

Desastres feitos pelo homem

O caso das barragens de rejeitos da VALE

O desastre de Brumadinho é acidente organizacional

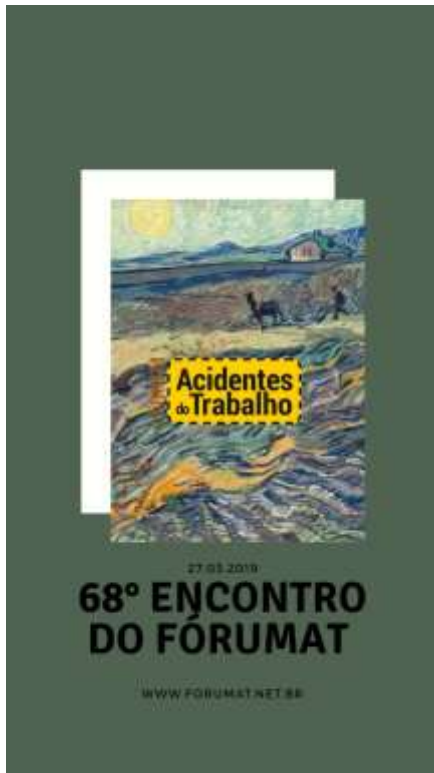
Mário Parreiras de Faria

Auditor Fiscal do Trabalho da SRTE/MG

Especialista em Medicina do Trabalho/ANAMT/AMB

Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Medicina
da UFMG

Coordenador da Comissão Permanente Nacional do
Setor Mineral



Quadro 1 – Histórico de rupturas de barragens de rejeitos em M.G., Brasil.

| Ano | Mina/Município | Causa da ruptura | Danos Provocados |
|------------|--|-------------------------|--|
| 1986 | Fernandinho-Itaminas/ Itabirito | Liquefação | 7 mortes e destruição de laboratórios e equipamentos |
| 2001 | MRV/Nova Lima | Provável liquefação | 5 mortes e danos ambientais |
| 2014 | Herculano Mineração Ltda/Itabirito | Liquefação | 5 mortos e danos ambientais |
| 2015 | Samarco Mineração S.A/Mariana | Liquefação | 18 mortos, 1 desaparecido e danos ambientais ao longo da bacia do Rio Doce |
| 2019 | Vale S.A. Barragem Córrego do Feijão Brumadinho | Liquefação | 199 mortos, 115 desaparecidos e danos ambientais ao longo do Rio Paraopeba |

Acidente de trabalho ampliado*

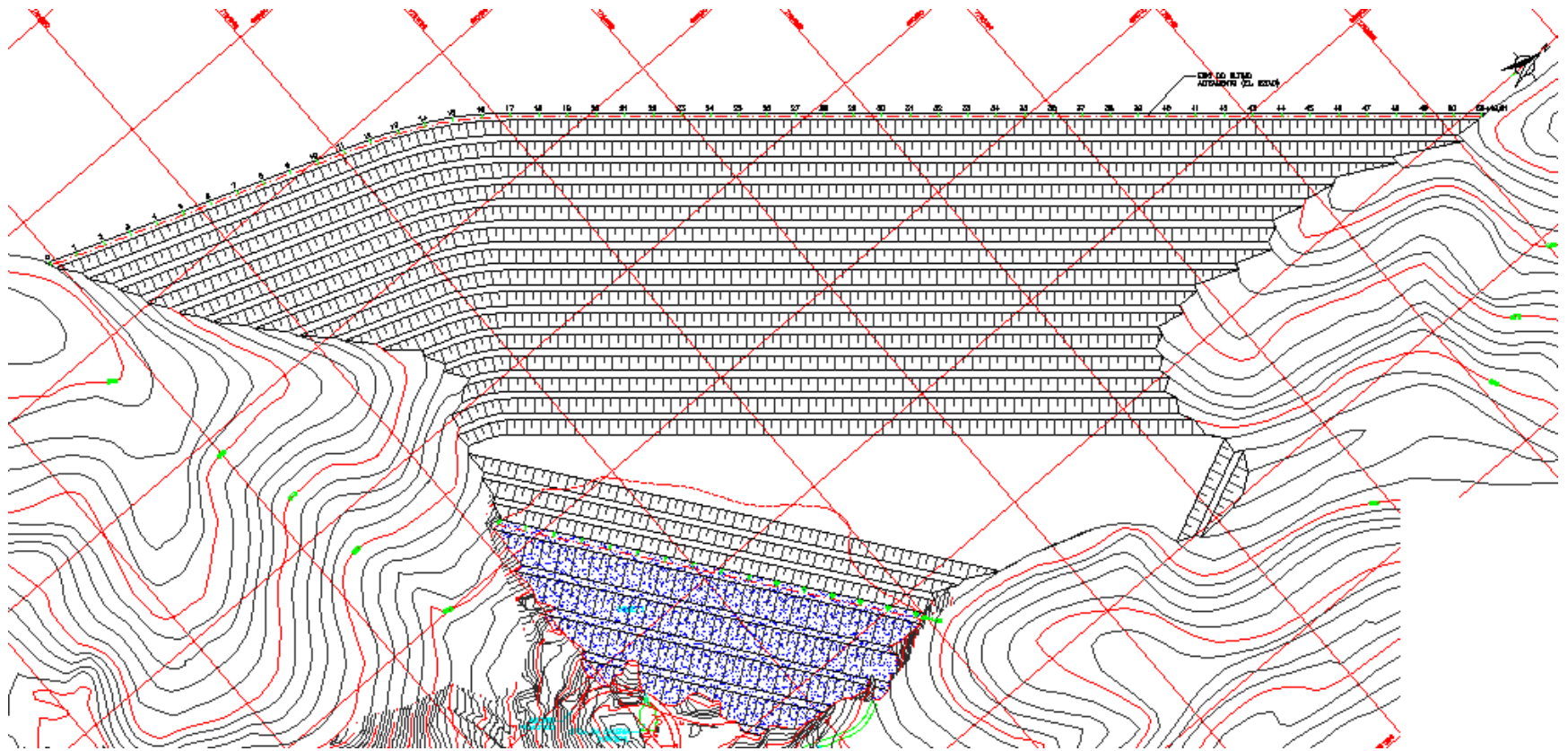
Se originou de uma atividade de trabalho de mineração que, além de mortes de trabalhadores, extrapolou os limites da empresa, causando mortes de habitantes de centro urbano no entorno da empresa, além de danos materiais incalculáveis com ampliação no espaço e no tempo de suas consequências sobre a vida humana, a saúde física e mental das populações afetadas e o meio ambiente.

(*FREITAS, CM, PORTO, MFS, MACHADO, JMH., 2000)

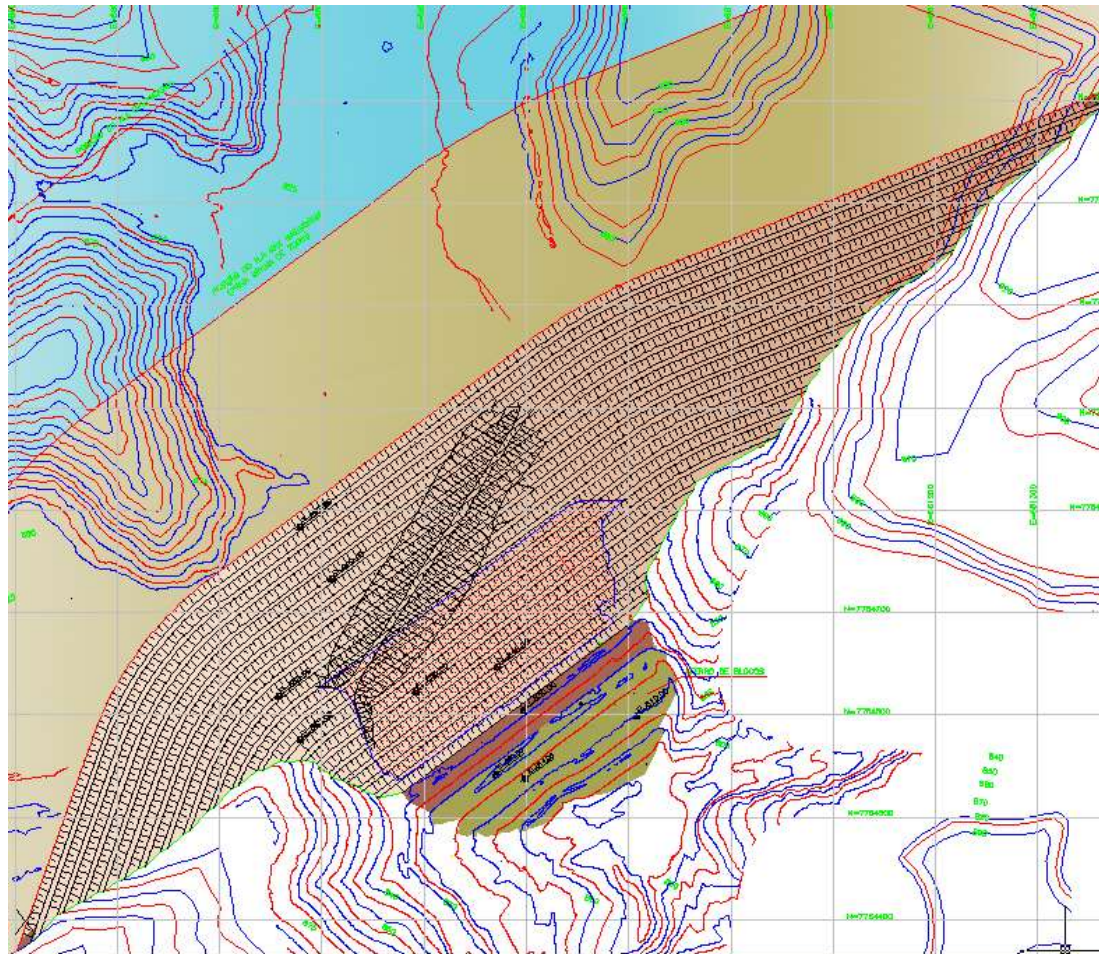
Diferenças entre a BRF e a BCFJ

| | Fundão | Córrego do Feijão |
|---|--|--|
| Ano de construção | Dezembro de 2008: início da deposição de rejeitos | 1976 |
| Modo de construção | A montante | A montante |
| Data do Projeto | 2007 | 1976 |
| Altura | 108 metros | 86 metros |
| Volume armazenado | 51 milhões de m ³ | 12,7 milhões de m ³ |
| Tempo de rompimento após o início da disposição de rejeitos | 7 anos | 43 anos (estava desativada desde julho de 2016) |
| | | |

Planta geral do Arranjo Original Final da BRF na Elevação 920 m – Projeto de 2007



Planta geral do Novo Arranjo Final da BRF na Elevação 920 em 06/2011



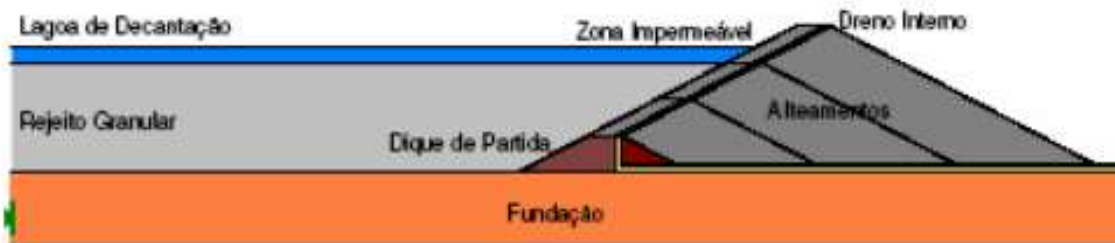
Vista geral da BRF pré-rompimento em 27/10/2015



TIPOS DE ALTEAMENTOS DE BARRAGENS DE REJEITO



Alteamento a montante



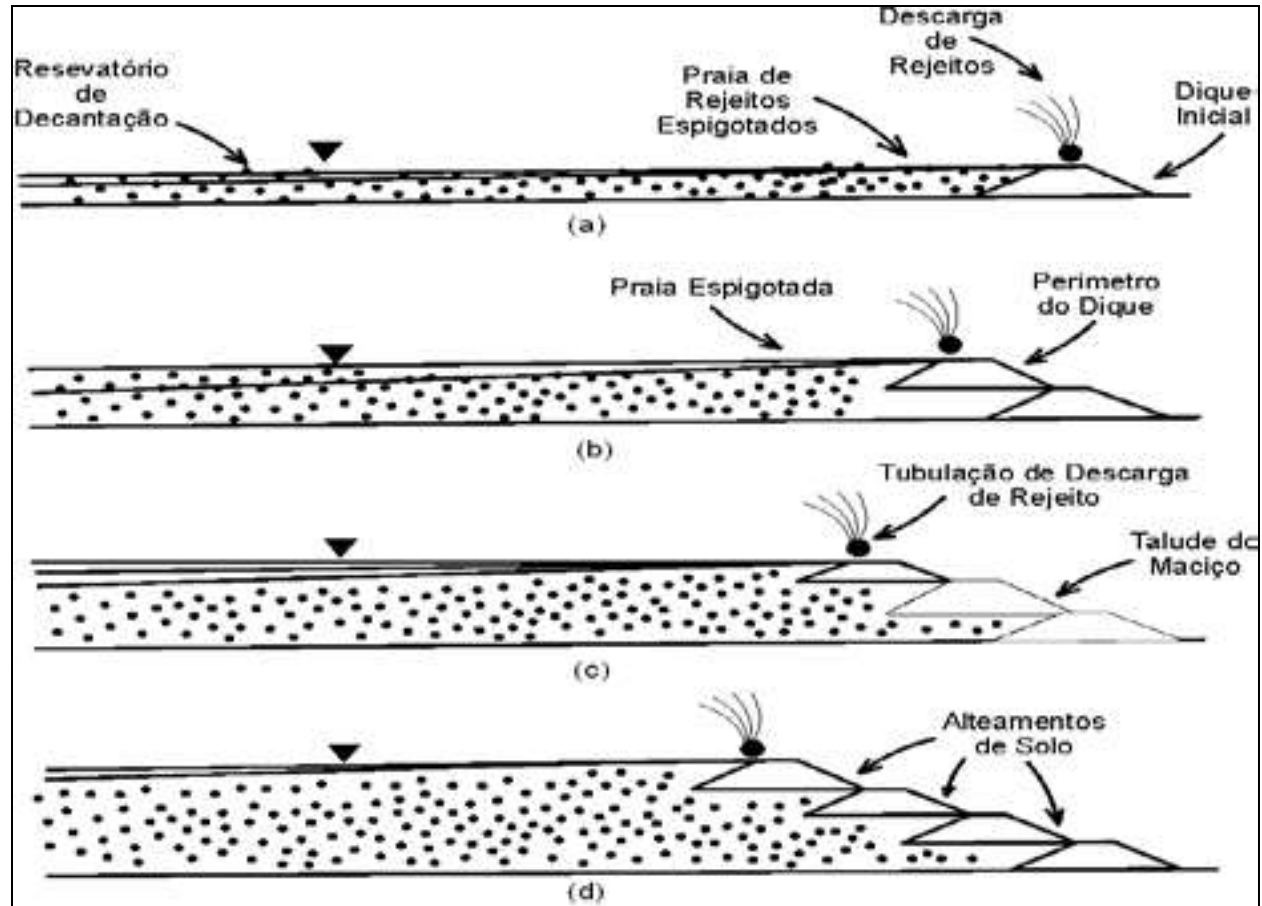
Alteamento a jusante



Alteamento por linha de centro

Sequência de alteamento a montante de barragens de rejeito

Fonte: Vick, 1983, apud Soares (2010)



Alteamento a montante

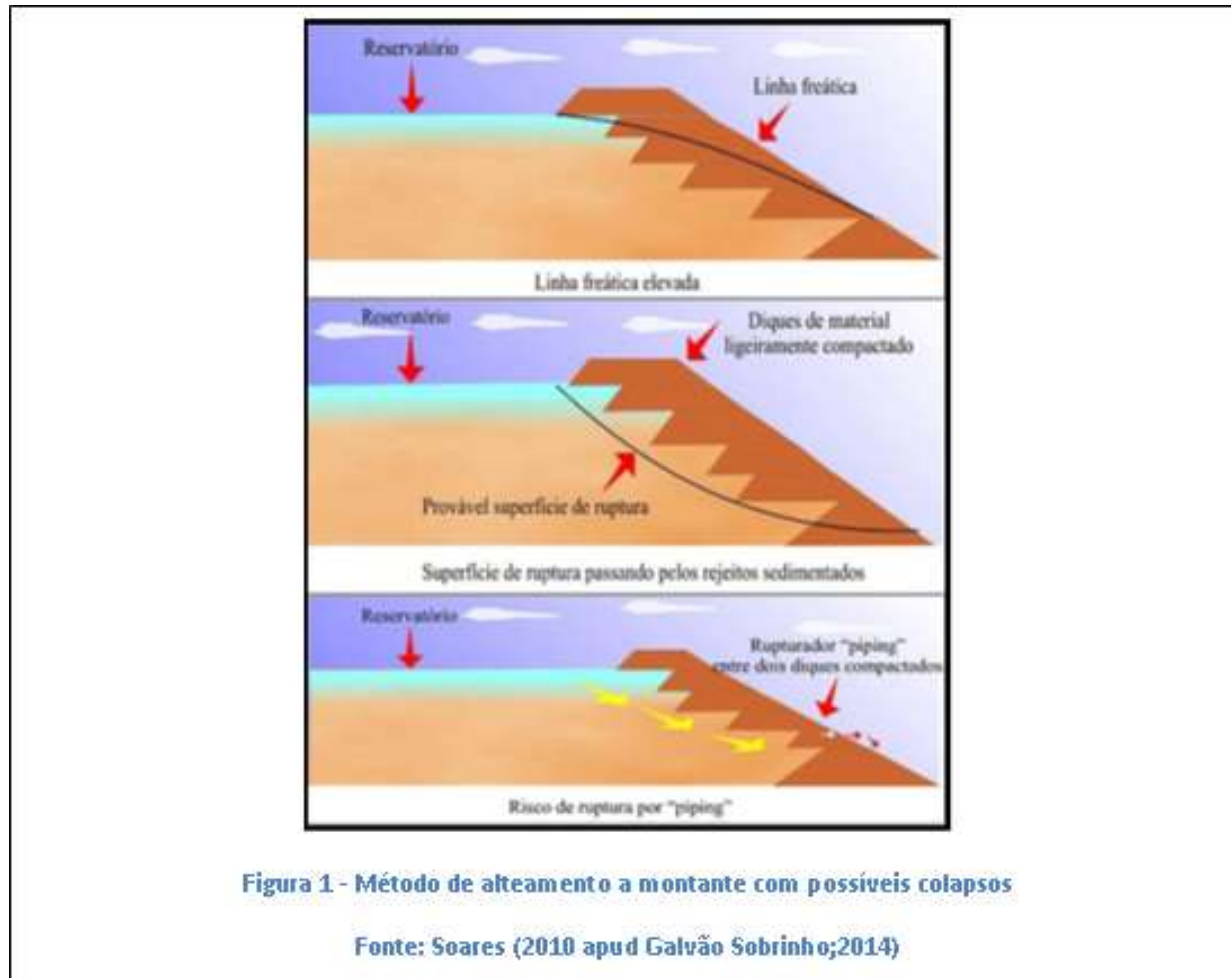
- É o mais vulnerável: maior susceptibilidade a processos erosivos internos de *piping* e liquefação
- Maior responsável por acidentes já registrados em barragens
- É o método mais utilizado mineração, inclusive em MG
- O mais econômico, por ter reduzido custo inicial, uma vez que a construção é realizada por etapas
- É o mais inseguro do ponto de vista estrutural e ambiental
- Apresenta maior risco de acidentes estruturais e ambientais devido à dificuldade de controle da superfície freática.

Alteamento a montante - Limites

- Em áreas que ocorram vibrações, sejam de origem tectônica (sismos naturais) ou provocadas por desmonte com explosivo na mina ou, ainda, por passagem de veículos (sismos induzidos) recomenda-se que o alteamento por este método seja descartado.
- Outras desvantagens da barragem alteada à montante:
 - Menor coeficiente de segurança, em função da linha freática, em geral, situada muito próxima ao talude de jusante;
 - A superfície crítica de ruptura passa pelos rejeitos sedimentados, porém não devidamente compactados;
 - Há possibilidade de ocorrer “*piping*” (entubamento), resultando no surgimento de água na superfície do talude de jusante, principalmente quando ocorre concentração de fluxo entre dois diques compactados;
 - Há risco de ruptura provocado pela liquefação da massa de rejeitos, por efeito de sismos naturais ou induzidos e vibrações causadas por explosões ou movimentação de equipamentos.

(GALVÃO SOBRINHO, 2014)

Linha freática e *piping*



Linha do tempo – Histórico da BRF 2008 e 2009

- 2008 Dez: Início da deposição de rejeitos
- 2009 Abr:
 - Forte percolação no talude de jusante do Dique 1, a poucos metros do dreno de fundo principal, em cota superior a este (por volta da El. 820m), provocando processo erosivo interno em seu maciço.
 - Interrompido o lançamento de rejeitos junto ao Dique 1

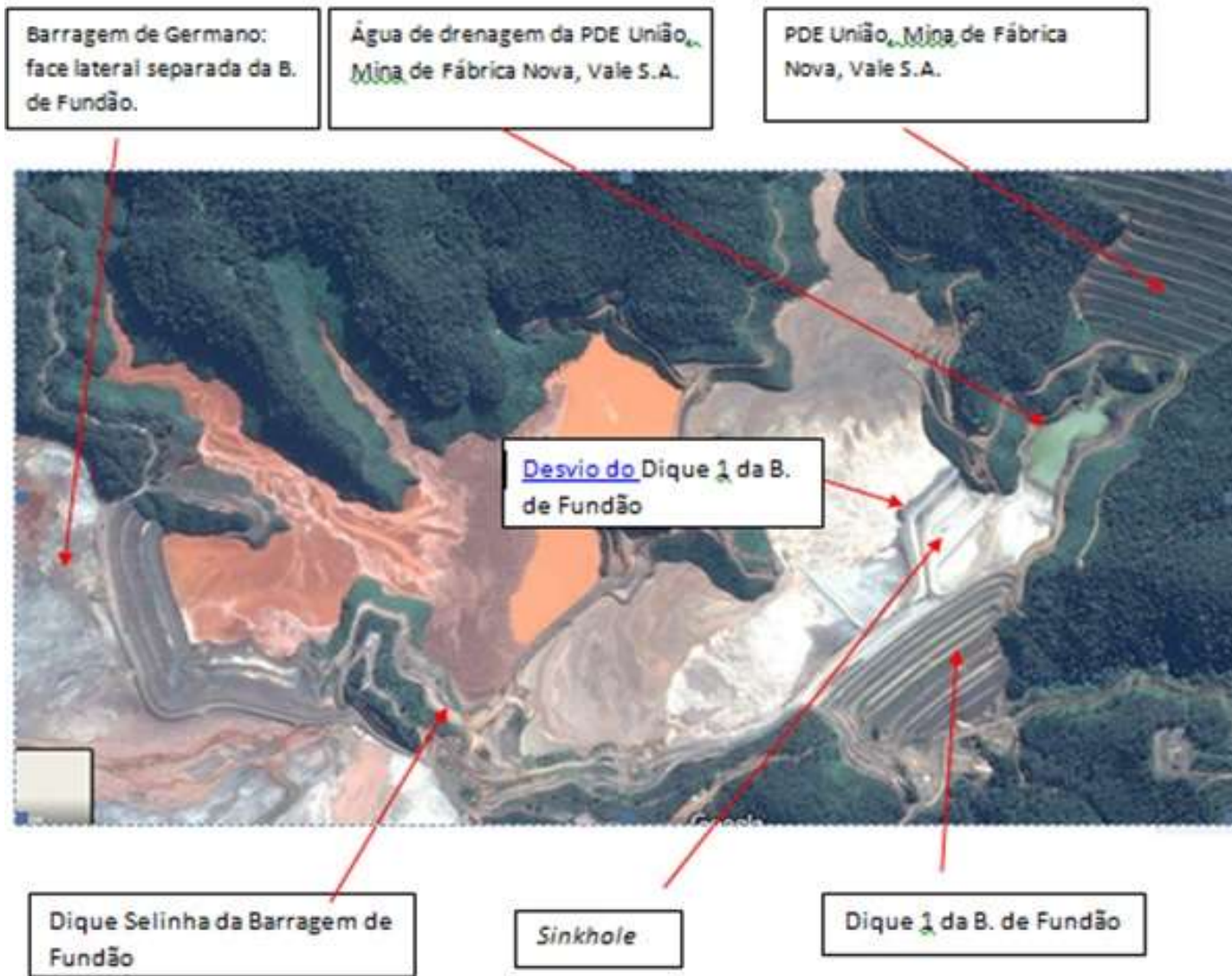
Linha do tempo – Histórico da BRF - 2010

- Jul.: Passagem de rejeito arenoso para jusante do Dique 1 através da galeria principal, desencadeando um cone de sucção
- Após inspeções na galeria principal, evidenciou-se aberturas de juntas de dilatação entre os módulos que possibilitava a passagem de rejeitos para o interior da estrutura, em razão de recalque da fundação.
- Na galeria secundária foram verificadas trincas no concreto e juntas com vazamento.
- Ago.: Construção do Dique 1A, a montante do Dique 1 (situação de contingência), para que a produção não fosse prejudicada.

Vista longitudinal do módulo n° 24 da Galeria Principal com grande infiltração de água e rejeito através do seu perímetro e Ruptura no concreto do módulo n° 24, adjacente à junta n° 23



2012 - Mudança do eixo da BRF



Histórico da deposição de rejeitos na BRF

Fundão Dam Historical – Disposed Volume x Time



Aspectos Econômicos

PREÇOS (FOB) DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO – 2014

(mil t)

Histórico de preços – Minério de ferro e pelotas



2013 - Erosão em talude



2013 - Vazamento de tubulação com lançamento de água direto no pé de talude, sem canaleta de drenagem



2013- Acúmulo de água no pé do talude na Elevação 820 m, sem canaleta



2014 – Ausência de canaleta em berma



Figura 1 - Ausência de canaleta em berma

2014 - Erosão em talude



Agosto - 2014 - Trincas na crista – região do recuo do eixo



Agosto - 2014 – Trincas de tração na face do talude do recuo do eixo



2014 – Agosto: Trinca de tração de 7 cm na berma na El. 880



2014 - Agosto – trincas de compressão e saturação no platô na El. 863m



Agosto - 2014 – Saturação no platô da El. 863m



Agosto -2014 – Surgência com artesianismo no pé do talude à jusante da BRF (*Independent Tailings Review Board*)



Novembro de 2014

- ITRB recomenda o preenchimento da área do recuo “*o mais rápido possível*” e que “*todos os esforços sejam envidados para completar esse trabalho em regime prioritário*”
- Em novembro de 2015 não havia sido completado o preenchimento da área do recuo do eixo.
- Os Laudos Técnicos de Segurança recomendavam, ano após ano (de 2013 a 2015) a revisão da Carta de Risco, para atualização dos dados e inclusão dos novos instrumentos, revisão que não chegou a ser feita até o rompimento da barragem.

Linha do tempo - Histórico da BRF - 2015

- Agosto: Início de obras de drenagem complementar da BRF
- Setembro: Lançamento de rejeito arenoso na região do recuo do eixo, junto à ombreira esquerda, sobre o dreno lançado na El. 860m.

2015

Obras de drenagem e lançamento de resíduos
na El. 860m para retorno do eixo original



2015

Erosão em talude



Percolação em talude junto ao dreno superficial da ombreira esquerda

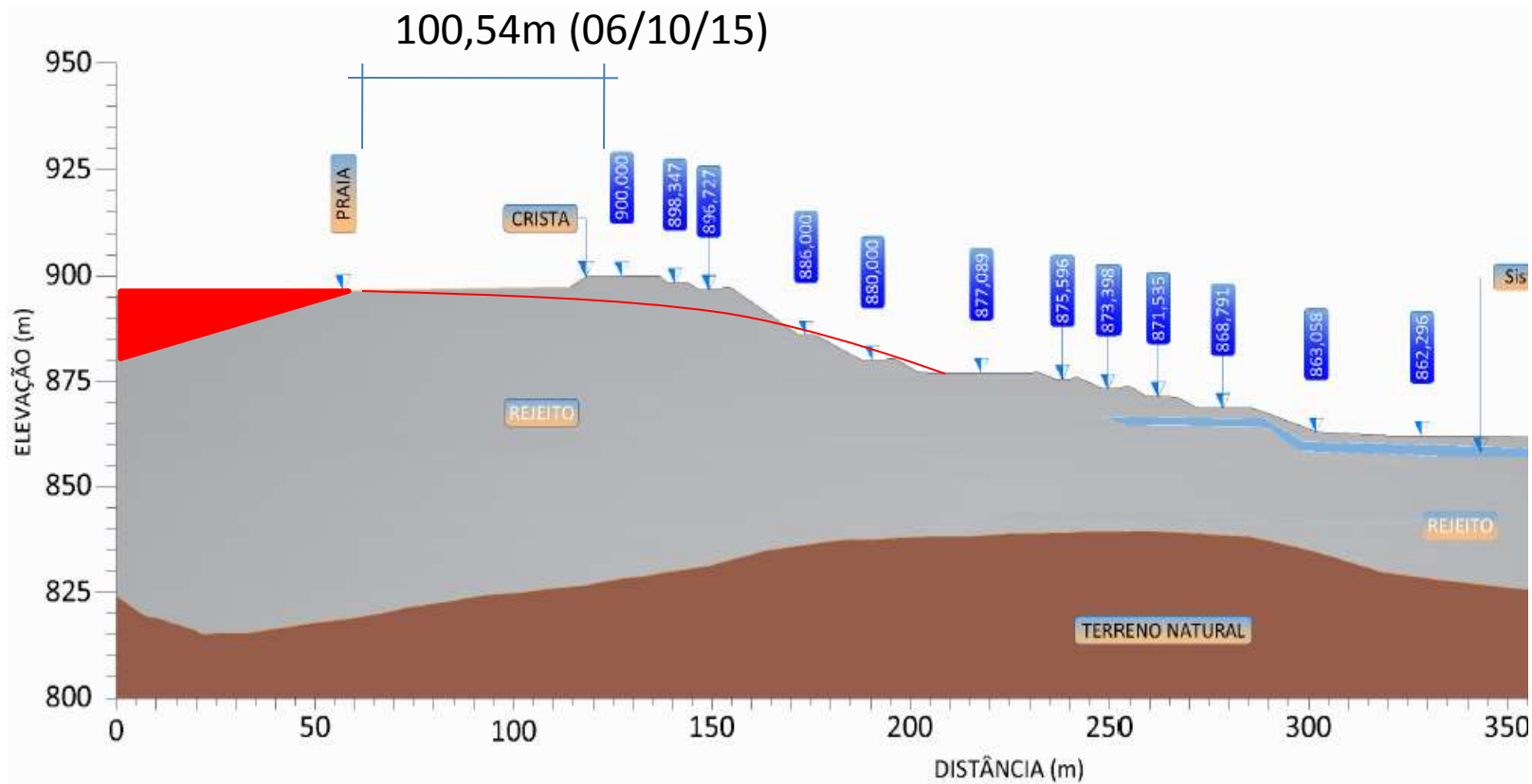


Piezômetros e Indicadores de nível d'água alterados

| Seção | PI / LI | Mai/15 | Jun/15 | Jul/15 | Ago/15 | Set/15 | Out/15 | Observações |
|-----------|---------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| BB | 24PI044 | 819.38 | 818.44 | 818.93 | 818.45 | 819.08 | 818.83 | Piezômetro chave |
| | 24LI019 | 808.80 | OK | OK | OK | OK | OK | |
| DD | 24PI047 | 805.81 | 805.75 | 805.72 | 805.64 | 805.58 | 805.55 | Piezômetro chave |
| | 24PI045 | 808.09 | 808.05 | 808.00 | 807.90 | 807.93 | 807.86 | |
| | 24LI021 | 805.22 | 805.21 | 805.12 | 805.02 | 804.96 | 804.93 | |
| | 24LI029 | 800.83 | 801.13 | 801.08 | 801.00 | 800.73 | 800.67 | |
| | 24LI030 | 796.11 | 795.89 | 795.65 | 795.85 | 795.84 | 795.86 | |
| HH | 24PI051 | Sem Leitura | | | | | | Piezômetro chave |
| | 24LI024 | 792.07 | 792.10 | 792.07 | 792.06 | 792.07 | 792.05 | |
| LL | 24PI057 | Sem Leitura | | | | | | Piezômetro chave |

Outubro de 2015.: Perda da leitura dos piezômetros automáticos

Falha operacional grave: Praia de rejeitos < 200m em Outubro/2015



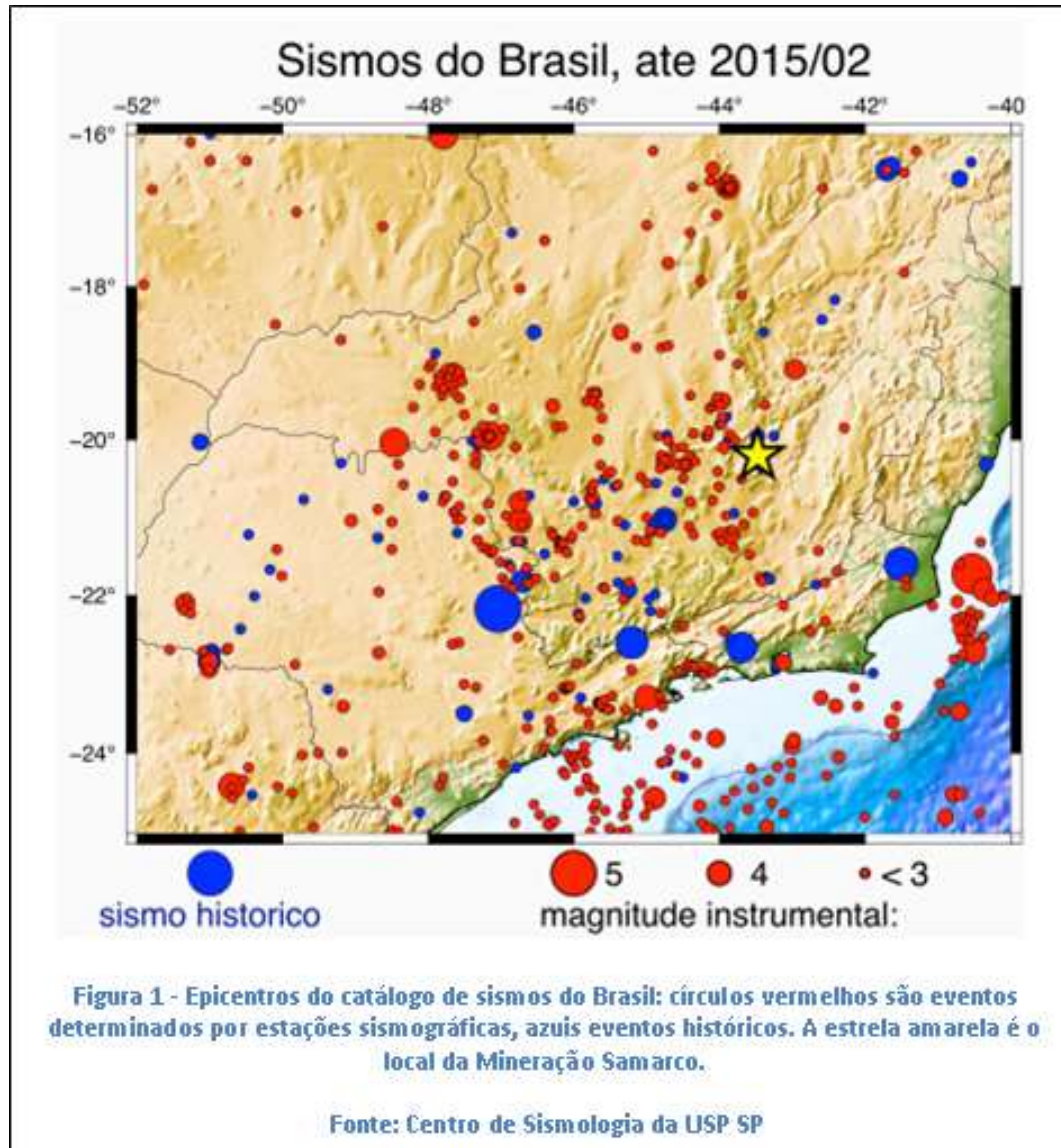
Velocidade de alteamento

- Alteamento em 2014: 12,5m
- Alteamento de jan a out/2015: 10,5m
- Nieble (1986) e Soares (1998) apud Castro (2008) sugerem gradiente de elevação das barragens da ordem de 5 a 10 metros/ano.
- Velocidade de alteamento alta → prejudica a dissipação das pressões neutras

Sismos registrados pela Rede Sismográfica Brasileira na região de Mariana no dia 05/11/2015

| Evento | Hora | Latitude | Longitude | Incerteza no epicentro (km) | Magnitude |
|--------|----------|----------|-----------|-----------------------------|-----------|
| 1 | 13:01:50 | -20.0 | -43.3 | 20 | 2.3 |
| 2 | 13:06:07 | -20.2 | -43.6 | 20 | 2.5 |
| 3 | 14:12:15 | -20.08 | -43.50 | 20 | 2.4 |
| 4 | 14:13:51 | -20.20 | -43.48 | 10 | 2.6 |
| 5 | 15:56:42 | -20.2? | -43.5? | ? | 2.0? |
| 6 | 15:59:28 | -20.00 | -43.60 | 20 | 2.2 |

Informações sismológicas



Sobre os sismos

- *“As cargas dinâmicas introduzidas na barragem, sejam pelas detonações vizinhas sejam pelos equipamentos, devem ser objeto de preocupação permanente.”* (Brito apud Aranha,s.d.)
- *“Em áreas que ocorram vibrações (...) **recomenda-se que o alteamento por este método de montante seja descartado.**”* (Lindolfo Soares apud Aranha, s.d)
- Os parâmetros de dimensionamento da BRF não consideraram a ocorrência de sismos, conforme orientação do Manual de Segurança de Barragens 2002 do Ministério da Integração Nacional
- **A desconsideração de parâmetros relativos a sismos no projeto original da BRF foi confirmada pelo engenheiro projetista.**

Sismologia

- Mesmo que um sismo induzido de apenas 2.6 mR tivesse atingido a estrutura da BRF, a sua contribuição teria funcionado apenas como um gatilho para a liquefação
- Um sismo desta magnitude não teria rompido ou mesmo danificado uma estrutura que não estivesse saturada devido a problemas de drenagem, que não tivesse apresentado grandes trincas em 2014 e sobre a qual não se movimentassem diariamente grande número de equipamentos pesados.

BRF após o rompimento - vista do encaixe das ombreiras



Foto de 01/12/2015. Autor: Mário Parreiras de Faria

BRF após o rompimento em vista do fundo.



Foto de 01/12/2015. Autor: Mário Parreiras de Faria

Conclusão

Drenagem insuficiente

Surgências, percolação de 2009 a 2015

Grandes trincas em 2014

Ausência de drenos nas ombreiras

Praia < 200m

Vibrações

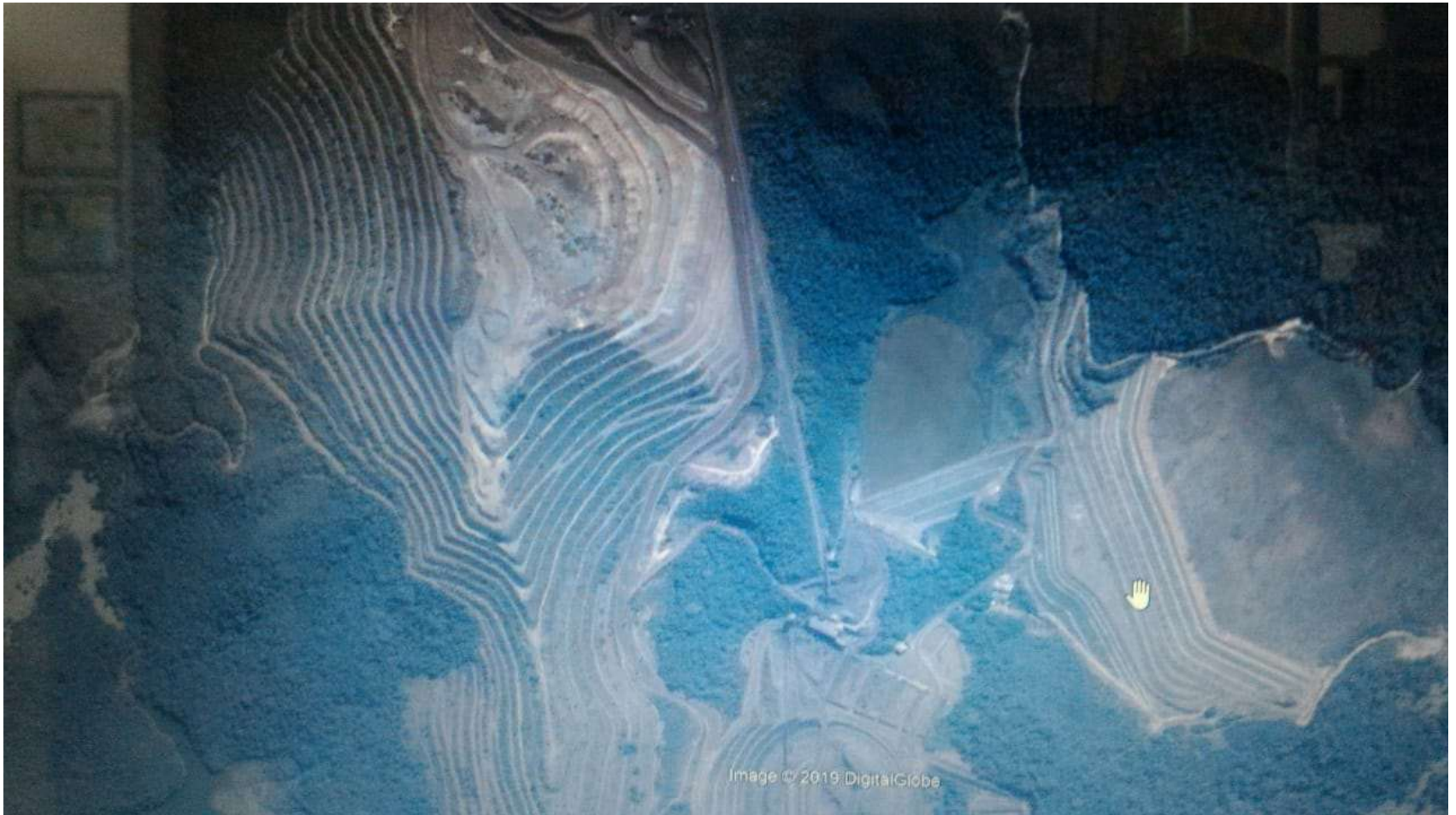
Obras de drenagem em 2015 (equipamentos pesados)

Sismos

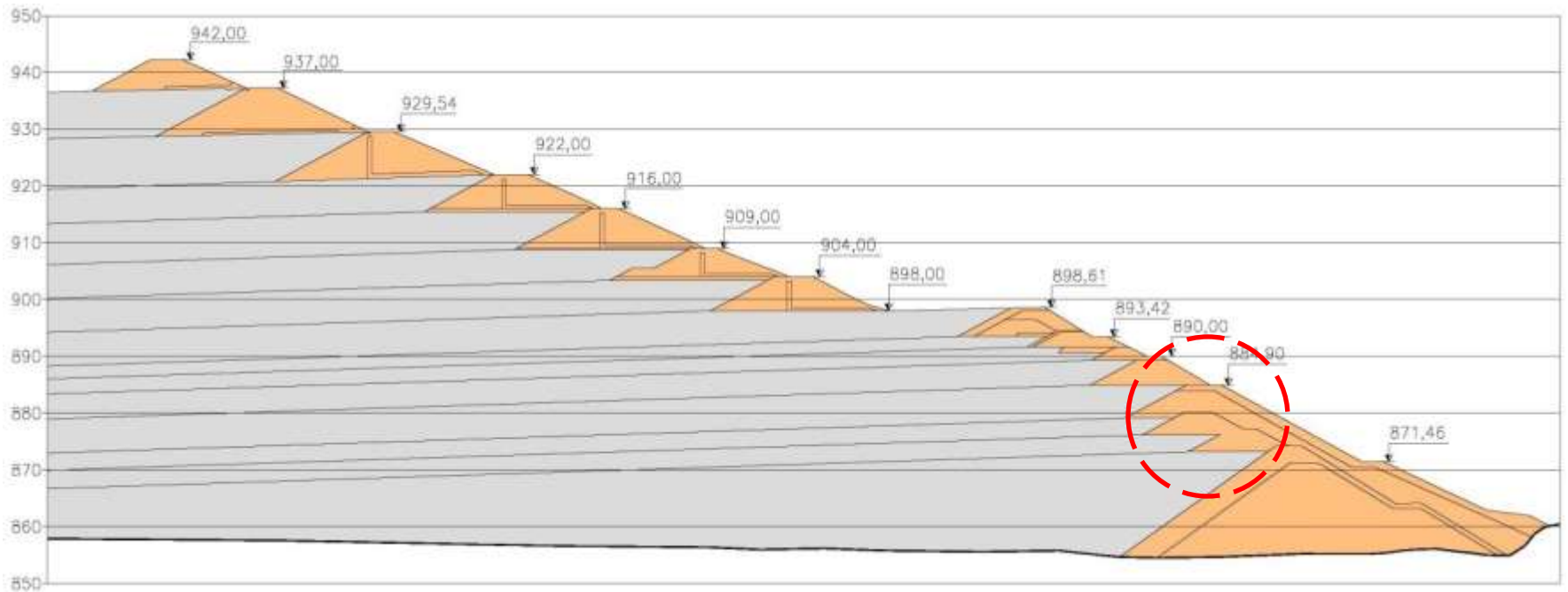
Detonações na Mina vizinha

Liquefação com ruptura da BRF

Barragem da Mina Córrego do Feijão



Alteamento de barragem de rejeitos CFJ



Barragem 1 da Minas Córrego do Feijão após o rompimento
(Foto de 28/01/2019. Fonte: Auditoria Fiscal do Trabalho)



Barragem 1 da Minas Córrego do Feijão após o rompimento
(Foto de 28/01/2019. Fonte: Mário Parreiras de Faria)





Dados colhidos até agora

- Final de 2017: Painel Nacional recomendou aumentar o FS
- 2018: Painel Internacional recomendou providências para aumentar o FS
- Empresa TCB: Laudo de Estabilidade em 2016, 2017 e março de 2018
- TCB estava analisando os dados para a DCE de setembro de 2018

Dados colhidos até agora

TCB: sempre elaborou os relatórios baseados no dados fornecidos pela VALE e fazia uma média

TCB: estranhou os DHP instalados sem seu conhecimento e ficou “desconfortável” com os dados colhidos pela TS e fornecidos pela VALE

TCB: DHPs instalados + FS baixo (1,09) => fizeram a área de Geotecnia da TB ficar “desconfortável”

Dados colhidos até agora

Diante do “desconforto” da TB a Gerência de Geotecnia da VALE disse passariam a incumbência de dar o Laudo de Estabilidade para a TS “que tinha mais experiência”

Julho de 2018: na instalação do 15º. DHP há um fraturamento hidráulico com surgência 3 metros acima

Dados colhidos até agora

TS: Calculou o FS para resistência não drenada em 1,05 e pelos dados analisados o FS da BI estava em 1,09

OLSON (2001) recomenda FS 1,30 para resistência não drenada

TS utilizou outros autores e descartou dados de ensaios laboratoriais para calcular o FS

- A Norma da ABNT não estabelece o FS para resistência não drenada deixando a cargo do profissional consultor

Dados colhidos até agora

TS: Tez o relatório e deu o Laudo de Estabilidade

TS: recomendou outros estudos e a instalação de drenos verticais pois a instalação de DHPs tem que ser feita com muito cuidado

TS: recomendou a drenagem do lago que se formou no fundo da BI e o desvio da água da mina de água no fundo da BI

Reflexões

- As análises destes acidentes de trabalho e sua consequente catástrofe ambiental revelam falhas nos processos de gestão da empresa, monitoramento e do sistema de emergência, que são incapazes de garantir a segurança das barragens, da própria empresa e das populações afetadas
- Demonstra as falhas da gestão de segurança ocupacional e ambiental adotadas.

Reflexões

- Acidentes ampliados como este não possuem uma causa única, mas resultam de uma combinação de fatores acumulados ao longo do tempo (“período de incubação”), cuja origem pode ser explicada por decisões técnico-organizacionais ou mesmo políticas tomadas ao longo da história do sistema.

Reflexões

- O período de incubação caracteriza-se pelo aparecimento de sinais anunciadores de um possível acidente.
- Estes sinais podem evoluir de sinais fracos e repetitivos, incidentes menores, mas frequentes, para incidentes e sinais mais graves, até quase acidentes (em que faltou pouco para que acontecesse uma catástrofe) e indicadores de uma disfunção latente e profunda no interior da organização, que levam a um fracasso na organização da segurança da empresa.

(Turner, citado por Llory e Montmayeul ;2014, p. 98 e 99)

Reflexões

- Até que ponto uma sequencia de sinais precursores do acidente são encarados como “sinais mistos”:
 - sinais de *um perigo potencial seguidos por sinais de que tudo ficou bem, convencendo os engenheiros de que o problema foi diagnosticado com sucesso, corrigido e, assim, o risco era aceitável.*

(VAUGHAN, 1997)

Reflexões

- A partir daí passariam ainda ser encarados como “sinais de rotina” que mesmo sendo reconhecidos como potencialmente sérios perdem sua seriedade quando eventos semelhantes ocorrem em sequência e os métodos de avaliação e resposta a eles se estabilizam e não levam a um acidente.

(VAUGHAN, 1997)

Reflexões

- Daí se evolui para o que denomina “normalização” quando os operadores do sistema evidenciam que o projeto não está tendo o desempenho esperado, mas passam a aceitar estas evidências como não desviantes, pois o acidente não emerge.
- Ou mesmo apresentam uma crença cega nos parâmetros e medidas técnicas postos pela engenharia e seus paradigmas clássicos.

(VAUGHAN, 1997)

Reflexões

- Se estes aspectos não forem considerados, a simples adoção de mudança nos métodos construtivos de barragens de rejeitos pode não ser suficiente para evitar acidentes da natureza do ocorrido, pois não são apenas os paradigmas técnicos e de engenharia que determinam a segurança dos sistemas de depósitos de rejeitos .
- Os sistemas e dispositivos tecnológicos não são isentos de risco e apresentam limites, imperfeições e incertezas

(FARIA, 2008; COLLINS e PINCH, 2010)

Reflexões

Acidentes “são reveladores poderosos das disfunções organizacionais, motores poderosos de reflexão dado que eles questionam nossa capacidade de análise e de diagnóstico. Os acidentes são (...) ‘semeadores de inquietações’ porque eles desestabilizam nossas representações sobre a segurança e a prevenção.”

(Llory e Montmayeul,2014)

Reflexões

“Antes de considerarmos os operadores os principais causadores do acidente, é preciso compreender que eles são herdeiros dos defeitos do sistema, criados por uma concepção ruim, uma instalação malfeita, uma manutenção deficiente e por decisões errôneas da direção (...) quanto mais afastados os indivíduos das atividades de primeira linha e, assim, dos riscos diretos, mais perigosos, em potencial para o sistema.”

(Reason, citado por Mendel, 1999)

Reflexões

“...o acidente ou quase-acidente revelam os efeitos da cegueira que a organização gera insidiosamente ou deliberadamente: pensamento de grupo, ilusões coletivas, auto-sugestão, pressões psicológicas etc. aos quais convém acrescentar as tendências ao conformismo e autoconformidade dos gestores que os impedem de tomar posições que os distinguiriam dos colegas, assim como fenômenos de autocensura etc.”

(Llory e Montmayeul,2014)

Perspectivas

- Devemos avançar além dos limites de uma análise retrospectiva pós-acidente, pois esta embaça nossa capacidade de enxergar outros fatores que poderiam ajudar na compreensão do acidente e ter influído nas operações das estruturas das barragens.
- Tem-se a impressão de que decisões tomadas em situações anteriores ao acidente ante a uma sucessão de erros e falhas, bem evidenciadas a *posteriori* pela análise retrospectiva, foram assumidas e levando a uma visão enganosa de que os técnicos estavam “brincando de roleta russa”

(FEYNMAM apud VAUGHAN, 1997)

Perspectivas

- Deve surgir um novo paradigma para construção de barragens de rejeitos: Limites da tecnologia
- Acidentes desta proporção implicam em uma mudança radical do modelo de desenvolvimento e de exploração mineral que vem sendo adotado no país.
- Devemos buscar as causas organizacionais de grandes acidentes
- Tentar compreender as razões das decisões organizacionais e as causas da não valorização de sinais precursores de acidentes

Perspectivas

- Revisão radical dos parâmetros e critérios técnicos de avaliação e controle das barragens
- Revisão dos critérios de auditoria e fiscalização
 - “Nós perdemos a nossa fé na estrutura e prática do mercado, de modo geral, atualmente para averiguar a segurança e estabilidade de barragens de rejeitos” (Jornal Estado de Minas 16 de março de 2019)
 - “Não dá mais para ter condescendência com a mineração”
 - “As empresas procuram alguém que dê garantia de estabilidade”
 - “Não dá mais para aceitar um FS de 1,5.”
- Revisão profunda da Normas Técnicas
- A ENGENHARIA E A GEOTECNIA TÊM QUE IR PARA O DIVÃ

Referências

- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. Superintendência Regional do Trabalho e Emprego em Minas Gerais. ***“Relatório de Análise de Acidente– Rompimento da Barragem de Rejeitos Fundão em Mariana - MG”***. Elaborado por: Marcos Ribeiro Botelho, Mário Parreiras de Faria, Cristiano da Silva Rodrigues Garcia, Mara Queiroga Camisassa de Assis e Adriana Lúcia da Silva Jardim. Belo Horizonte, abril 2016, 138 p. Disponível em: <http://site.medicina.ufmg.br/osat/publicacao/relatorio-tecnico-ministerio-do-trabalho-referente-a-tragedia-da-samarco-em-mariana-minas-gerais/>
- CASTRO, L. V. P. ***Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante***. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas). Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- COLLINS, H.; PINCH, T. ***O Golen à solta: o que você deveria saber sobre tecnologia***. Harry Collins e Trevor Pinch: Tradução de Giácomo Patrocínio Figueiredo. – Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. 228 p.

Referências

- FARIA, M.P. ***Fatores intervenientes na segurança do trabalho de abatimento mecanizado de rochas instáveis em uma mina subterrânea de ouro.*** Dissertação (Mestrado em Saúde Pública. Área de concentração: Saúde e Trabalho). Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2008. 66f.: il.
- Faria, M.; Botelho, M. O Rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, Brasil: a Incubação de um Acidente Organizacional. *Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional on line*. 2018, volume 5, 73-85. DOI: 10.31252/RPSO.01.05.2018.
- FREITAS, C.M; PORTO, M.F.S.; MACHADO, J.M.H. ***Acidentes Industriais ampliados: Desafios e perspectivas para o controle e prevenção.*** Organizado por Carlos Machado de Freitas, Marcelo Firpo de Souza Porto e Jorge Mesquita Huet Machado. – Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. 316 p., tab., graf.
- GALVÃO SOBRINHO, A. R. DE V. ***Metodologia para implantação de um sistema de disposição de rejeitos em minério de ferro na região do semiárido:*** estudo de caso. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014

Referências

- LLORY, M. ***Acidentes Industriais: o custo do silêncio***. *Operadores privados da palavra e executivos que não podem ser encontrados*. Tradução Alda Porto. MultiMais Editorial. Rio de Janeiro, 1999. 320p
- LLORY M.; MONTMAYEUL R. ***O Acidente e a Organização***. Tradução de Marlene Machado Zica Vianna, Belo Horizonte: Fabrefactum, 2014, 192p)
- MENDEL, G. ***Prefácio***. In: Llory, M. ***Acidentes Industriais: o custo do silêncio***. *Operadores privados da palavra e executivos que não podem ser encontrados*. Tradução Alda Porto. MultiMais Editorial. Rio de Janeiro, 1999. 320p

Referências

- SOARES, L. in: ***Barragens de Rejeitos***. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerais. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 19 – pág. 831–896. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França. Rio de Janeiro, Agosto/2010
- VAUGHAN, D. ***The Trickle-Down Effect: Policy decisions, risk work, and the Challenger Tragedy***. *California Management Review*. Vol. 39. N 2. Winter 1997. p. 80 - 102

Muito obrigado

Mário Parreiras de Faria

marioparreiras55@gmail.com