas que estejam em zona de risco ou atenção. Devendo ser observadas as recomendações da equipe de auditoria técnica independente e das determinações dos órgãos competentes, noticiando nos autos as providências, no prazo máximo de 24 horas.

d) mantenha a contratação de auditoria técnica independente para acompanhamento e fiscalização das medidas de reparo e reforço das barragens de risco acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas. Devendo apresentar relatórios aos órgãos competentes acerca das providências implementadas e estabilidade das barragens em periodicidade diária até a cessação de risco, ressaltando que a auditoria técnica independente deverá continuar exercendo suas funções até que reste atesta por ela que todas as

estruturas de contenção de rejeitos mantiveram, pelo período ininterrupto de 01 ano, coeficiente de segurança superior ao indicado pela legislação, normas técnicas vigentes e melhores práticas internacionais.

e) elabore e submeta à aprovação dos órgãos competentes, no prazo máximo de 24 horas um plano de ações emergenciais.

e.1) seja comunicado nestes autos a lista de pessoas cadastradas como residentes na zona de autossalvamento das estruturas de risco, no prazo de 24 horas.

e.2) adotar todas as medidas necessárias para pronta e efetiva comunicação de toda a população que estiver situada na área de autossalvamento e imediata realocação em caráter provisório e emergencial, caso verifique a inexistência atual de condições de segurança e/ou se o relatório elaborado por auditoria técnica independente não atestar a estabilidade de quaisquer estruturas.

f) elabore, submeta à aprovação dos órgãos competentes e execute, no prazo de 48 horas, o plano de segurança das barragens de risco acima mencionadas, de todas as demais estruturas de contenção de rejeitos e outras existentes nos complexos minerários onde estão situadas as referidas estruturas.

g) comunique imediatamente aos órgãos competentes qualquer situação de elevação/incremento de risco de rompimento das barragens de risco e quaisquer outras estruturas de sua responsabilidade.

h) abstenha-se de lançar rejeitos ou praticar atividades que possam incrementar o risco das barragens e quaisquer outras estruturas que estejam em cona de riscou ou atenção.

Para a hipótese de quebra do preceito, fixo multa diária de R\$1.000.000,00 (um milhão de reais).

Expeça-se, **COM URGÊNCIA**, mandado/carta precatória para cumprimento da medida.

Diante das especificidades da causa e de modo a adequar o rito processual às necessidades do conflito, deixo para momento oportuno a análise da conveniência da audiência de conciliação, o que faço nos termos do art.139, VI do CPC e do Enunciado n. 35 da ENFAM.

Cite(m)-se o(s) Réu(s) para os termos desta ação, convocando(s)-o(s) para integrar a relação processual, sendo que o ato citatório deverá conter as advertências e ressalvas legais, mormente aquelas previstas nos §§8º, 9º e 10, do artigo 334, no artigo 341 e no artigo 344, todos do CPC, além de constar o prazo legal de quinze para contestar.

Não sendo a hipótese de expedição de carta precatória para citação (nesse caso o prazo de cumprimento será de 60 dias) ou não tendo sido requerida justificadamente a citação por Oficial de Justiça, a citação deve ser feita pelo correio, com observância do artigo 248 do CPC, salvo se for um dos casos elencados no artigo 247 do mesmo diploma legal.

Apresentada contestação, a parte autora deverá ser intimada para se manifestar sobre a mesma no prazo de quinze, atentando-se, se for o caso, para as disposições do artigo 338 do CPC. Ainda, tendo sido apresentada reconvenção, deve a parte, no mesmo prazo acima apresentar contestação.

Caso caracterizada a hipótese do artigo 338 do CPC, na forma do seu parágrafo único, fixo os honorários em 3% do valor da causa, caso este seja superior a R\$30.000,00, pois no caso do valor da causa ser inferior a tal montante, ficam os honorários fixados em R\$957,00.

Em caso de reconvenção, após apresentada a contestação pelo(s) Autor(es)/Reconvindo(s), deve o Réu/Reconvinte ser intimado para apresentar impugnação no dez dias.

Até esta fase processual, a Secretaria deve proceder às intimações determinadas sem encaminhamento à conclusão dos autos, salvo se houver algum pedido das partes nesse sentido.

BELO HORIZONTE, 1 de fevereiro de 2019

Visualizaçãõ do documento bloqueada enquanto nãõ houver
ciãncia de seus destinatãrios



Poder Judiciário do Estado de Minas Gerais
Justiça de Primeira Instância

PODER JUDICIÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

COMARCA DE BELO HORIZONTE

22ª Vara Cível da Comarca de Belo Horizonte

Avenida Raja Gabaglia, 1753, Luxemburgo, BELO HORIZONTE - MG - CEP: 30380-900

CERTIDÃO

PROCESSO Nº 5013909-51.2019.8.13.0024

CLASSE: AÇÃO CIVIL PÚBLICA (65)

AUTOR: MINISTÉRIO PÚBLICO - MPMG

RÉU: VALE S.A.

Certifico e dou fé que distribuí a carta precatória de urgência conforme determinado em despacho. Certifico, ainda, que, embora tenhamos tentado contato com todos os telefones disponíveis, não conseguimos contato com nenhum setor de plantão de Nova Lima. Segue o recibo de distribuição em anexo.

BELO HORIZONTE, 1 de fevereiro de 2019.



Comprovante de protocolo

Processo

Número do processo: **5000326-89.2019.8.13.0188**
Órgão julgador: **1ª Vara Cível da Comarca de Nova Lima**
Jurisdição: Nova Lima
Classe: CARTA PRECATÓRIA CÍVEL (261)
Assunto principal: Citação
Valor da causa: R\$ 500.000.000,00
Segredo de justiça: Sim
Medida de urgência: Sim
Partes: MINISTERIO PUBLICO DE MINAS GERAIS
VALE S.A. (33.592.510/0007-40)

Audiência

| Documentos protocolados | Tipo | Tamanho (KB) |
|---|--------------------------|--------------|
| Petição Inicial | Petição Inicial | 0,07 |
| 5013909-51.2019.8.13.0024_favoritos.pdf | Documento de Comprovação | 1211,51 |
| doc00238020190201192043.pdf | Carta Precatória | 190,32 |
| Certidão | Certidão | 0,07 |
| 5013909-51.2019.8.13.0024_favoritos.pdf | Documento de Comprovação | 1211,51 |
| doc00238020190201192043.pdf | Carta Precatória | 190,32 |

Assuntos

DIREITO PROCESSUAL CIVIL E DO TRABALHO/Objetos de cartas precatórias/de ordem/Citação

Lei

DEPRECANTE

MINISTERIO PUBLICO DE MINAS GERAIS

DEPRECADO

VALE S.A.

Distribuído em: 01/02/2019 19:46

Protocolado por: ANA CRISTINA MATOS DE QUEIROZ