



Desafios e Avanços na Gestão de Rejeitos de Mineração no Brasil

Prof. Dr. Roberto Kochen – Presidente e Diretor Técnico

kochen@geocompany.com.br

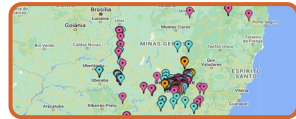
MSc. Danielle Melo – Coordenadora de Projetos

danielle.melo@geocompany.com.br

www.geocompany.com.br



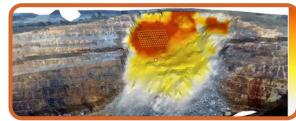
Agenda



Panorama brasileiro



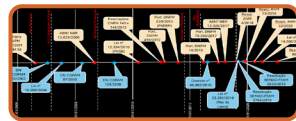
Avaliação e Gestão de Riscos



Monitoramento e Ensaio



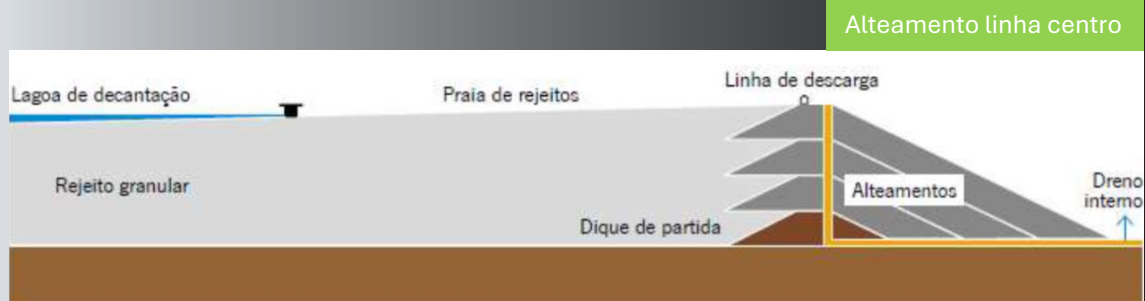
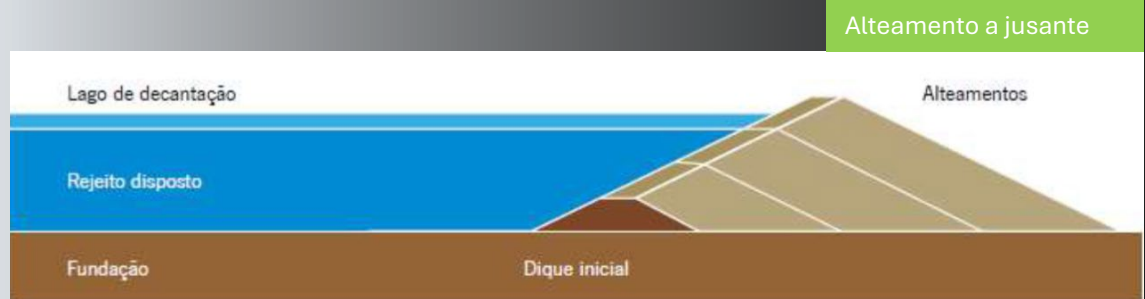
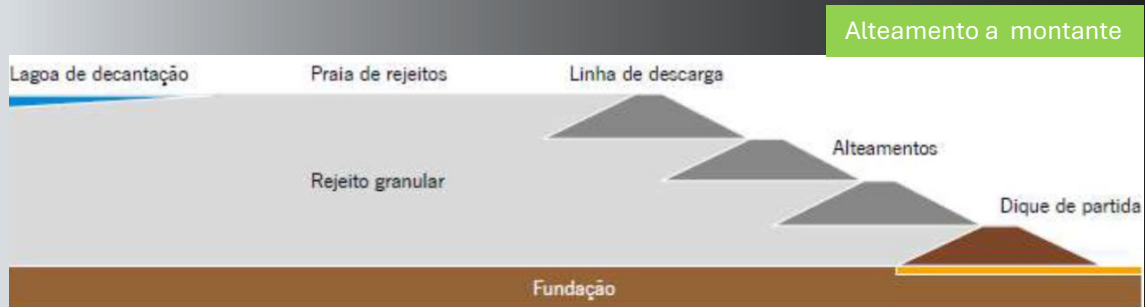
Casos emblemáticos



Legislação



Políticas atuais



No Brasil as barragens são a forma mais comum de disposição de rejeitos úmidos em superfície através de lançamento direto

- Utilização do próprio rejeito como material de construção
- Múltiplos alteamentos diluindo investimentos ao longo do tempo

- Brasil possui 890 Barragens de contenção de rejeitos de mineração

Total de Barragens: 890

Total de Barragens com DPA – Alto: 268

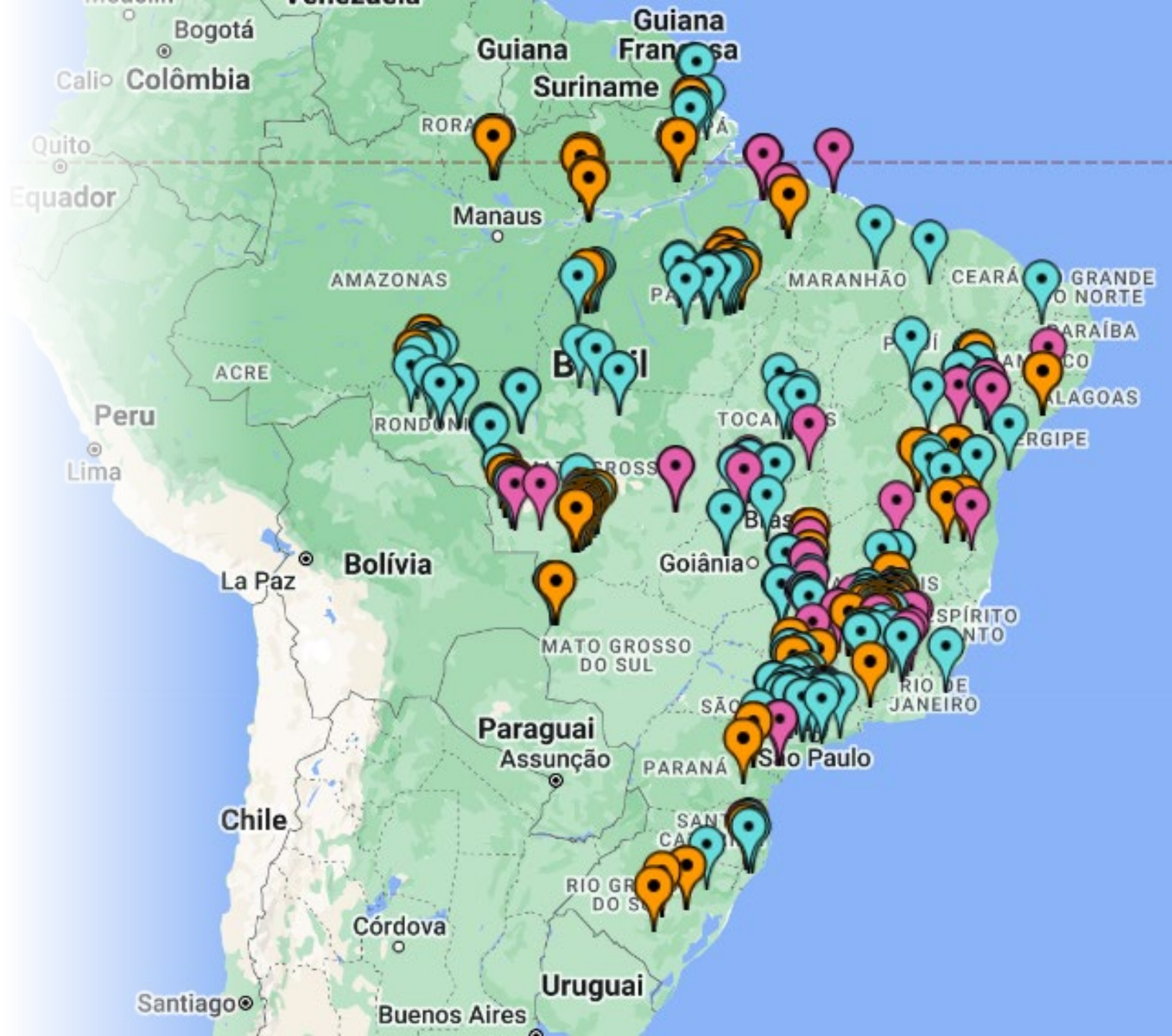
Total de Barragens com DPA – Médio: 156

Total de Barragens com DPA – Baixo: 466

LEGENDA:

- Dano Potencia Associado – Alto
- Dano Potencia Associado – Médio
- Dano Potencia Associado – Baixo

FONTE: ANM (anm.gov.br)



Importância Econômica e Social da Mineração no Brasil:



- Faturamento 2023 de R\$248bi
- 210 mil empregos diretos no setor
- Exportação de 392mi ton de produtos do setor mineral totalizando US\$43bi
- Minério de Ferro representa 71% do valor das exportações
- Saldo da balança comercial corresponde a 32% do total do país com US\$31,95bi
- Minas Gerais – 46,4% da arrecadação do país



- Minas Gerais

Área = 586.528 km²

Total de Barragens: 339

Total de Barragens com DPA – Alto: 153

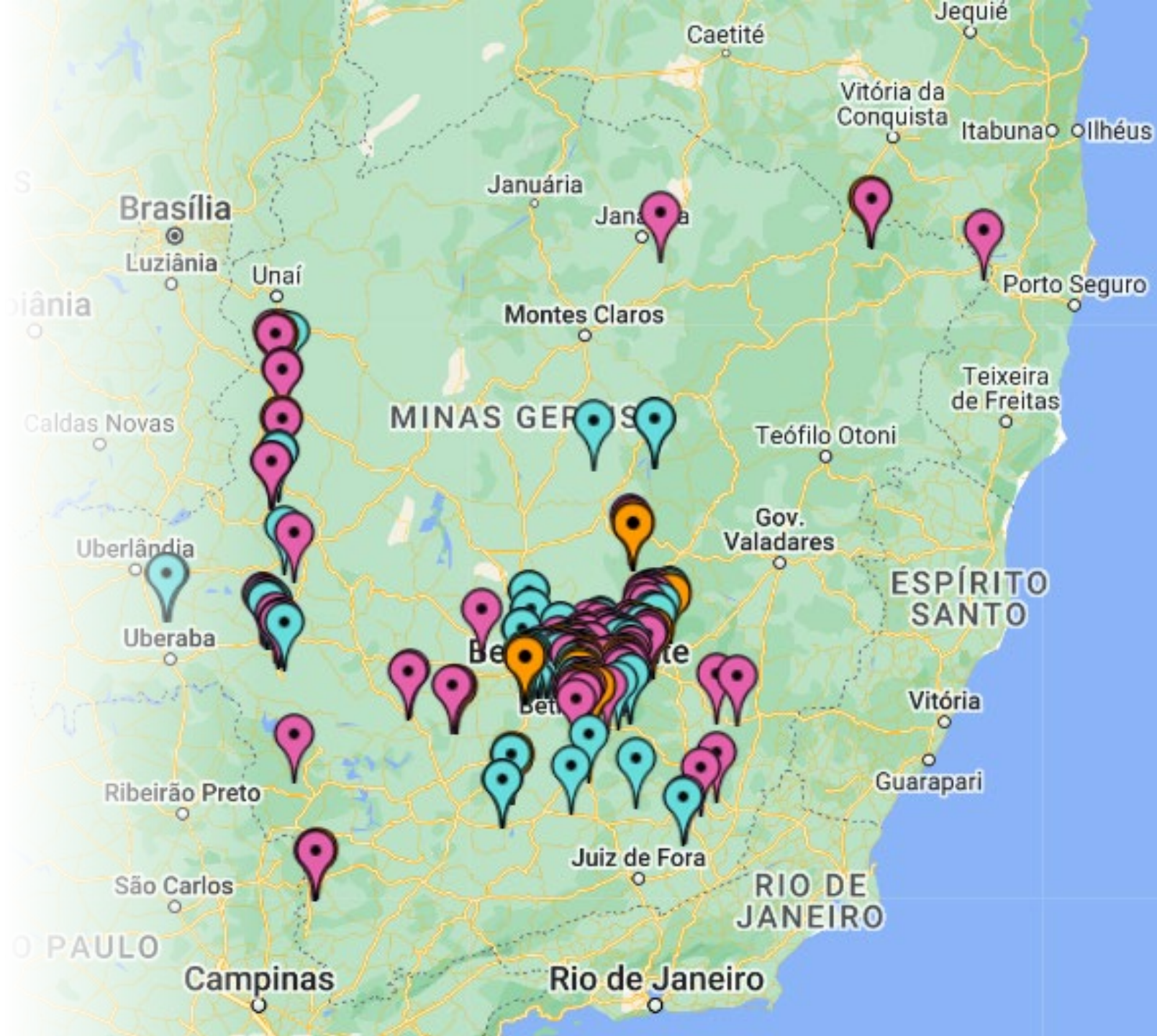
Total de Barragens com DPA – Médio: 34

Total de Barragens com DPA – Baixo: 152

LEGENDA:

- Dano Potencia Associado – Alto
- Dano Potencia Associado – Médio
- Dano Potencia Associado – Baixo

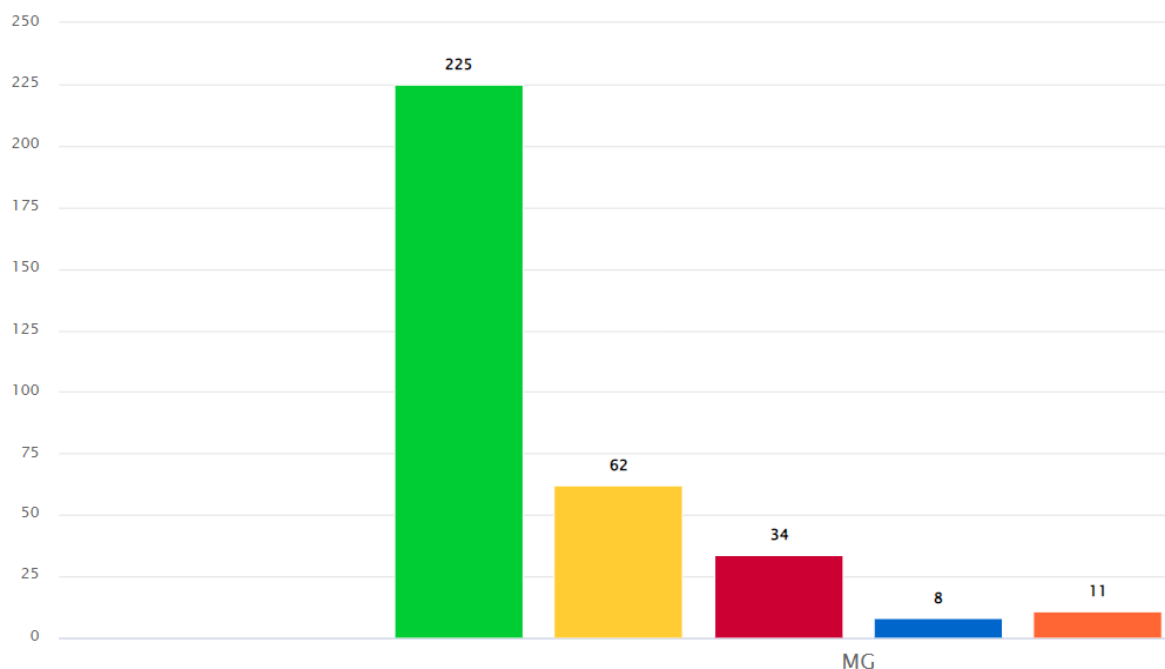
FONTE: ANM (anm.gov.br)





- **Muito Pequeno** ≤ 500 mil m^3
- **Pequeno** 500 mil a 5 milhões m^3
- **Médio** 5 milhões a 25 milhões m^3
- **Grande** 25 milhões a 50 milhões m^3
- **Muito Grande** ≥ 50 milhões m^3

Quantitativo de Barragens – Porte por Volume por UF



FONTE: ANM (anm.gov.br)

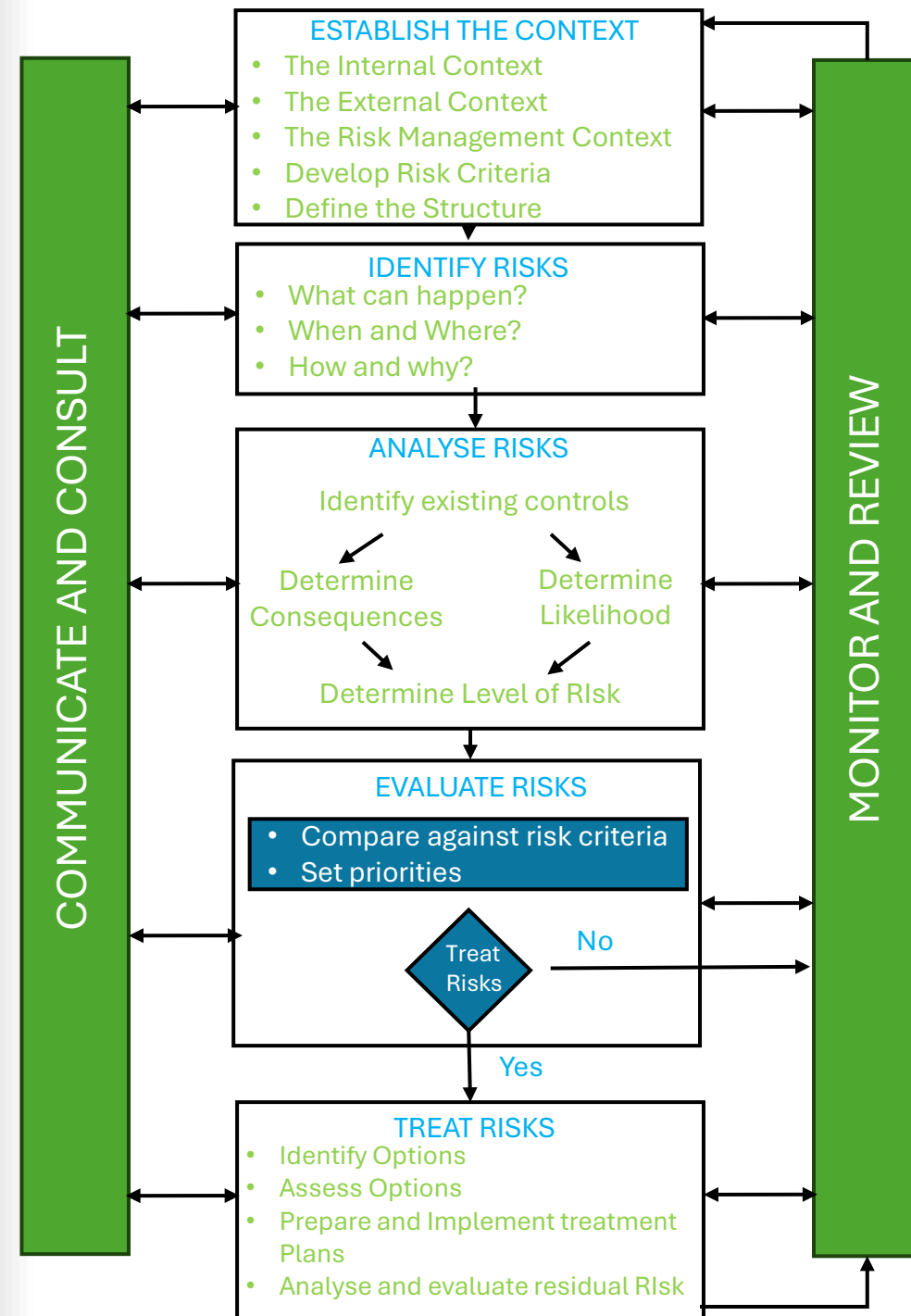
Panorama Geral MG

- Para as 11 barragens com volume > 50 milhões de m^3 de MG
 - 6 são de Minério de Ferro / 2 Minério de Ouro Primário / 2 Fosfato / 1 Itabirito
 - Altura entre 57 e 163m
 - 5 Alçamento jusante / 4 Alçamento linha de centro / 2 Alçamento a montante
 - 2 barragens em Nível de Emergência 1 sem atestado de estabilidade

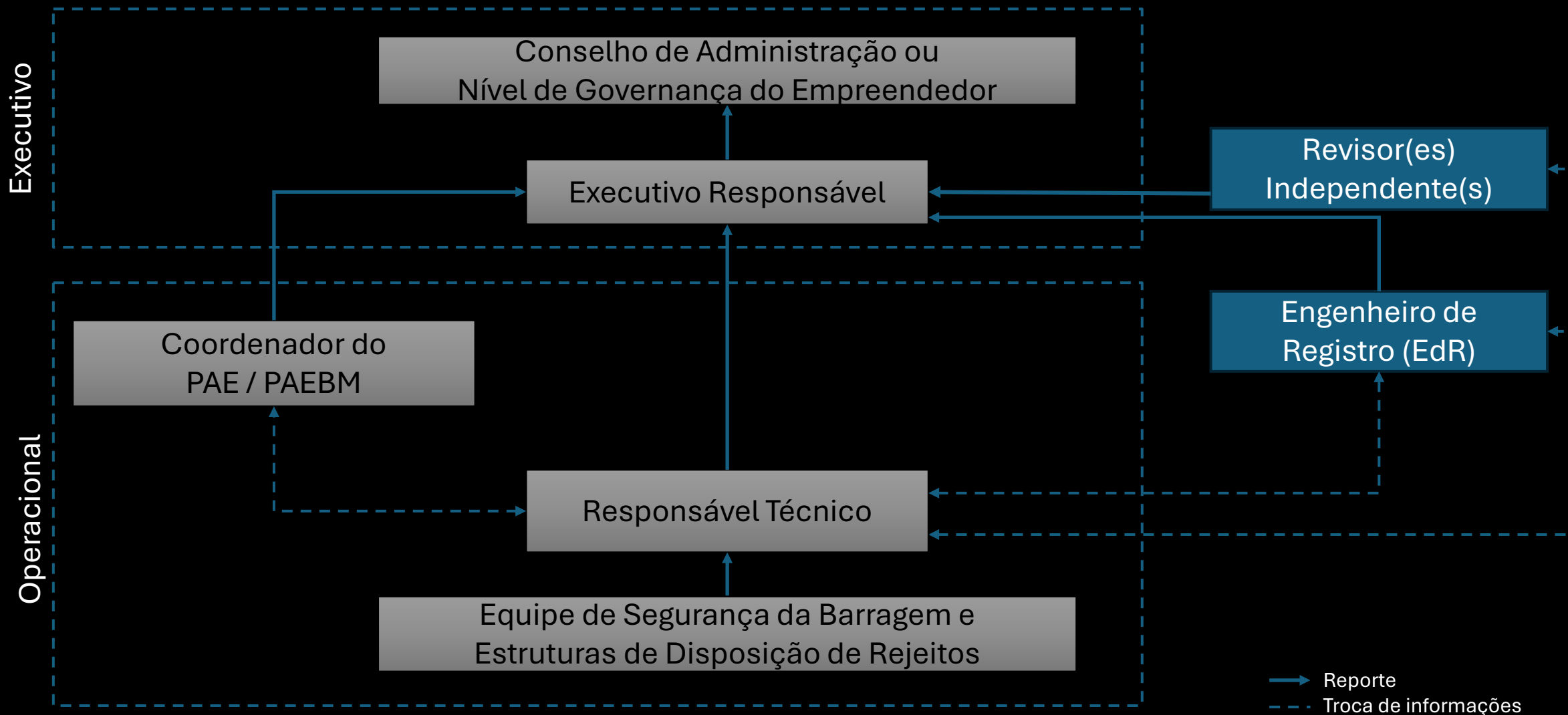
Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	Minério Principal	Altura Atual(m)	Volume Atual(m ³)	Método Construtivo	Categoria de Risco	Dano Potencial Associado	Nível de Emergência	Status DCE RPSB
Sul (Córrego do Canal)	VALE S.A.	SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO	Minério de Ferro	83	58.841.522,26	2 - Alçamento a jusante	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
BARRAGEM CASA DE PEDRA	CSN MINERACAO S.A.	CONGONHAS	Minério de Ferro	84	65.374.575,00	2 - Alçamento a jusante	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Maravilhas II	VALE S.A.	ITABIRITO	Minério de Ferro	86,72	86.115.233,76	2 - Alçamento a jusante	Alto	Alto	Nível de Emergência 1	Não Atestado
Barragem BR	MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA.	TAPIRA	Fosfato	57	88.056.149,00	5 - Alçamento por linha de centro	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Barragem de Germano	SAMARCO MINERACAO S.A. EM RECUPERACAO JUDICIAL	MARIANA	Itabirito	163	129.590.000,00	10 - Alçamento a montante	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Barragem de Rejeitos	ANGLO AMERICAN MINERIO DE FERRO BRASIL S/A	CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO	Minério de Ferro	60	147.780.000,00	2 - Alçamento a jusante	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Itabiruçu	VALE S.A.	ITABIRA	Minério de Ferro	71,96	172.719.161,20	2 - Alçamento a jusante	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Barragem BL-1	MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA.	TAPIRA	Fosfato	98	196.945.389,00	5 - Alçamento por linha de centro	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Pontal	VALE S.A.	ITABIRA	Minério de Ferro	68	218.964.640,00	10 - Alçamento a montante	Alto	Alto	Nível de Emergência 1	Não Atestado
Barragem Santo Antônio	KINROSS BRASIL MINERACAO S/A	PARACATU	Minério de Ouro Primário	104	361.312.440,00	5 - Alçamento por linha de centro	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado
Barragem Eustáquio	KINROSS BRASIL MINERACAO S/A	PARACATU	Minério de Ouro Primário	106	440.642.566,00	5 - Alçamento por linha de centro	Baixo	Alto	Sem emergência	Atestado

Riscos Geotécnicos

- Estabelecer o Contexto
- Identificar os Riscos
- Analisar os Riscos
- Avaliar os Riscos
- Tratar os Riscos
- Monitorar e Revisar
 - Riscos de rompimento / vazamento
 - Impactos ambientais e socioeconômicos

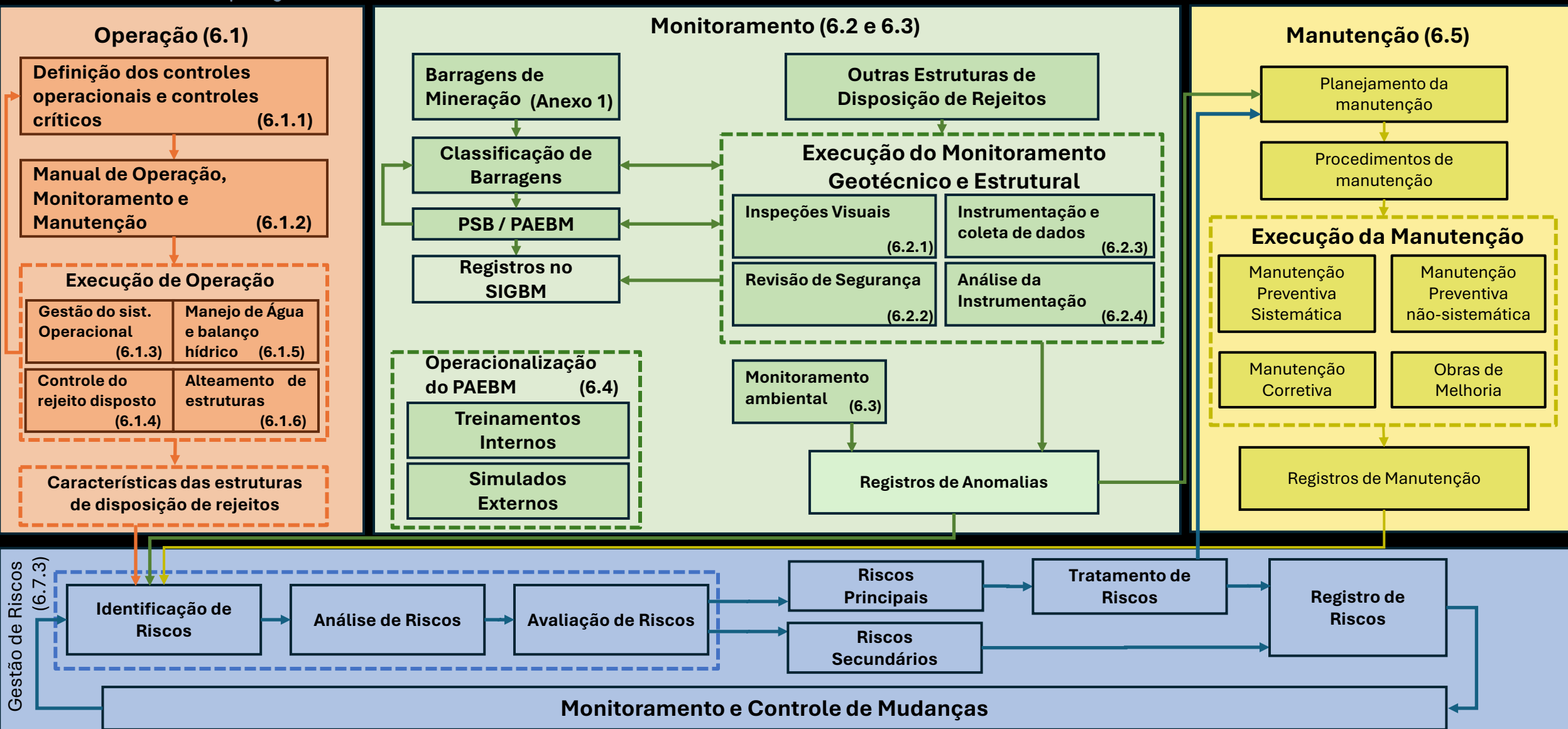


Reporte de informações sobre a gestão de estruturas de barragens e de disposição de rejeitos





Integração dos processos de Operação, Monitoramento, Manutenção e Gestão de Riscos na fase de Operação



FONTE: Guia de Boas Práticas de Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos

Consequência de Acidentes

Falhas custam dinheiro, perdas de vidas humanas e ambientais

Custos diretos de um incidente de barragem podem chegar a bilhões de dólares, usualmente de dezenas milhões a bilhões

Custos globais à organização e acionistas podem ser muitas vezes maiores

Barragens de Rejeito são riscos ao negócio que devem ser geridos

Gestão de riscos

Manual de operação de Barragens

Cartas de Risco de Barragens

PAEBM

Auditorias Externas

Monitoramento e Inspeções Periódicas

Segurança

Qualidade

Meio-Ambiente

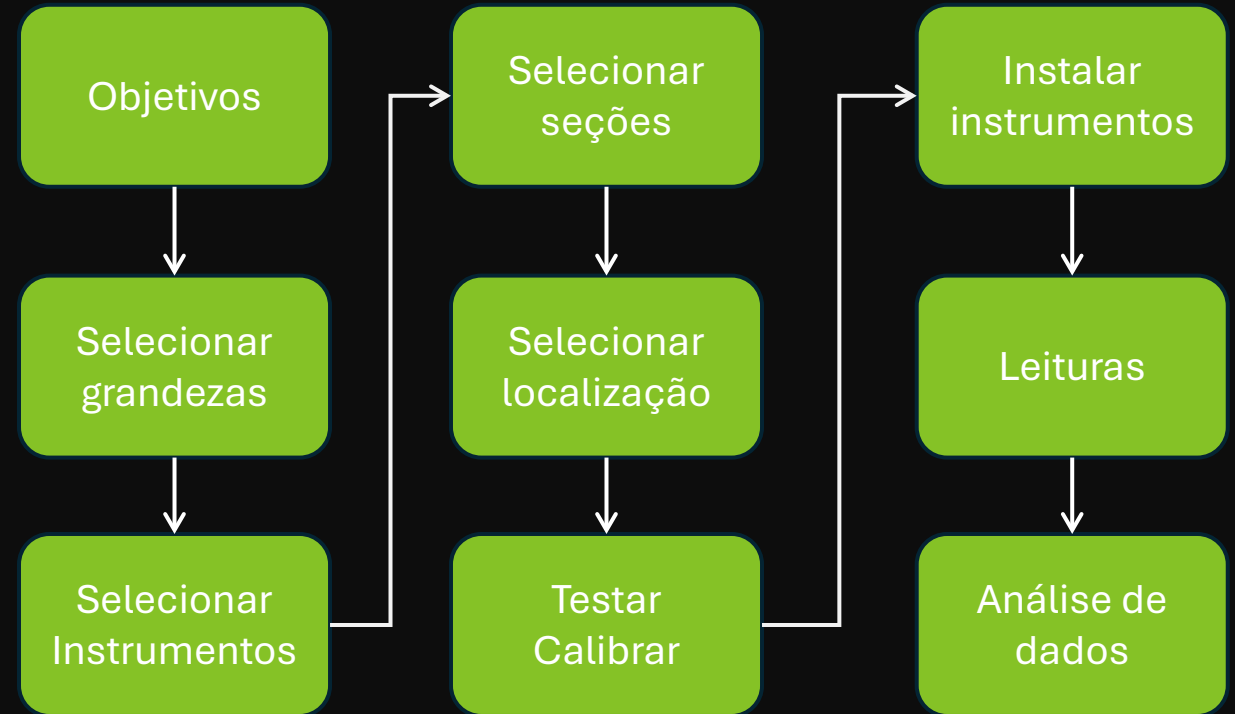
Economia

Tecnologias e Inovações para Gestão de Barragens de Rejeito

- Avanços tecnológicos para monitoramento e segurança
- Uso de geotecnologias

Monitoramento

- Nível d'água e piezométrico;
- Nível d'água/rejeitos do reservatório;
- Medição de Vazões;
- Medidores de Precipitação;
- Deslocamentos;
- Recalques; e,
- Vibrações



FONTE: Ortigão (2013)

Radar Doppler

Tecnologia



Descrição

- Capaz de identificar movimentos e alvos muito pequenos (por exemplo, 0,3 m x 0,3 m a 1 km).
- Instrumento de emergência.

Gatilho de alerta

- As regras de associação são usadas para disparar alarmes devido ao movimento abrupto na massa da barragem.



Tiltímetro

Tecnologia



Descrição

- Instrumento que mede inclinação e aceleração.
- Instrumento de emergência.

Gatilho de possível colapso

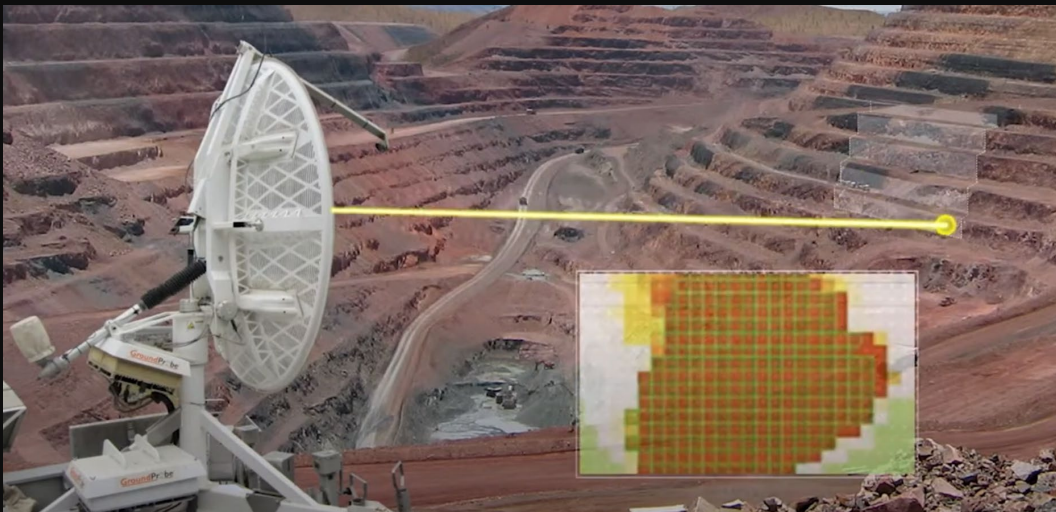
- 60% dos sensores com inclinação maior que a limite.

Gatilho de colapso

- 100% dos sensores com inclinação maior que a limite.

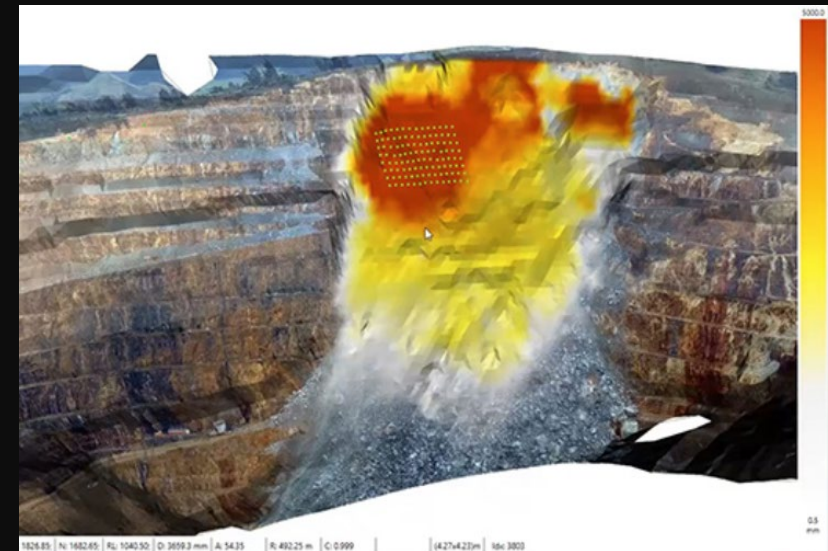
Radar SSR-XT

Tecnologia



Funcionamento

- Realiza a varredura de uma região específica. A partir de um feixe fino gerado pelo radar, é possível reproduzir um mapa de calor sobre a imagem 3D da região de interesse.
- Todos os dados são reproduzidos em tempo real a fim de obter as informações fiéis ao campo.



Macrofluxo do Acionamento Automático de Sirenes

O acionamento automático das sirenes é feito utilizando sensores tiltímetros/radar doppler para detectar a ruptura e acionar o sistema de sirenes

Mais opções de monitoramento resultam numa redundância de detecção aumentando a segurança

Instrumentação
de campo –
Tiltímetro/Radar



Deteção Colapso

Supervisório –
Nível 1



Disparo de alerta

Supervisório –
Nível 2



Acionamento do pop up de acionamento

Equipe
Geotecnia
PAEBM
Comunicação
Etc.



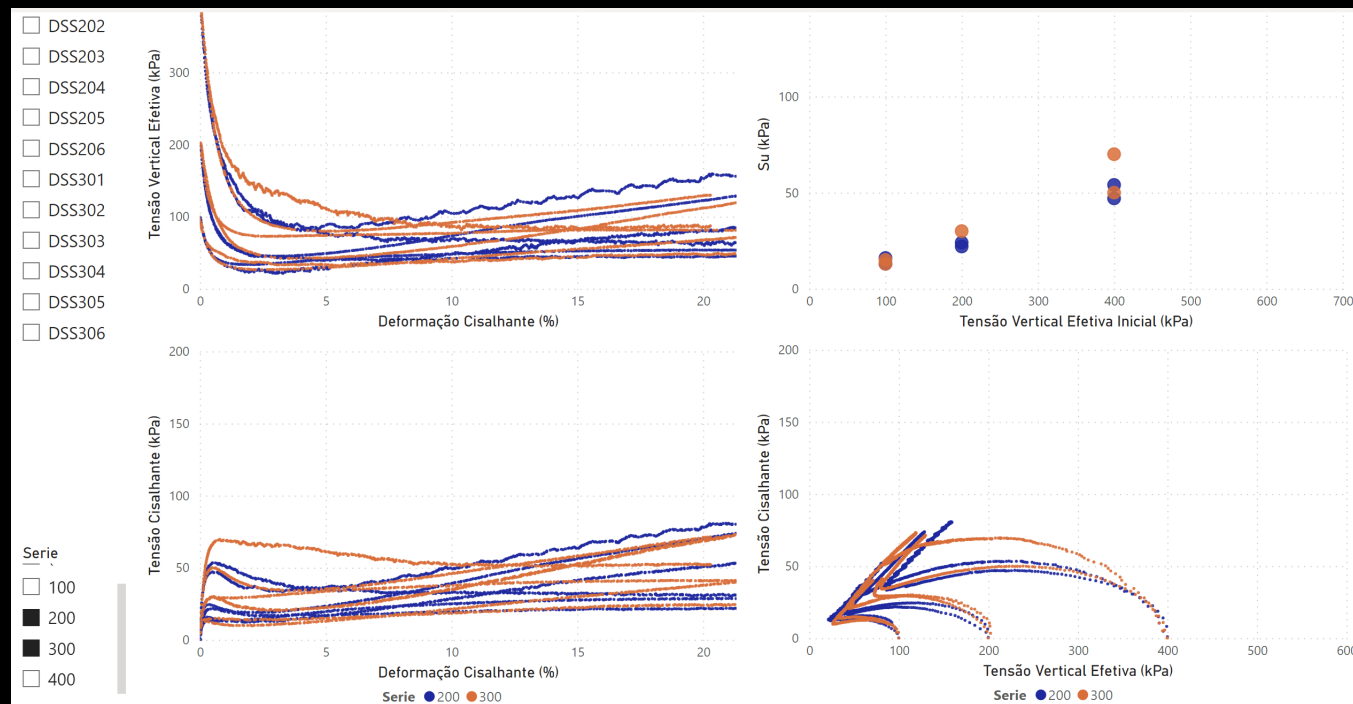
Cumprimento
protocolos

Ensaaios Geotécnicos

- Avaliar a resistência ao cisalhamento e a estabilidade dos taludes das barragens.
- Analisar a deformabilidade e o potencial de adensamento dos rejeitos durante a vida útil da barragem.
- Estudar a geração de pressões neutras e o risco de liquefação.
- Investigar o comportamento anisótropo e a suscetibilidade à ruptura progressiva dos rejeitos.

Ensaio de Solo Dinâmico Especial (DSS)

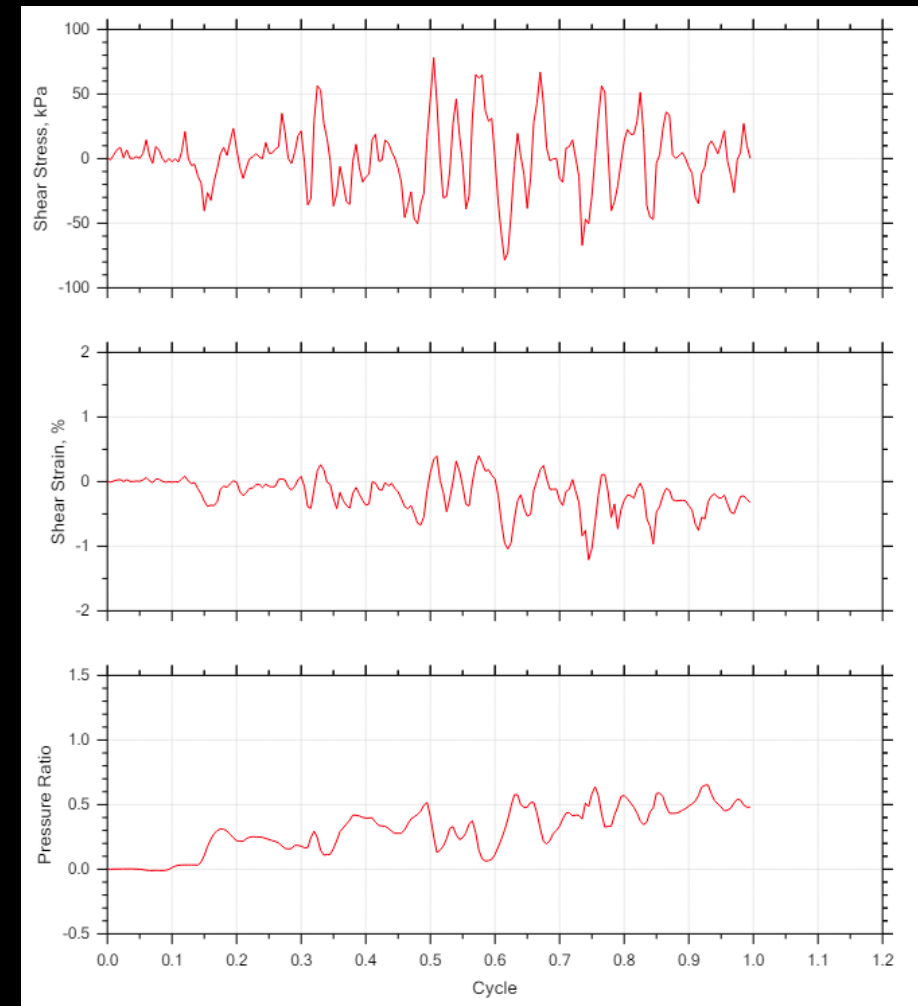
- Avaliam a resposta dinâmica dos rejeitos sob cargas cíclicas, como sismos ou vibrações induzidas por maquinário.
- Úteis para analisar a liquefação, deformabilidade e resistência à fadiga dos rejeitos.





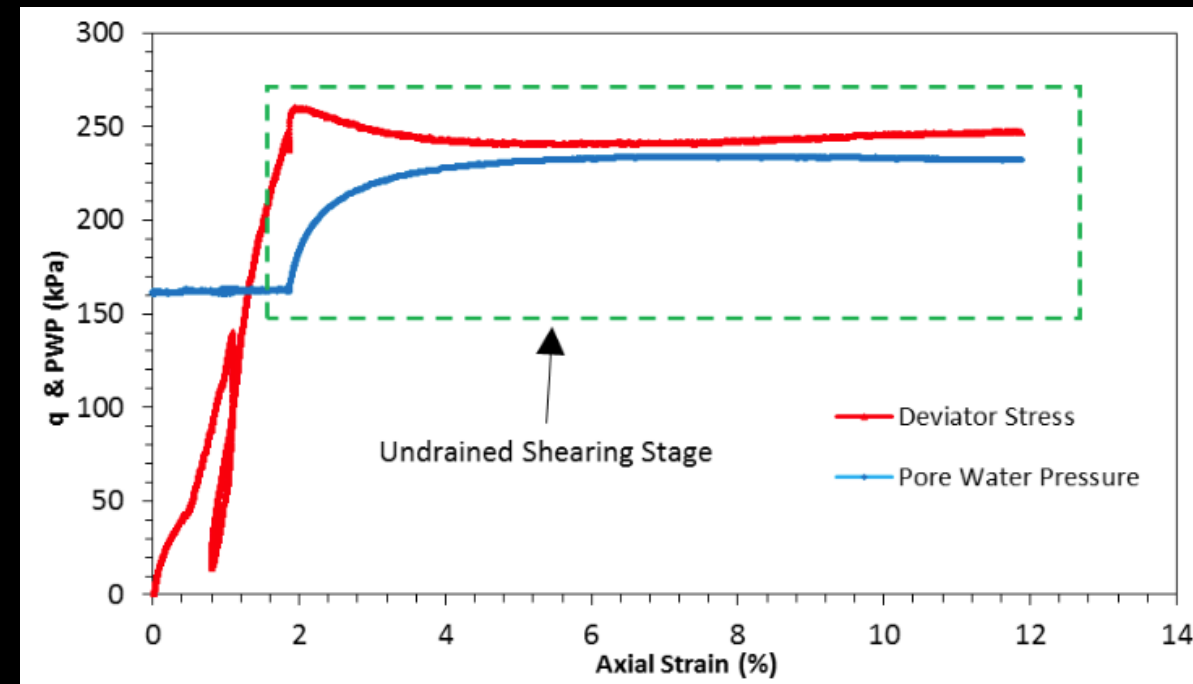
Ensaio de Compressão Cíclica com Drenagem Simulada (CDSS)

- Combinam características dos ensaios triaxiais e DSS, simulando melhor as condições reais de carregamento em barragens.
- Permitem avaliar a dilatação, adensamento e ruptura progressiva dos rejeitos sob cargas cíclicas e drenagem variável.



Ensaio Triaxiais com Controle de Ângulo de inclinação (CAU)

- Permitem impor deformações axiais e radiais controladas à amostra, proporcionando maior flexibilidade na análise do comportamento dos rejeitos.
- Úteis para estudar a anisotropia e o comportamento rotacional dos rejeitos.



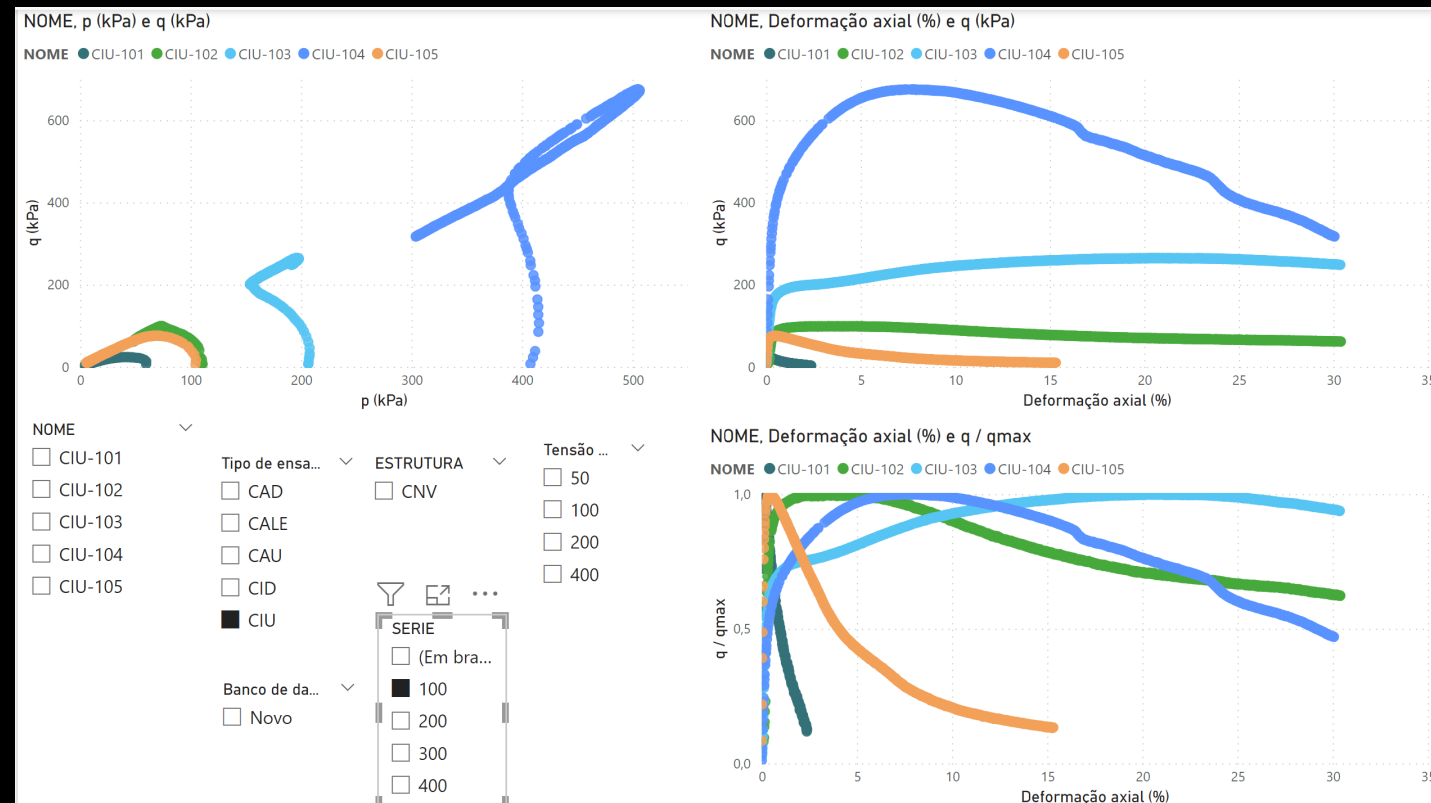


Ensaaios Triaxiais com Controle de Índice Vazios (CIE)

- Controlam o índice de vazios durante o ensaio, permitindo avaliar a compressibilidade e a permeabilidade dos rejeitos em diferentes estados de adensamento.
- Úteis para analisar a consolidação e o comportamento durante o enchimento da barragem.

Ensaio Triaxiais com Controle de Pressão Intergranular (CIU)

- Medem e controlam a pressão da água nas entrecélulas durante o ensaio, fornecendo informações sobre a geração de porewater pressure e o comportamento drenante dos rejeitos.
- Úteis para avaliar a estabilidade das encostas e o potencial de liquificação.

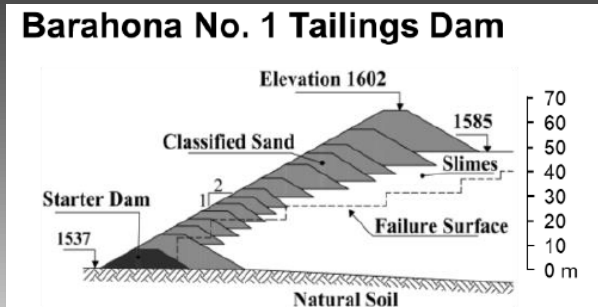




Ensaio Triaxiais com Controle de Ângulo de inclinação e Índice Vazios (CALE)

- Combinam as vantagens dos ensaios CAU e CIE, permitindo um controle preciso da deformação e do estado de adensamento dos rejeitos.
- Úteis para analisar o comportamento compressivo-volumétrico e a deformabilidade dos rejeitos sob diferentes condições de carregamento.

Casos emblemáticos

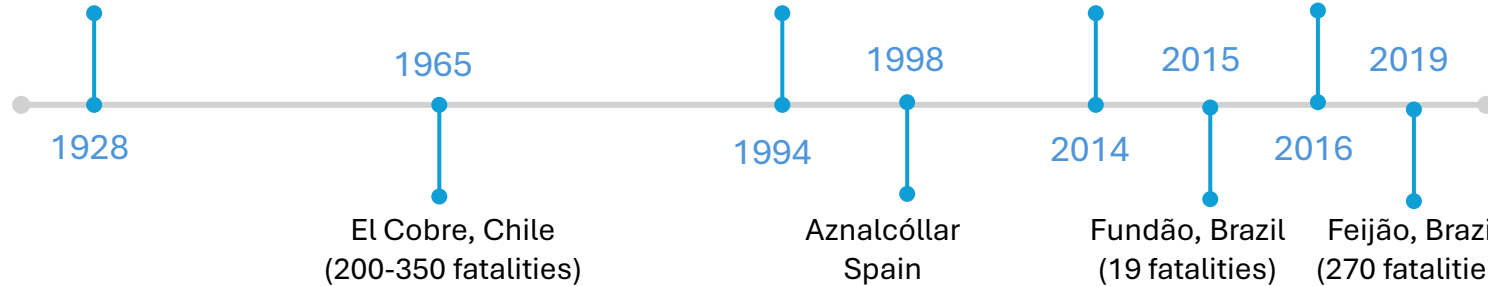


Barahona, Chile
(50 fatalities)

Merriespruit, S. Africa
(17 fatalities)

Mount Poley,
Canada

Cadia,
Australia

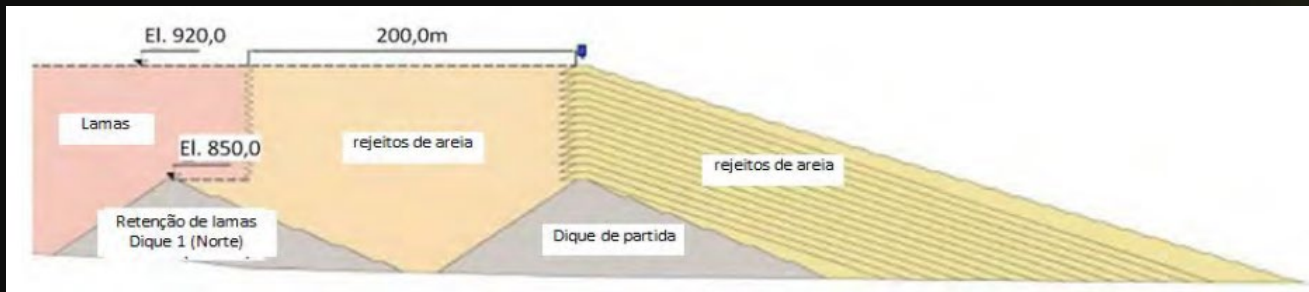


FUNDÃO – MARIANA

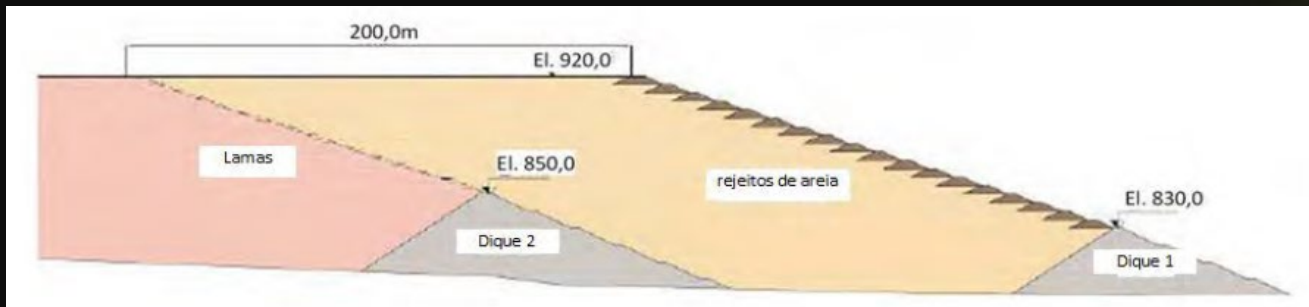
NOV /2015

- Rompimento por liquefação consequência de uma cadeia de eventos e condições:
 - Mudança no projeto original causou aumento na saturação
 - Lamas moles avançaram em áreas não previstas
 - Lama sob o aterro que foi submetido à carga imposta pelo alteamento
 - Extrusão das lamas e separação das areias à medida que aumentava a altura do aterro
 - Tremores de térrea causaram pequeno incremento de carga desencadeando a liquefação

- Altura de 110m
- 2009 ocorrência de pipping - controlada



Alteamento por linha de centro considerado, mas não implementado



Alteamento de montante do Dique 1 pelo conceito de empilhamento drenado



Efeitos da erosão interna no talude de jusante do Dique 1



Image © 2024 Maxar Technologies

Google Earth

Ruptura por deslizamento fluído por liquefação do fluxo

Liquefação estática

Liquefação cíclica

Saturação da areia

Expansão da praia e deposição de lamas

Recuo do alinhamento

Aumento da altura do recuo, devido a atraso

Saturação da areia

Colapso da galeria secundária (subsidência)

Sobrecarga da galeria secundária

Construção do tapete drenante para alt. 940

Projeto modificado com tapete drenante 828

Ruptura do dreno de fundo de dique de partida

Conceito de projeto de "pilha drenada"

Eventos e condições

Aumento da poropressão estática

Poropressão excessiva nas lamas

Colapso da galeria secundária

Colapso de caverna

Aumento da carga estática

Ruptura da tubulação de rejeito

Vibração do equipamento

Detonação da mina

Evento sísmico

Cisalhamento não drenado

Deformação por extrusão

c/ sismo

s/ sismo

c/ sismo

s/ sismo

BRUMADINHO

JAN/2019

- 272 vítimas
- 86m de altura e 720m de crista
- Área rejeitos de 250 mil m²
- Volume rompido de 12 mi m³ de rejeitos

BRUMADINHO

JAN/2019





GeoCompany



Córrego do Feijão
POUSADA
NOVA
ESTÂNCIA



GeoCompany

Córrego do Feijão



POUSADA
NOVA
ESTÂNCIA

Brumadinho – Conclusões Painel de Especialistas



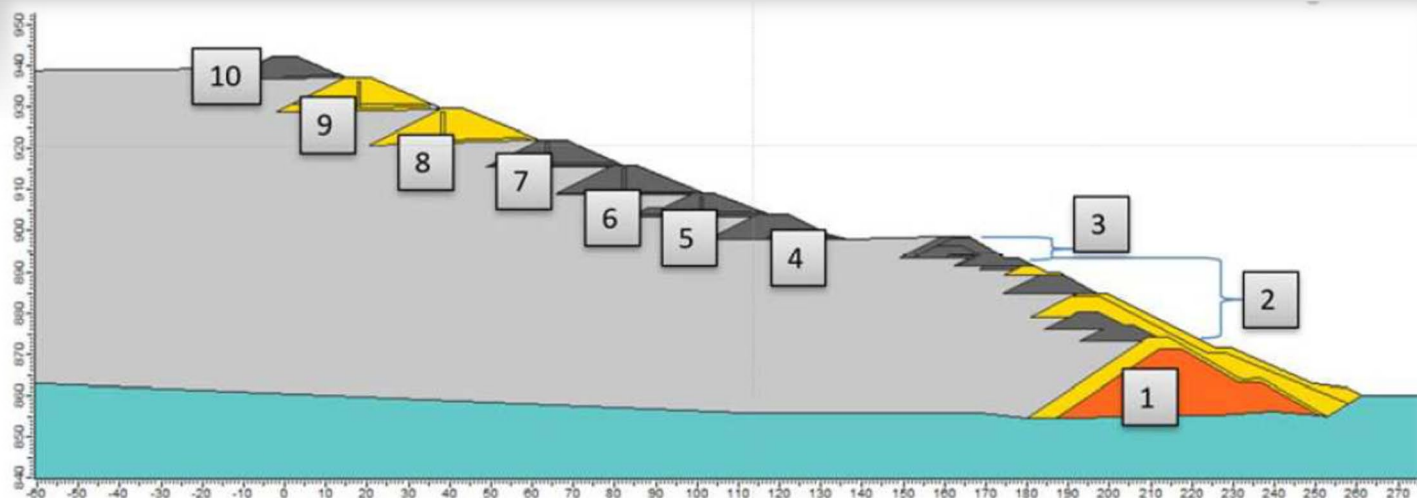
PROJETO – talude íngreme construído a montante;



CONTROLE DE ÁGUA NA BACIA – a água do lago de decantação podia alcançar perto da crista da barragem, resultando no lançamento de rejeitos fracos perto da crista;



RECUO DE PROJETO – empurrou as partes superiores do talude para cima dos rejeitos finos mais fracos;



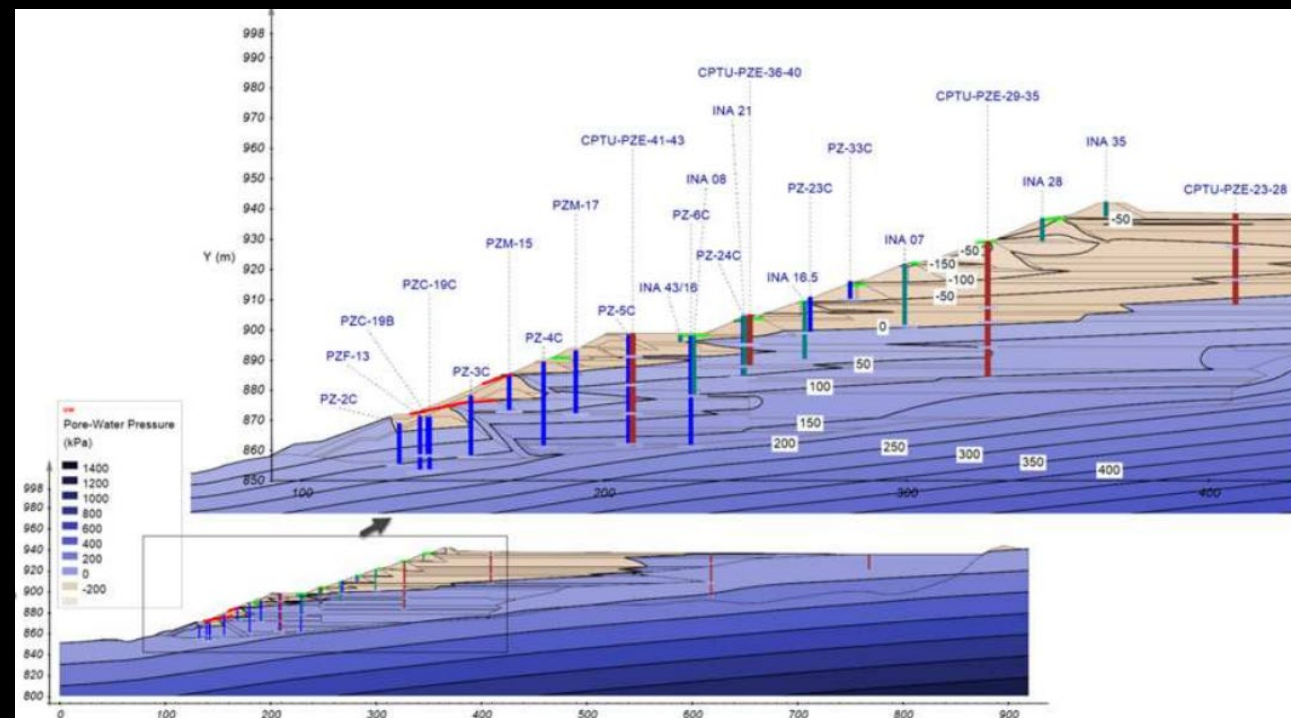
Brumadinho – Conclusões Painel de Especialistas

FALTA DE DRENAGEM INTERNA

nível de água elevado persiste na barragem, principalmente na região do pé da barragem;

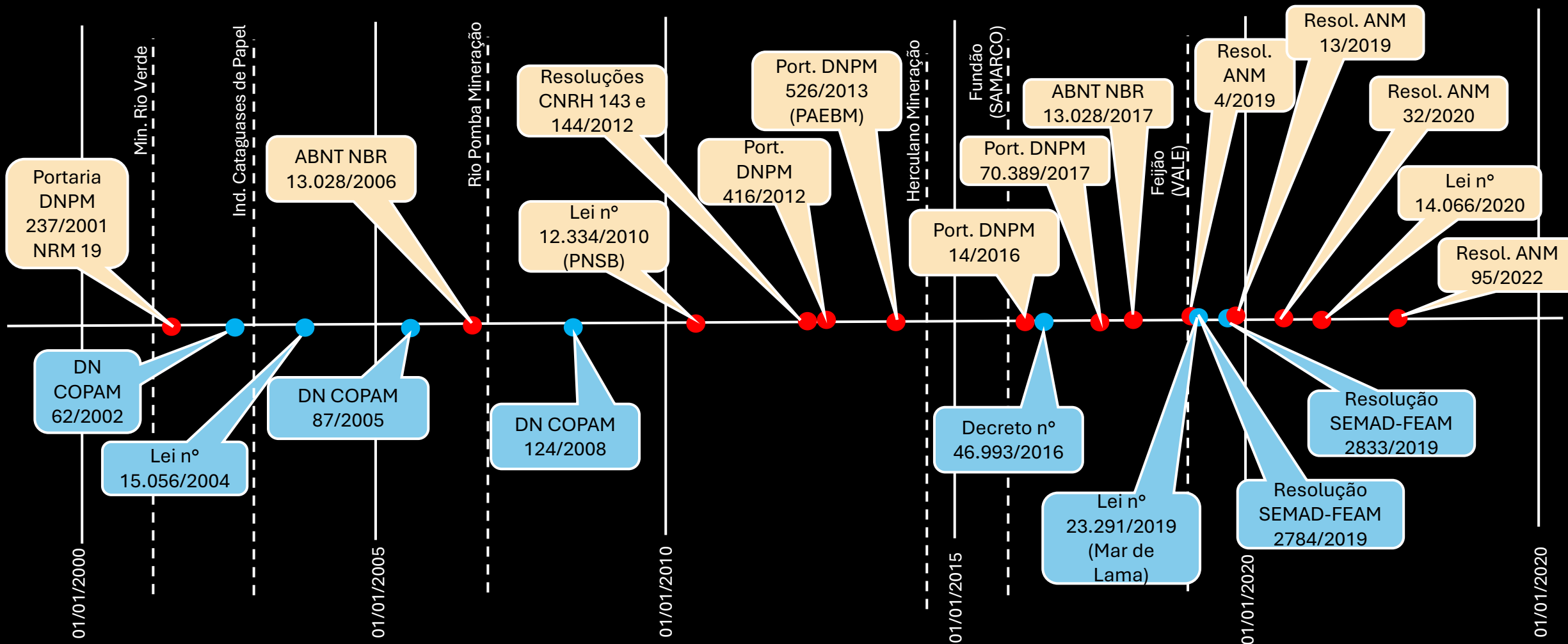
ALTO TEOR DE FERRO

rejeitos pesados com cimentação entre partículas. Esta cimentação gerou rejeitos rígidos que apresentavam comportamento potencialmente muito frágil se submetidos a um gatilho que ensejasse uma resposta não drenada;



Legislação e Regulação Brasileira sobre Barragens de Rejeito

- Principais leis, normas e regulamentações relacionadas à construção e operação de barragens de rejeito.





Legislação de Segurança de Barragens

- Lei nº 12.334 (2010) Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

Os fundamentos da PNSB são: A segurança da barragem em todas as fases, do planejamento aos usos futuros. O incentivo à participação da população em medidas preventivas e emergenciais, incluindo a elaboração e implementação do Plano de Ação de Emergência (PAE).

CRITÉRIOS PARA SE ENQUADRAR NA PNSB

Altura	≥ 15 metros
Volume	≥ 3 milhões m ³
Resíduo	= Perigoso
Dano Potencial Associado	= Médio ou Alto





GeoCompany

Legislação de Segurança de Barragens

- Lei nº 14.066 (2020) Revisão da PNSB

Proibição de construção de barragens alteadas a montante

Obrigatoriedade do PAE – Plano de Ação Emergencial para todas as represas de alto e médio dano potencial associado ou de alto risco inclusive barragens de rejeito

Obrigações das empresas controladoras em caso de desastres a reparar danos à vida humana ao meio ambiente ao patrimônio até a completa descaracterização da estrutura



GeoCompany

Legislação de Segurança de Barragens

- Portaria nº 70.389 (2017) DNPM (ANM) Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM).
- Resolução nº 132 (2016) ANA – Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela ANA quanto ao Dano Potencial Associado - DPA



Hidrelétrica de Capivara e Jurumin afetadas pela resolução 132 ANA

fonte: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-define-faixas-de-operacao-para-reservatorios-de-hidreletricas-da-bacia-do-rio-paranapanema-pr-sp>

Procedimento de Gestão de Barragens no Brasil

NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração

22.3.4 Compete ainda à empresa ou permissionário da lavra garimpeira:

- a)
- c) Fornecer às empresas contratadas as informações sobre os riscos potenciais nas áreas em que desenvolverão suas atividades

22.3.7 Cabe a empresa ou permissionário de Lavra garimpeira elaborar e implementar o Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR, contemplando os aspectos desta Norma, incluindo, no mínimo os relacionados a

- a) ...
- j) Estabilidade do maciço;



Procedimento de Gestão de Barragens no Brasil

Portaria 237/2001: Norma Reguladoras de Mineração – DNPM (ANM)

22.5.3 O treinamento introdutório geral deve ter duração mínima de 6h (seis horas) diárias, durante 5 (cinco) dias, para as atividades de subsolo e de 8h (oito horas) diárias, durante 3 (três) dias, para atividades em superfície, durante o horário de trabalho e terá o seguinte currículo mínimo:

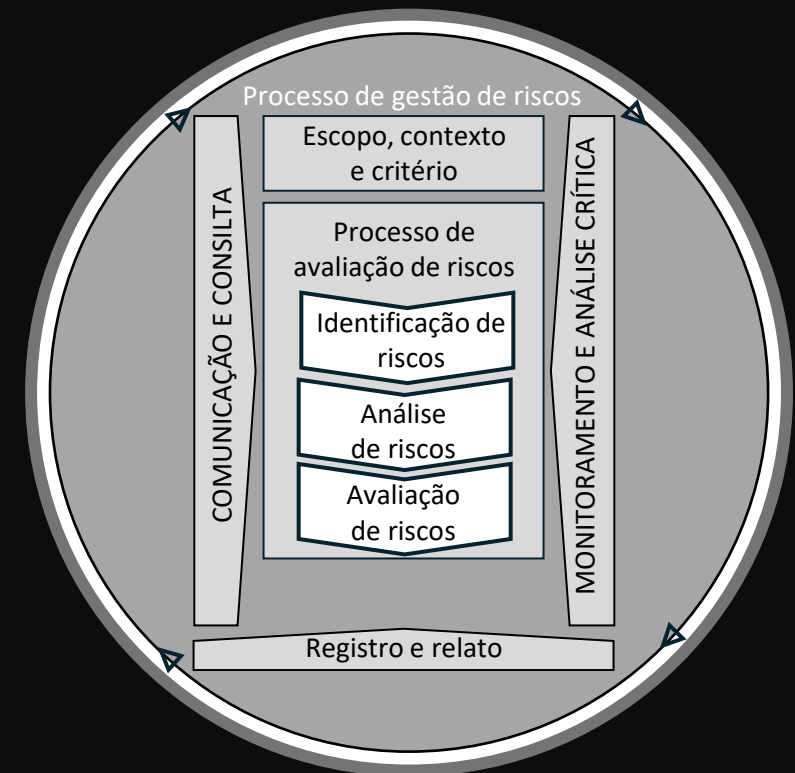
a) ...

j) divulgação dos riscos existentes nos ambientes de trabalho constantes no Programa de Gerenciamento de Riscos e dos acidentes e doenças profissionais;

Procedimento de Gestão de Barragens no Brasil

ISO 31.000: 2018 – Norma de Gestão de Risco

A ISO 31000 é a Norma de Gestão de riscos que aborda diretrizes e um guia para a implementação da gestão de risco organizacional. A Norma está na versão 2018 e apresenta uma metodologia de referência e de forma genérica, que possa ser adaptada para qualquer assunto como: qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional, antissuborno, compliance etc.



Desafios e Oportunidades

- ANM – Agência Nacional de Mineração
- Intensificação das medidas de monitoramento e fiscalização das barragens do país
- Implantação de medidas preventivas e de fiscalização
 - Relatórios de segurança
 - Planos de ações emergenciais
 - Registro de dados
 - Revisões constantes da segurança das barragens
 - Descomissionamento de barragens alteadas a montante

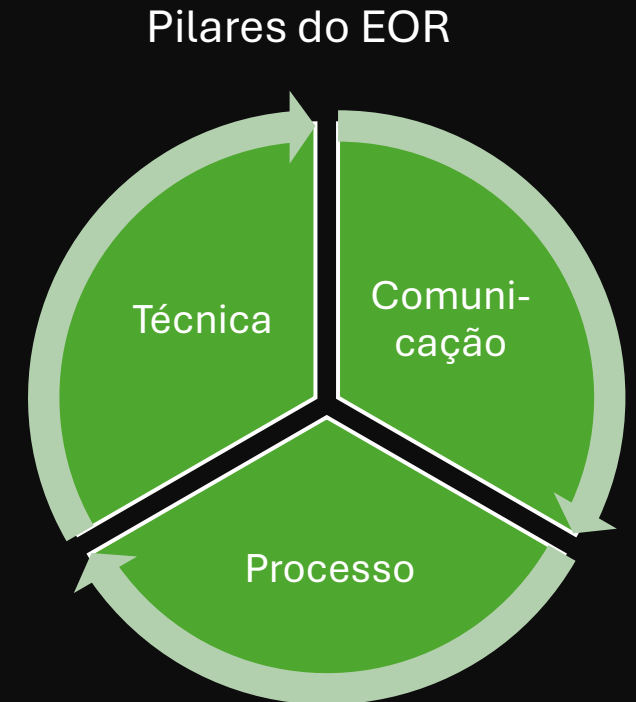
EOR

Engenharia de Registro

A partir de 2020 movimento de implantação desta ferramenta

Exigência legal a partir de 2022 no Brasil

Ferramenta de governança de grande importância permite visão integrada das instalações



EOR

- Responsável legal pela estrutura
- Função de confirmar se a estrutura foi projetada, construída e desativada em conformidade com os códigos normativos e legislações vigentes





Procedimento de Gestão de Barragem de Rejeito no Brasil

Auditorias de barragens de rejeitos Federal (ANM) e Estadual (FEAM)

Auditoria	Aplicabilidade	Periodicidade
RISR (ANM)	Todas as barragens de mineração enquadradas na PNSB e ECJs	Semestral
RTSB (FEAM)	Barragens de mineração localizadas em MG enquadradas na PESB	Anual para barragens de PDA Alto; A cada 2 anos para PDA médio; A cada 3 anos para PDA baixo
RTESB (FEAM)	Barragens alteadas pelo método de montante, em nível de emergência 2 e 3 e ECJs	Semestral
RIS (FEAM)	Todas as barragens de mineração enquadradas na PESB	Semestral
RPSB (ANM)	Todas as barragens de mineração enquadradas na PNSB	A cada 3 anos para barragens de PDA Alto; a cada 5 anos para PDA médio; a cada 7 anos para PDA baixo. 6 meses após modificações estruturais ou reclassificação de rejeitos. Antes do reaproveitamento do rejeito.



Procedimento de Gestão de Barragem de Rejeito no Brasil

Fluxo de relatórios do Processo de Gestão de Riscos de Barragens de Mineração (PGRBM)

Relatório	Objetivo	Periodicidade
Relatório de Avaliação de Performance Geotécnica	Apresentar resumo da inspeção de campo e apresentar a interpretação da avaliação geotécnica da estrutura	Mensal
Relatório de Bases de Projeto (Design Basis Report – DBR)	Copilar e apresentar de forma clara e objetiva premissas de projeto, parâmetros técnicos e restrições operacionais fornecendo base para novos projetos, operação, monitoramento e gestão de riscos	Anual e após modificações estruturais
Relatório de Avaliação de Alteração (RAA)	Avaliar e registrar o impacto cumulativo de mudanças, no nível dos riscos representados pelas estruturas geotécnicas.	Anual e após modificações estruturais
Resultados do Processo de Identificação de Perigos e Análise de Riscos (Hazard Identification and Risk Assessment – HIRA)	Diminuir riscos associados a eventos indesejados para tão baixo quanto razoavelmente exequível, identificando, desenvolvendo e especificando controles que previnem que o evento indesejável aconteça ou que reduzam suas severidades significativamente, caso ocorra	Anual e após modificações estruturais
Carta de Risco	Apresentar níveis de controle para a instrumentação para aplicação das TARPS (normal, atenção, alerta e emergência)	Anual e após modificações estruturais

Perspectivas para o Futuro

- Tendências e projeções para o setor de barragens de rejeito no Brasil.
- A importância da sustentabilidade e da responsabilidade socioambiental na mineração.

Conclusão e Recomendações

- As barragens possuem grande versatilidade tornando possível utilizá-las para diversas finalidades. Dessa forma, são extremamente importantes para a infraestrutura de um país, porém devem ser monitoradas, pois se trata de um elemento de risco.
- É necessário diferenciar as barragens de rejeitos de mineração que utilizam a solução de alteamento pelo fato de a obra ser de característica permanente, se estendendo por toda vida útil.
- A utilização da solução para barragem com alteamento a montante não terá base metodológica ou técnica que reduza o risco a zero ou próximo, pois não existem tais análises.
- Mesmo o fator de segurança (FS) ser de extrema importância para a elaboração, desenvolvimento e estudo do projeto em geral, não é favorável utilizar apenas tal requisito, visto que pode ocorrer imprecisões e utilização de características semiempíricas.
- Em caso de rompimento de barragens, a responsabilidade criminal deve ser fundamentada em investigações técnicas que conclua quais foram as causas, sem deixar possíveis incertezas.

Obrigado!

Prof. Dr. Roberto Kochen – Presidente e Diretor Técnico

kochen@geocompany.com.br

MSc. Danielle Melo – Coordenadora de Projetos

danielle.melo@geocompany.com.br



GeoCompany
Tecnologia, Engenharia
e Meio Ambiente

www.geocompany.com.br