

14º Curso de Fundações e Contenções **Geofix-Mackenzie - 2024**

**ANÁLISE GEOTÉCNICA DE ROMPIMENTO DE
BARRAGENS - CASES MARIANA-MG E
BRUMADINHO-MG**

Prof. Paulo Afonso C. Luz

Barragem do Córrego do Sítio - Santa Bárbara/MG

BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE REJEITOS



Rejeito

Provém do material descartado no processo de beneficiamento de minério, ou seja, é um produto (solo) rejeitado no trabalho de lavra da rocha.

Barragem

É uma estrutura de barramento artificial para contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos.

ILUSTRAÇÃO DE ALGUNS MINÉRIOS



NIQUEL



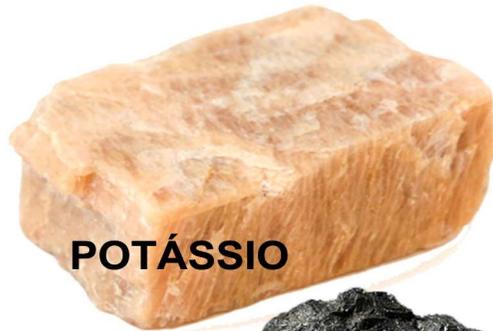
CROMO



BAUXITA



COBRE



POTÁSSIO



OURO



NIÓBIO



TUNGSTENIO



CARVÃO



ZINCO



MANGANES



PRATA



FERRO



ESTANHO

ILUSTRAÇÃO DE DIQUE E BARRAGEM



PRINCIPAIS FINALIDADES DAS BARRAGENS

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA



USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ – RIO TOCANTINS – MUNICÍPIO DE TUCURUÍ / PA

CONTENÇÃO DE REJEITOS



BARRAGEM DE PARAGOMINAS – PARÁ

ABASTECIMENTO DE ÁGUA

**OMBREIRA
ESQUERDA**

JUSANTE

MONTANTE

**OMBREIRA
DIREITA**

BARRAGEM DO RIO BIRITIBA – BIRITIBA MIRIM/SP



CONTROLE DE CHEIAS DOS RIOS



BARRAGEM DE CARPINA – PERNAMBUCO

REGULARIZAÇÃO DAS VAZÕES



AÇUDE CASTANHÃO – CEARÁ

IRRIGAÇÃO



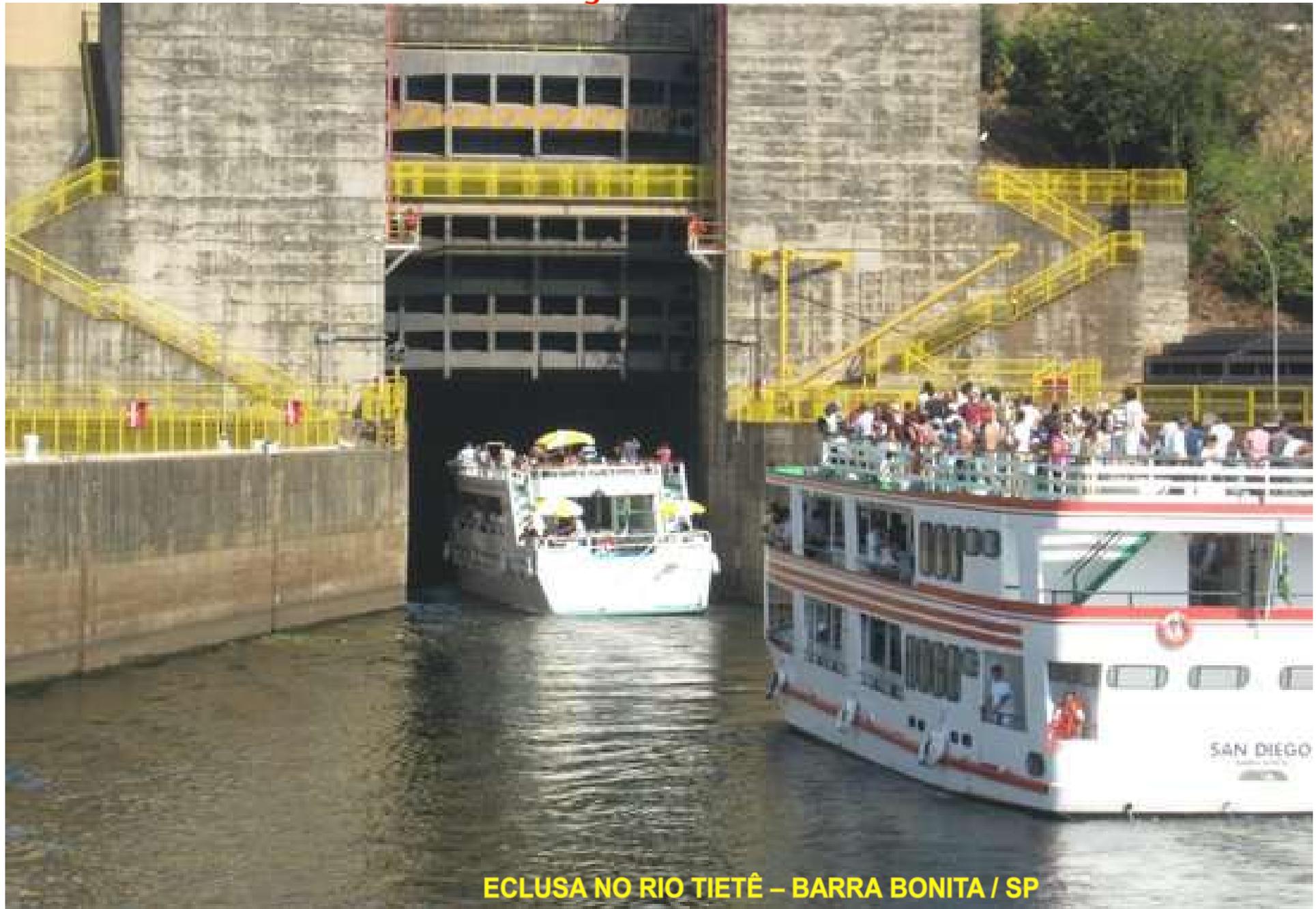
BARRAGEM MANUEL ALVES – TOCANTINS/TO

PISCICULTURA



TOCANTINS

NAVEGAÇÃO INTERIOR



ECLUSA NO RIO TIETÊ – BARRA BONITA / SP

DESSEDENTAÇÃO



RESERVA PRÓPRIA DE ÁGUA PARA ANIMAIS – PORTO ALEGRE

PESQUEIROS



SÃO PAULO

HISTÓRICO – ARMAZENAMENTO DE REJEITOS

A MINERAÇÃO NO BRASIL COMEÇOU HÁ CERCA DE 300 ANOS.

OS REJEITOS ERAM LANÇADOS NOS CÓRREGOS E RIACHOS SEM NENHUM CRITÉRIO → ACARRETANDO TRANSTORNOS E PREJUÍZOS ÀS ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS E LAVOURAS (USO DO SOLO), E AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

NA DÉCADA DE 1930 COMEÇARAM A SER CONSTRUÍDAS AS PRIMEIRAS BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS, PORÉM COM CRITÉRIOS DE ENGENHARIA RUDIMENTARES DA ÉPOCA.

NO INÍCIO DO SÉCULO XXI, DEVIDO AO AUMENTO SIGNIFICATIVO DE BARRAGENS ALTAS PARA CONTENÇÃO DE REJEITOS, FORAM EDITADAS AS PRIMEIRAS NORMAS E CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS PELA COMISSÃO DE NORMATIZAÇÃO DE BARRAGENS DE REJEITOS, DA ABNT.

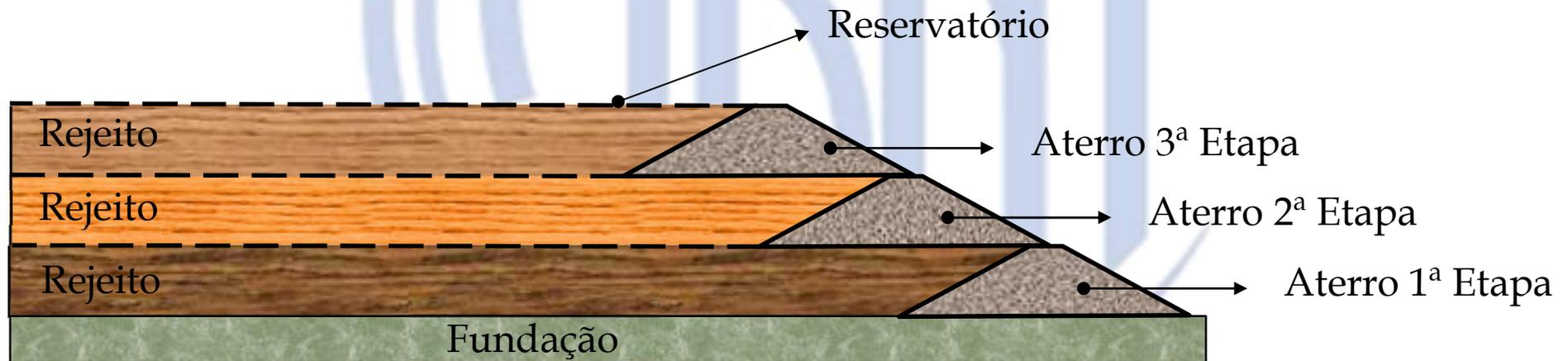
EM 14/11/2017 FOI REVISADA PELA ABNT A NORMA PIONEIRA **NBR 13028/2017: MINERAÇÃO – ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE PROJETO DE BARRAGENS PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS, CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E RESERVAÇÃO DE ÁGUA – REQUISITOS.**

PROJETO – BARRAGEM DE REJEITO

- **PROJETOS PARA SEREM ALTEADAS QUANDO HÁ A NECESSIDADE DE MAIS ESPAÇO PARA CONTENÇÃO DE REJEITOS → CONSTRUÇÃO POR ETAPAS (POR RAZÕES ECONÔMICAS).**
- **PODEM SER HOMOGÊNEAS, DE ENROCAMENTO OU MISTAS.**
- **DEVIDO À NECESSIDADE DE SEGURANÇA DA BARRAGEM, A ESCOLHA TEM QUE SER NORTEADA A UMA SEÇÃO TÍPICA MAIS SEGURA, E COM A DISPOSIÇÃO DE REJEITOS COM MENOR GRAU DE SATURAÇÃO (TEOR DE ÁGUA NO SOLO DO REJEITO).**

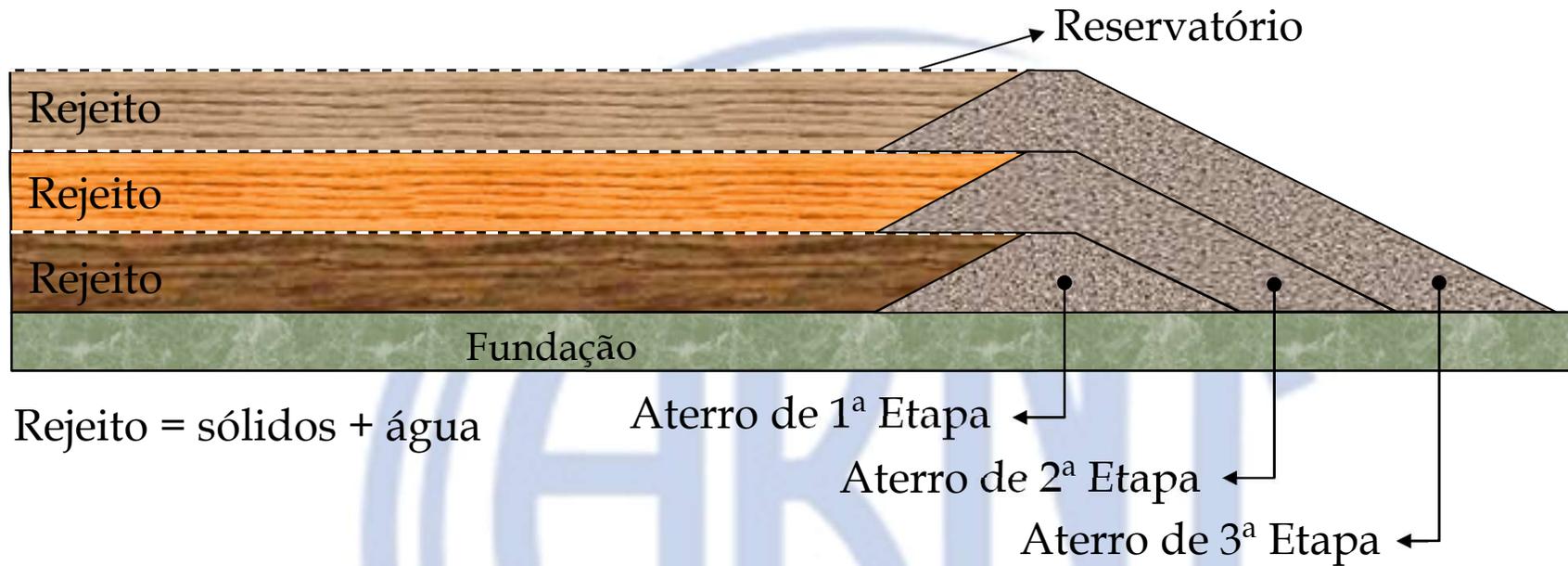
- **DE ACORDO COM A NORMA DA ABNT, PODEM SER ALTEADAS POR JUSANTE, PELA LINHA DE CENTRO (EIXO) E POR MONTANTE (DESDE QUE A SEÇÃO TÍPICA SEJA FEITA DE ATERRO HOMOGÊNEO – SOLO FINO COMPACTADO).**

ALTEAMENTO POR MONTANTE

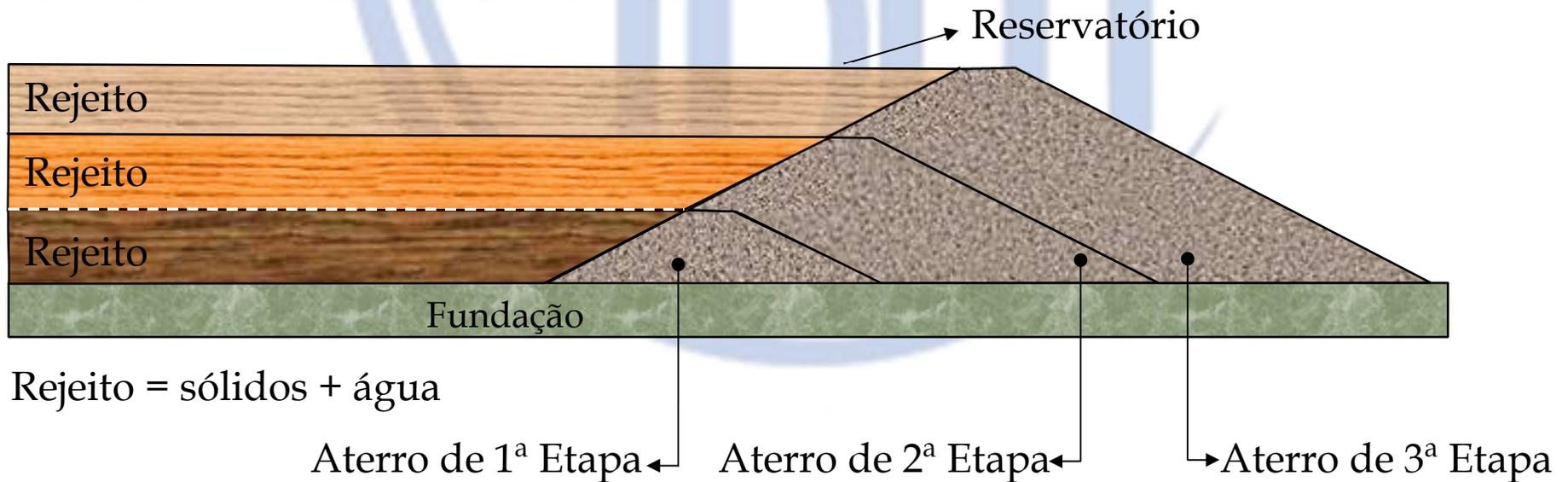


Rejeito = sólidos + água

ALTEAMENTO POR LINHA DE CENTRO



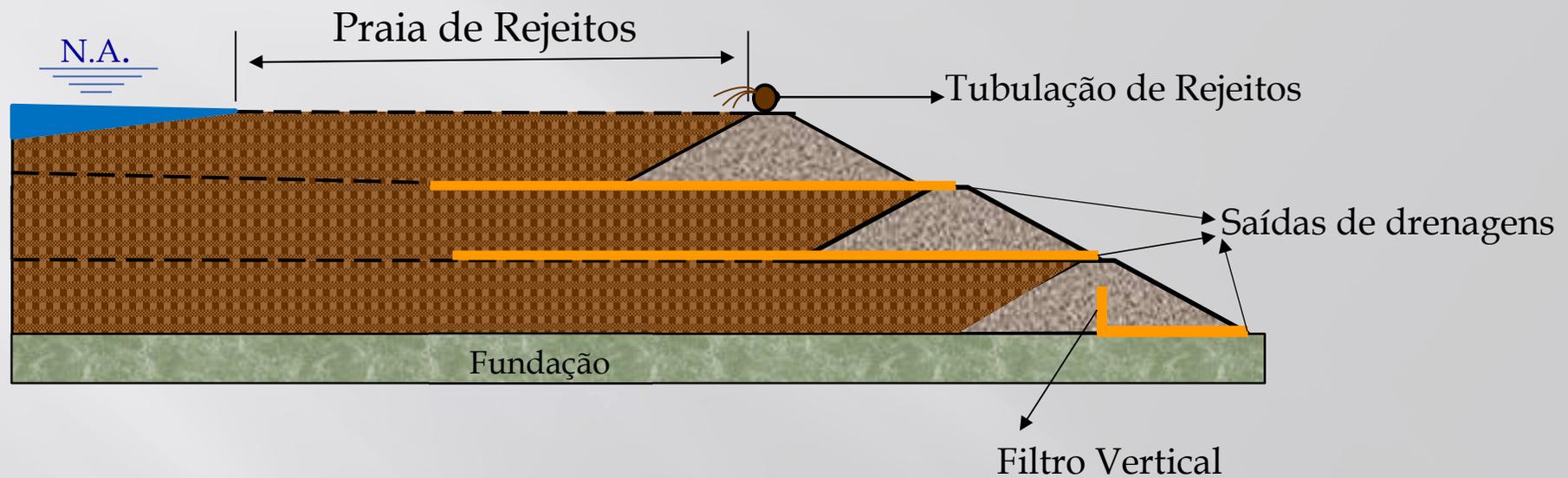
ALTEAMENTO POR JUSANTE



DUAS ALTERNATIVAS BÁSICAS PARA DIMINUIR O GRAU DE SATURAÇÃO

- **NOS REJEITOS ARENOSOS PODE SER REALIZADA A RETIRADA DE ÁGUA POR DRENAGEM INTERNA.**
- **NOS REJEITOS COM MUITOS FINOS (ARGILAS E SILTES) A FORMA MAIS ADEQUADA É A EVAPORAÇÃO.**

DRENAGEM INTERNA



Legenda:

- Diques - Solo homogêneo (fino) compactado
- Tapete drenante
- Rejeito lançado em forma de polpa

RESULTADO DO REJEITO APÓS EVAPORAÇÃO

- **NO PROCESSO DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS, O INTERVALO DE TEMPO ENTRE O LANÇAMENTO DE CAMADAS DEVE SER SUFICIENTE PARA PERMITIR O RESSECAMENTO DA CAMADA ANTERIOR LANÇADA.**



**EXEMPLO DO QUE ACONTECE, SE NÃO AGUARDAR A EVAPORAÇÃO
TOTAL DA CAMADA:**

**ESTRUME DE VACA - EXTERNAMENTE SECO E INTERNAMENTE
MOLE (SATURADO).**



PRINCIPAIS ACIDENTES E INCIDENTES DE BARRAGENS NO EXTERIOR

Data	Local	Tipo de mina	Ocorrência	Consequência
1966	Sgorigrad, Bulgária	Zinco, cobre e chumbo	Rompimento da Barragem	488 óbitos
1966	Aberfan, País de Gales	Carvão	Rompimento da Barragem	144 óbitos
1968	El Cobre, Chile	Cobre	Rompimento da barragem devido terremoto	300 a 350 óbitos (estimativa)
1970	Mufulira, Zâmbia	Cobre	Rompimento da Barragem liberando 1 milhão de metros cúbicos de rejeitos	89 óbitos (mineiros)
1972	Buffalo Creek, EUA	Carvão	Rompimento da barragem após forte chuva	125 óbitos 1.121 feridos 4.000 desabrigados
1985	Stava, Itália	Fluorita	Rompimento da Barragem	268 óbitos
1998	Andaluzia, Espanha	Zinco, Ferro e Cádmio	Barragem colapsou devido falhas estruturais. Negligência foi uma relação de custo benefício, devido multas de poluição serem irrisórias.	Danos ambientais de longo prazo. Mortandade de peixes. Poluição do Rio Guadalquivir.
2008	Taoshi, China	Ferro	Transbordou durante fortes chuvas	254 óbitos
2015	Hpakant, Mianmar	Jade	Rompimento da Barragem	113 óbitos

PRINCIPAIS ACIDENTES E INCIDENTES DE BARRAGENS NO BRASIL

Data	Local	Nome	Tipo de mina	Ocorrência	Consequência
1986	Itabirito, MG	Barragem de Fernandinho	Ferro	Rompimento da Barragem	7 óbitos
2001	Nova Lima - MG	Barragem de Macacos			5 óbitos
2003	Cataguases - MG	Barragem em Cataguases	Rejeitos industriais	Contaminação do Rio Paraíba do Sul	Mortandade de animais e peixes Interrupção do abastecimento de água de 600.000 pessoas
2007	Miraí - MG	Barragem São Francisco do Rio Pomba/Cataguases	Bauxita (alumínio)		Mais de 4000 pessoas desabrigadas ou desalojadas
2014	Itabirito - MG	Barragem de Herculano	Ferro		3 óbitos
2015	Mariana - MG	Barragem Fundão	Ferro	Poluição do Rio Doce (600 km) e do mar no ES	19 óbitos 8 desaparecidos 600 desabrigados ou desalojados Interrupção do abastecimento de água de milhares de pessoas Interrupção da atividade pesqueira Afetação ao Turismo em Regência/ES.
2019	Brumadinho - MG	Barragem da Mina do Córrego do Feijão	Ferro	Poluição do Rio Paraopeba (80 km)	269 óbitos - 1 desaparecido 200 desabrigados ou desalojados Interrupção do abastecimento de água de milhares de pessoas Interrupção da atividade pesqueira

BARRAGENS DE REJEITOS MAIS SEGURAS

- **PROJETO E CONSTRUÇÃO DEVEM SER REALIZADOS APÓS ESTUDO MINUCIOSO DA CARACTERÍSTICA DO REJEITO A SER CONTIDO;**
- **ESCOLHA DE SEÇÃO TÍPICA COM MAIS SEGURANÇA:**
 - **ALTEAMENTO A MONTANTE – COM REJEITOS DRENADOS (ARENOSO) – ATUALMENTE PROIBIDO**
 - **ALTEAMENTO A JUSANTE – EM QUALQUER SITUAÇÃO.**
- **MAIS RIGOR NA APROVAÇÃO DE PROJETOS E NA CONSTRUÇÃO;**
- **FISCALIZAÇÃO RIGOROSA DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS;**
- **CONTROLE DE QUALIDADE REALIZADO ATRAVÉS DE ENSAIOS GEOTÉCNICOS E VISTORIAS.**

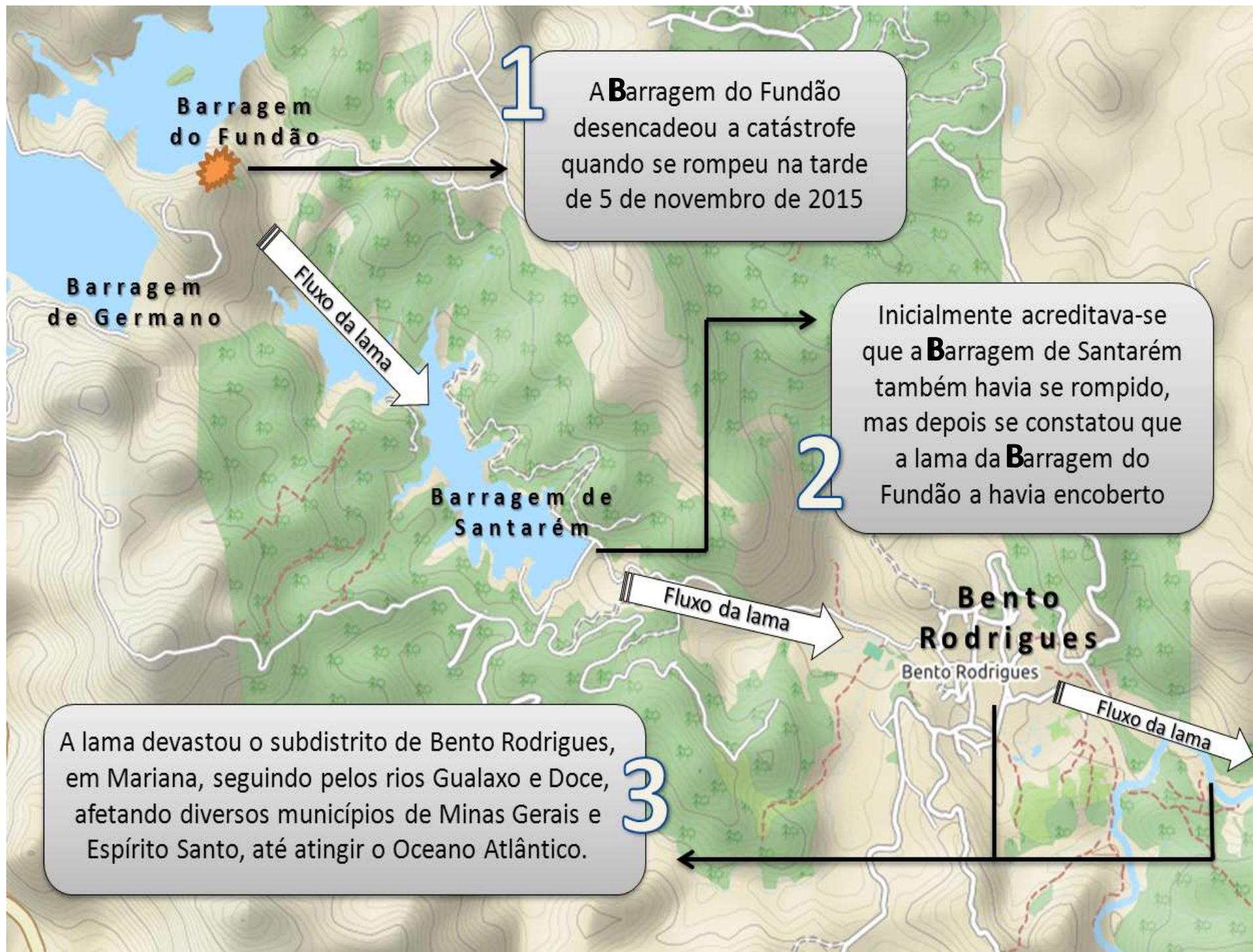
ASPECTOS PRINCIPAIS PARA SE PROJETAR UMA BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE REJEITOS

- **POTENCIAL DE DANOS QUE PODEM SER CAUSADOS NO CASO DE UMA RUPTURA.**
- **CARACTERÍSTICAS DOS REJEITOS E TIPOS DE SEÇÕES:**

<u>Nocivos</u>	Barragem impermeável, impedindo a passagem de quaisquer substâncias líquidas perigosas.
<u>Arenosos</u>	Barragem com sistema de drenagem interna garantindo escoamento da água contida nos rejeitos
<u>Finos e com saturação excessiva</u>	Barragem impermeável e estanque do fluxo das polpas (rejeitos com água)

RUPTURA DA BARRAGEM DE MARIANA





1

A **B**arragem do Fundão desencadeou a catástrofe quando se rompeu na tarde de 5 de novembro de 2015

2

Inicialmente acreditava-se que a **B**arragem de Santarém também havia se rompido, mas depois se constatou que a lama da **B**arragem do Fundão a havia encoberto

3

A lama devastou o subdistrito de Bento Rodrigues, em Mariana, seguindo pelos rios Gualaxo e Doce, afetando diversos municípios de Minas Gerais e Espírito Santo, até atingir o Oceano Atlântico.



BARRAGEM DE FUNDÃO – MARIANA (MG)

O VOLUME ARMAZENADO DE REJEITOS ESTAVA EM TORNO DE 56,6 MILHÕES DE M³. DESSE TOTAL, 43,7 MILHÕES DE M³ VAZARAM.

HOUVE DESTRUÇÃO DE DOIS VILAREJOS (DISTRITOS DE BENTO RODRIGUES E PARACATU DE BAIXO) E DE VÁRIAS PROPRIEDADES RURAIS, SITUADOS A JUSANTE DA BARRAGEM, DEIXANDO MILHARES DE MORADORES DA REGIÃO SEM ÁGUA E SEM TRABALHO.

ESTA RUPTURA CAUSOU O QUE É CONSIDERADO ATUALMENTE COMO O MAIOR DESASTRE AMBIENTAL DO MUNDO, ENVOLVENDO UMA BARRAGEM DE REJEITO.

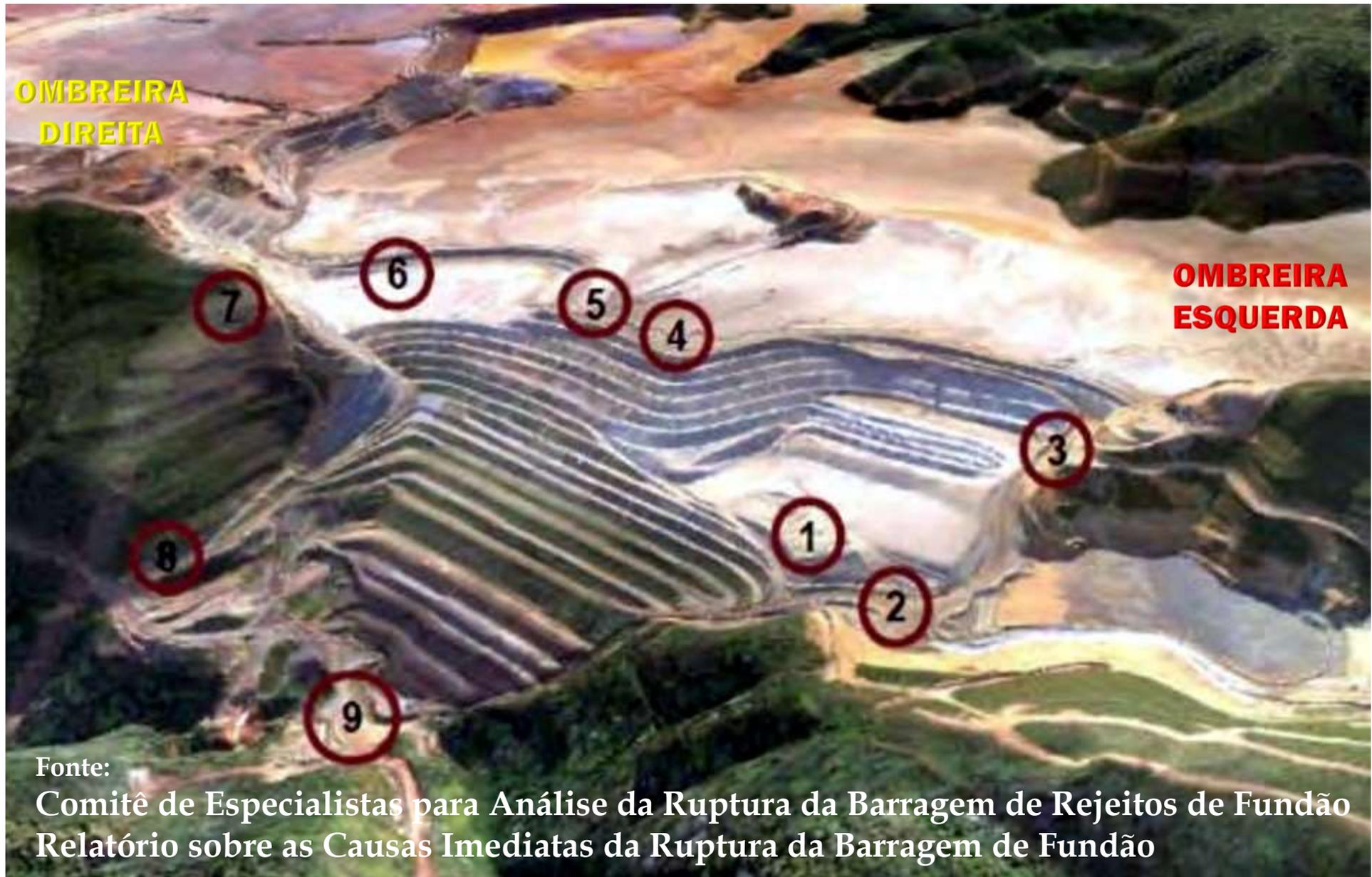
BARRAGEM DE FUNDÃO – ANTES E DEPOIS



A Barragem do Fundão após o estouro. A imagem é de 06/11/15.

(Imagem: Airbus Defense and Space/ Spot 6&7/O Globo)

Locais onde estavam testemunhas oculares na tarde de 05.11.2015



A PRIMEIRA COISA QUE FOI NOTADA POR MUITOS TRABALHADORES NA BARRAGEM, INCLUINDO AQUELES NAS POSIÇÕES 4 E 6, FOI UMA NUVEM DE POEIRA SUBINDO NO LADO ESQUERDO E ANUNCIANDO A RUPTURA.



TRABALHADOR DA POSIÇÃO 4 OBSERVOU ONDAS SE FORMANDO NA POSIÇÃO CENTRAL DO RESERVATÓRIO



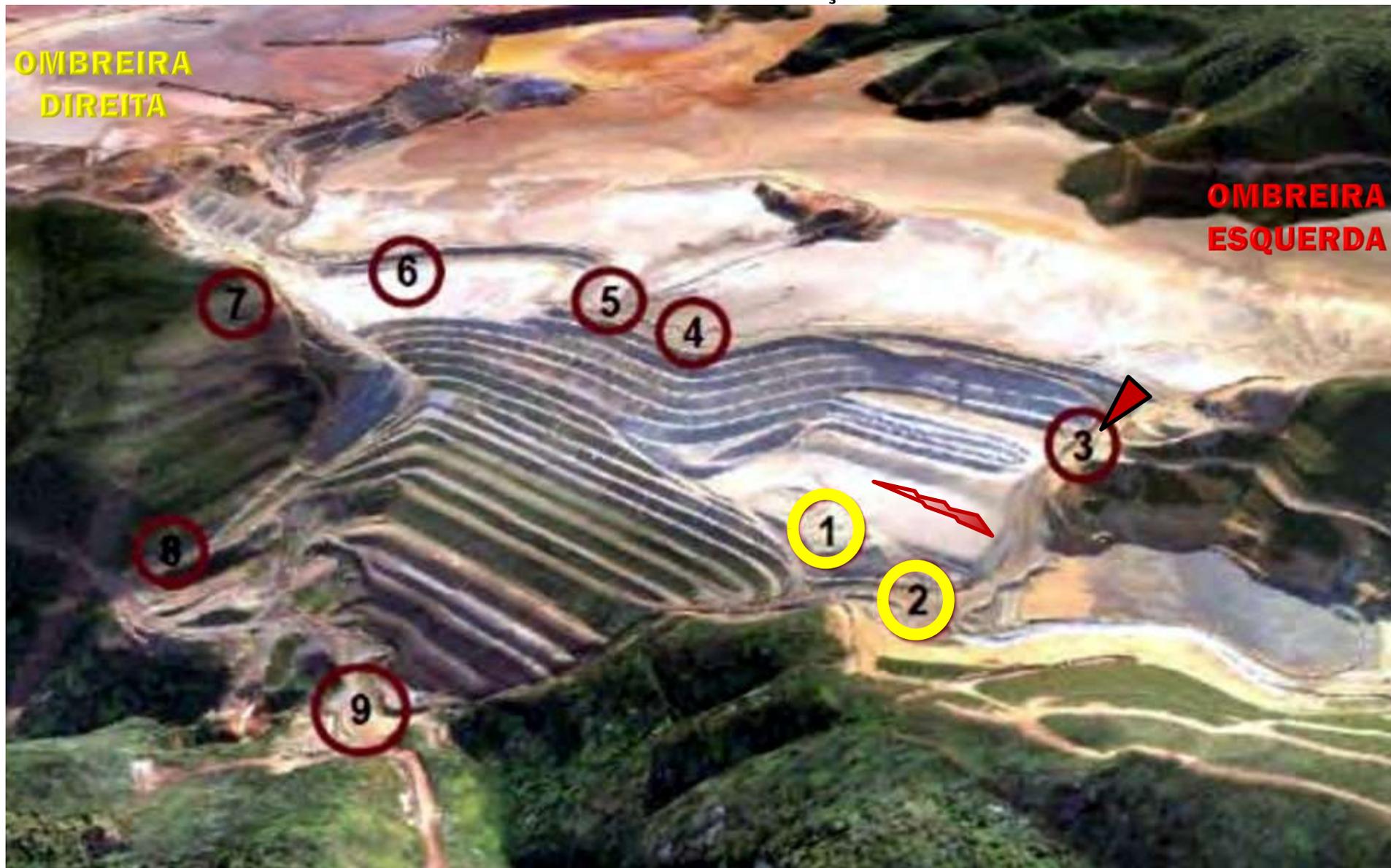
TRABALHADOR NA POSIÇÃO 5 VIU UMA TRINCA SE ABRIR AO LONGO DA CRISTA DO RECUO DA OMBREIRA ESQUERDA, EM SEGUIDA, SE PROPAGAR EM AMBOS OS SENTIDOS, E ENTÃO PROGREDINDO PARA A DIREITA.



TESTEMUNHAS NA POSIÇÃO 9 OBSERVARAM UMA AVALANCHE DE REJEITOS SIMILARES A LAMA CAINDO EM CASCATA A PARTIR DA OMBREIRA ESQUERDA, MAS NENHUMA MOVIMENTAÇÃO DO DIQUE DE PARTIDA.



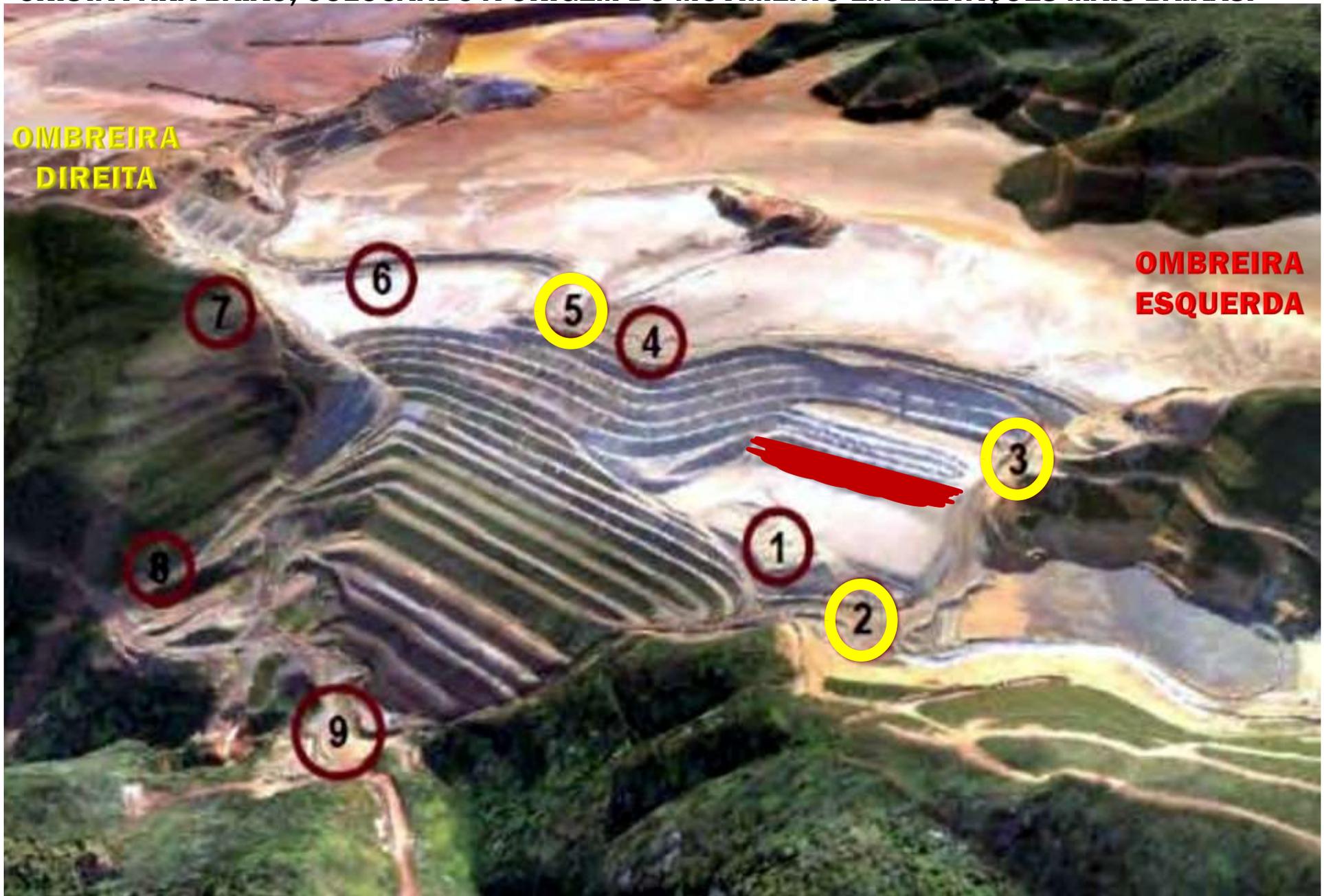
TRABALHADORES NAS POSIÇÕES 1 e 2 FORAM OS PRIMEIROS A VER A RUPTURA SE INICIAR PERTO DO DRENO DA OMBREIRA ESQUERDA ONDE ESTAVAM, ESTIMANDO A HORA EM 15:45. UM JATO SÚBITO DE ÁGUA SUJA “EXPLODIU” PARA FORA DO DRENO. A PRIMEIRA MOVIMENTAÇÃO E RACHADURAS TAMBÉM FORAM RELATADAS NO DRENO EXPOSTO E AO LONGO DA BORDA DO PLATÔ ADJACENTE, COLOCANDO A SAÍDA DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA NA ELEVAÇÃO DE 857 M OU PRÓXIMO A ESTA.



TRABALHADOR NA POSIÇÃO 1 QUE ESTAVA EM PÉ NO PLATÔ, SENTIU QUE A TERRA COMEÇOU A SE MOVER SOB ELE E A RACHAR EM TORNO DELE, SE SOLTANDO DO TALUDE DO RECUEO E MOVENDO-SE PARA JUSANTE.



TESTEMUNHAS OCULARES NAS POSIÇÕES 2, 3 E 5 DESCREVEM A MOVIMENTAÇÃO DO TALUDE SE PROPAGANDO “DE BAIXO PARA CIMA” NAS BANCADAS INFERIORES, E NÃO A PARTIR DA CRISTA PARA BAIXO, COLOCANDO A ORIGEM DO MOVIMENTO EM ELEVAÇÕES MAIS BAIXAS.



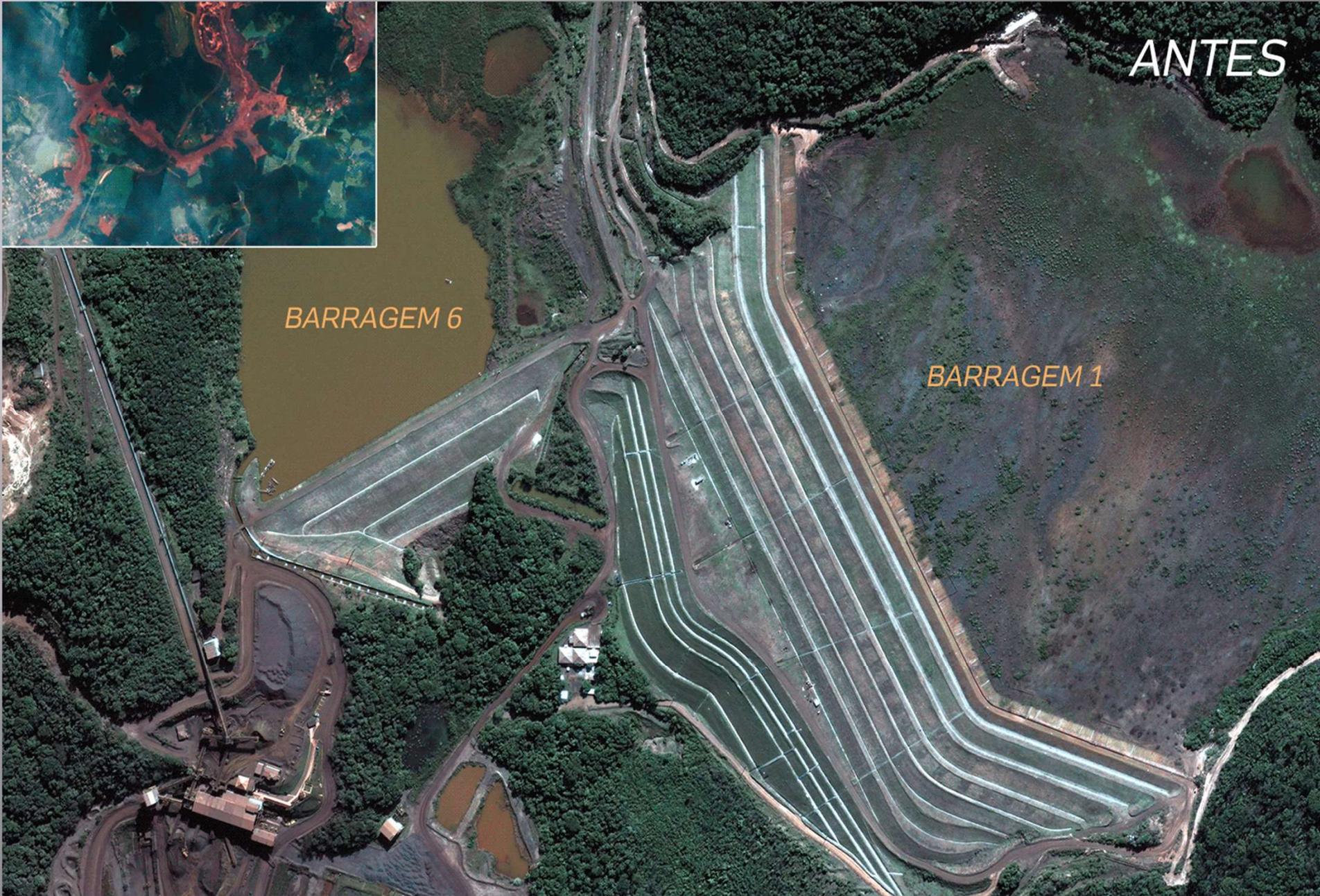
RUPTURA DA BARRAGEM DE BRUMADINHO



ANTES

BARRAGEM 6

BARRAGEM 1



BARRAGEM MINA CÓRREGO DO FEIJÃO - BRUMADINHO (MG)

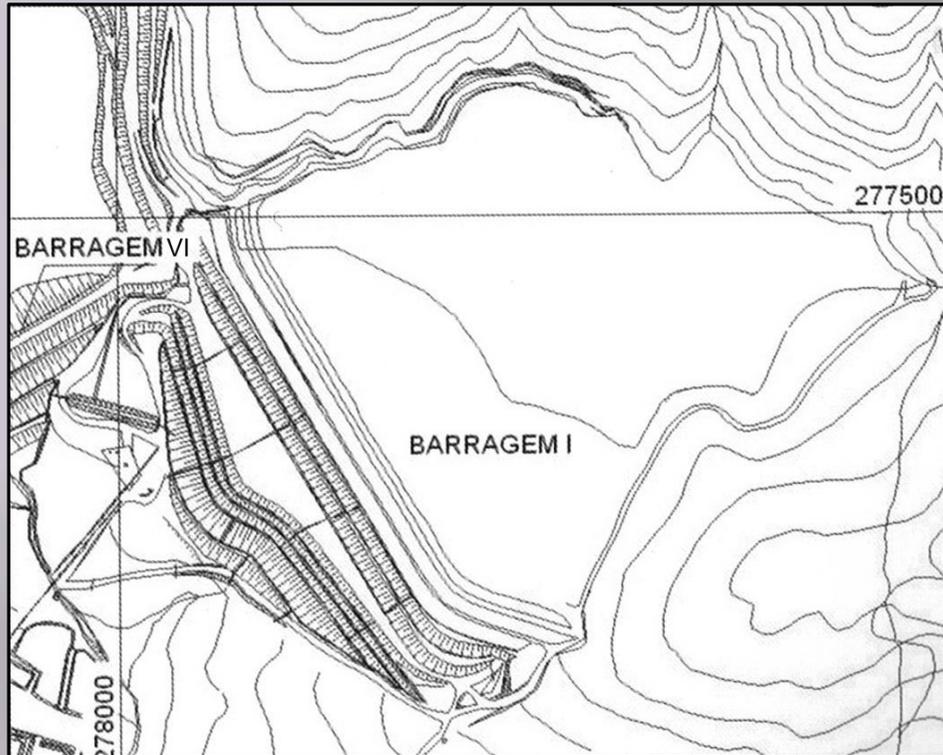
**A RUPTURA DA BARRAGEM I OCORREU EM 25/01/2019
COM UM TOTAL DE 269 VÍTIMAS FATAIS, 1 DESAPARECIDO E
APROXIMADAMENTE 200 DESABRIGADOS.**

**POLUIÇÃO DE CERCA DE 80 KM DE EXTENSÃO NO RIO
PARAOPEBA.**

**A BARRAGEM ERA CLASSIFICADA COMO SENDO DE BAIXO
RISCO DE RUPTURA.**

**ESTA RUPTURA É O MAIOR DESASTRE EM BARRAGENS NO
BRASIL, COM RELAÇÃO AO NÚMERO DE VÍTIMAS FATAIS (270),
E O 3º MAIOR DO MUNDO!**

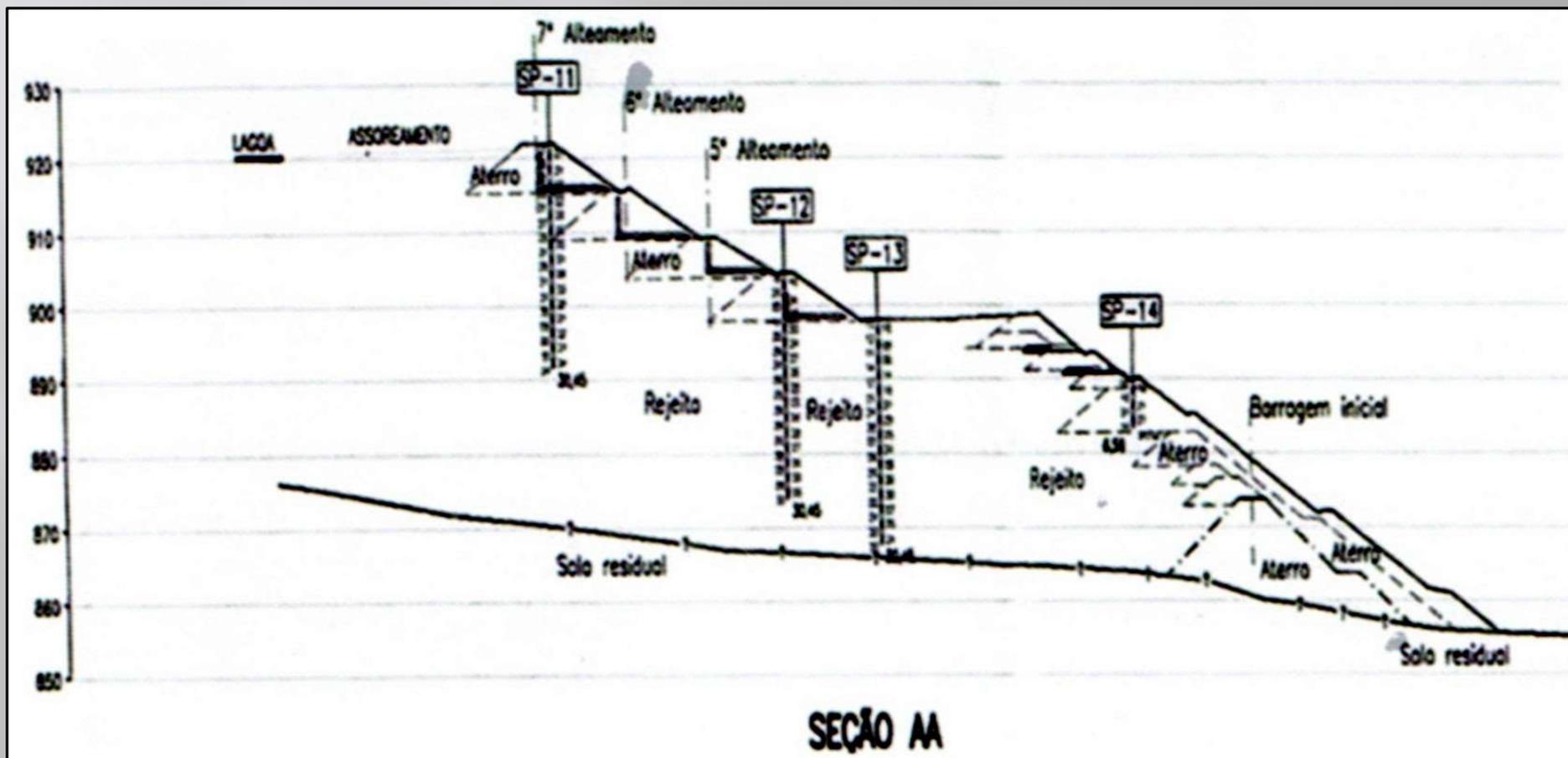
PLANTA (SET.2005) E FOTO (MAI.2007) DA BARRAGEM I - MINA CÓRREGO DO FEIJÃO - BRUMADINHO (MG)



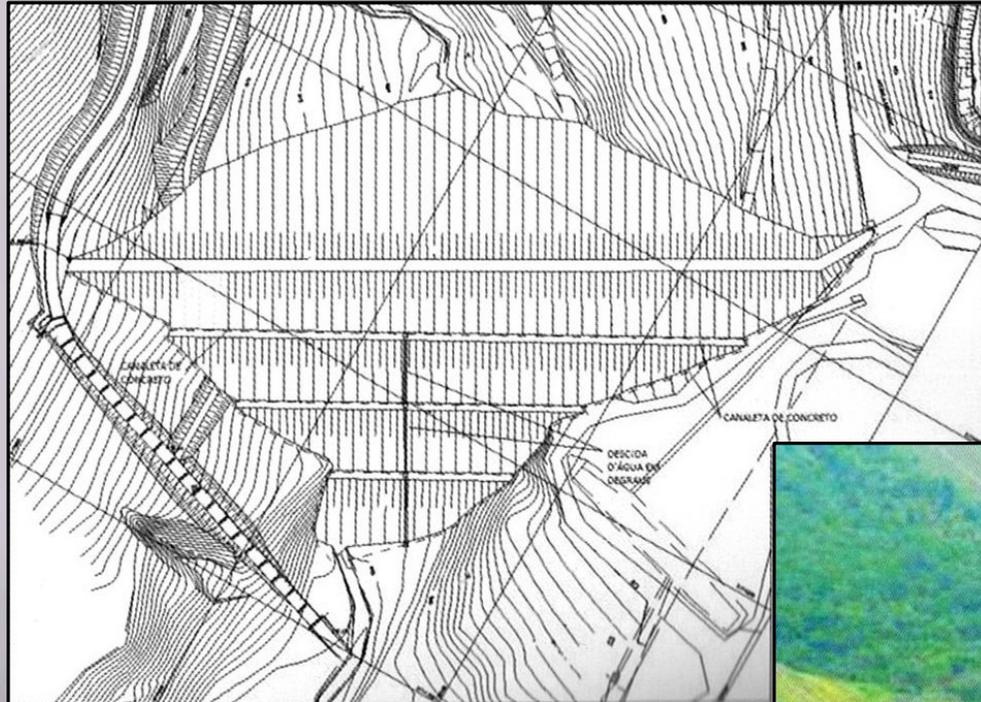
Fonte: Livro Barragens de Rejeitos no Brasil – Edição CBDB Comitê Brasileiro de Barragens Pimenta de Avila Consultoria Ltda.

PROJETO DO SISTEMA DAS BARRAGENS DA MINA CÓRREGO DO FEIJÃO.

- **SEÇÃO TÍPICA DA BARRAGEM I REFERENTE AO 7º ALTEAMENTO DA BARRAGEM**

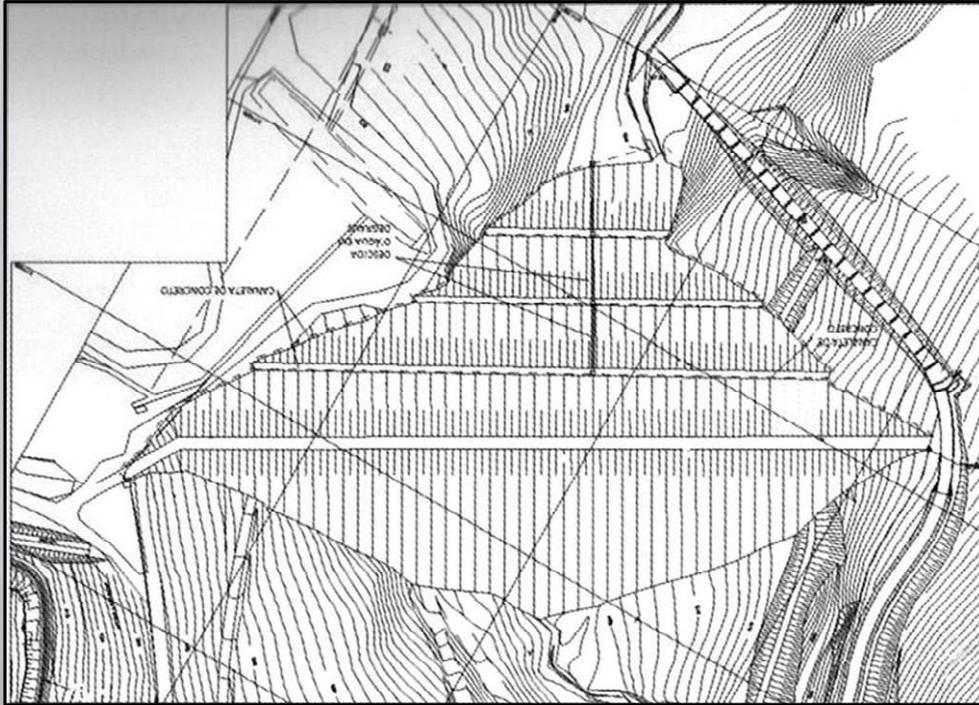


PLANTA E FOTO DA BARRAGEM VI



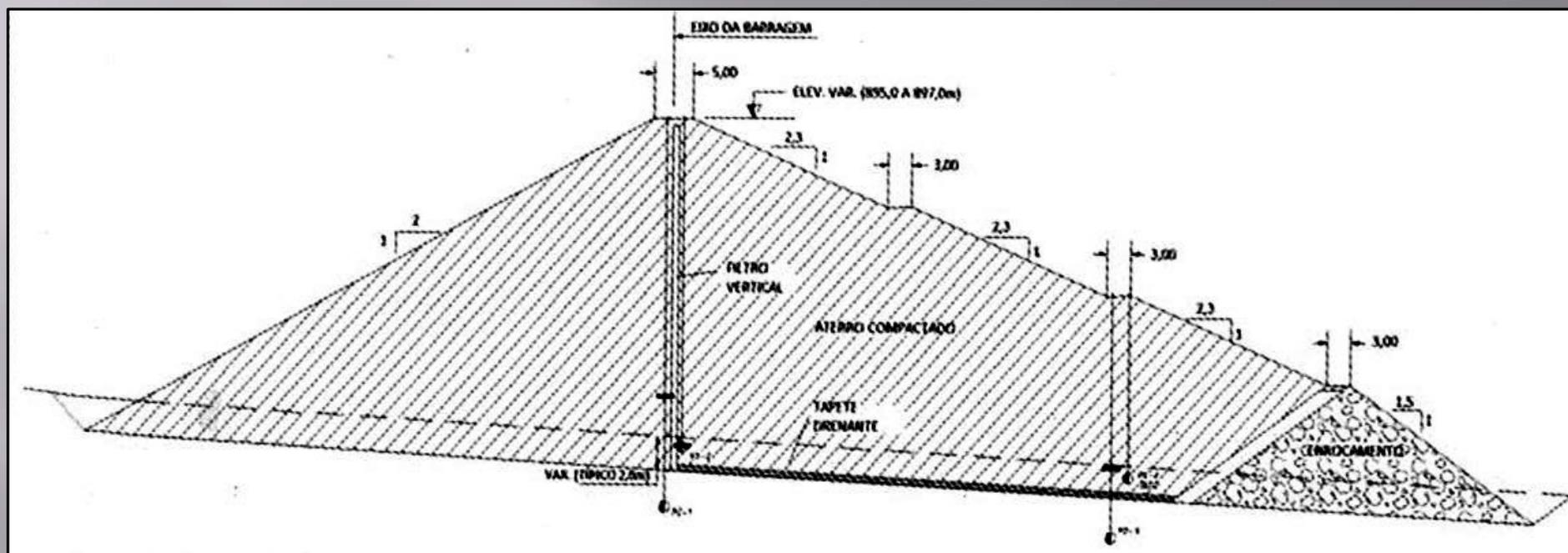
Fonte: Livro Barragens de Rejeitos no Brasil
Edição CBDB Comitê Brasileiro de Barragens
Pimenta de Avila Consultoria Ltda.

PLANTA E FOTO DA BARRAGEM VI

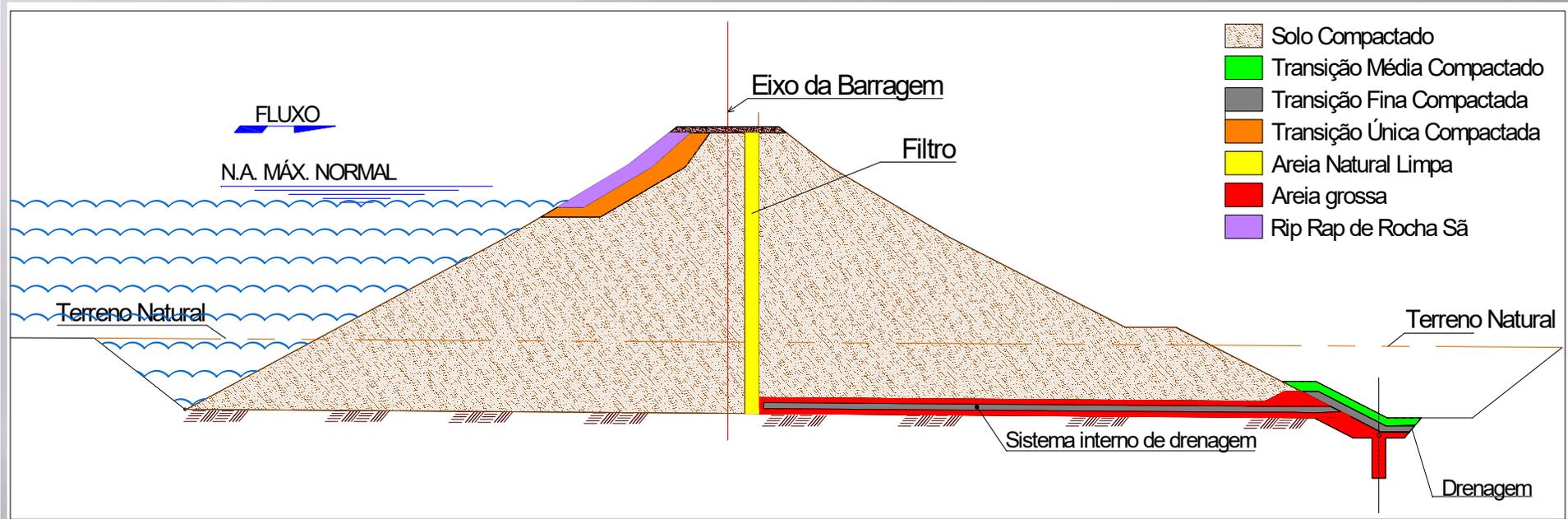


Fonte: Livro Barragens de Rejeitos no Brasil
Edição CBDB Comitê Brasileiro de Barragens
Pimenta de Avila Consultoria Ltda.

➤ SEÇÃO TÍPICA DA BARRAGEM VI



SEÇÃO TÍPICA DE BARRAGEM DE TERRA DE USINA HIDRELÉTRICA



RUPUTRA DA BARRAGEM MINA CÓRREGO DO FEIJÃO – BRUMADINHO (MG)

- **A BARRAGEM I ROMPEU POR NÃO CONSEGUIR UMA DRENAGEM ADEQUADA DO REJEITO CONTIDO.**

- **A BARRAGEM VI NÃO ROMPEU. ELA FOI CONSTRUÍDA DE ACORDO COM CRITÉRIOS ROTINEIRAMENTE UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS DE HIDRELÉTRICAS PARA CONTENÇÃO DE ÁGUA, POSSUINDO:**
 - **UM SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA**
 - **FILTRO VERTICAL**
 - **TAPETE DRENANTE HORIZONTAL**

BARRAGEM DE MINA DO FEIJÃO BRUMADINHO – ANTES E DEPOIS



R7

VEJA O RASTRO DA LAMA QUE DEIXOU MORTOS E DESAPARECIDOS EM BRUMADINHO



MINAS GERAIS



Barragem 1 da mina
Córrego do Feijão que se rompeu



Centro administrativo da Vale



Bairro Parque da Cachoeira



Pousada Nova Estância

RIO PAREOAPEBA



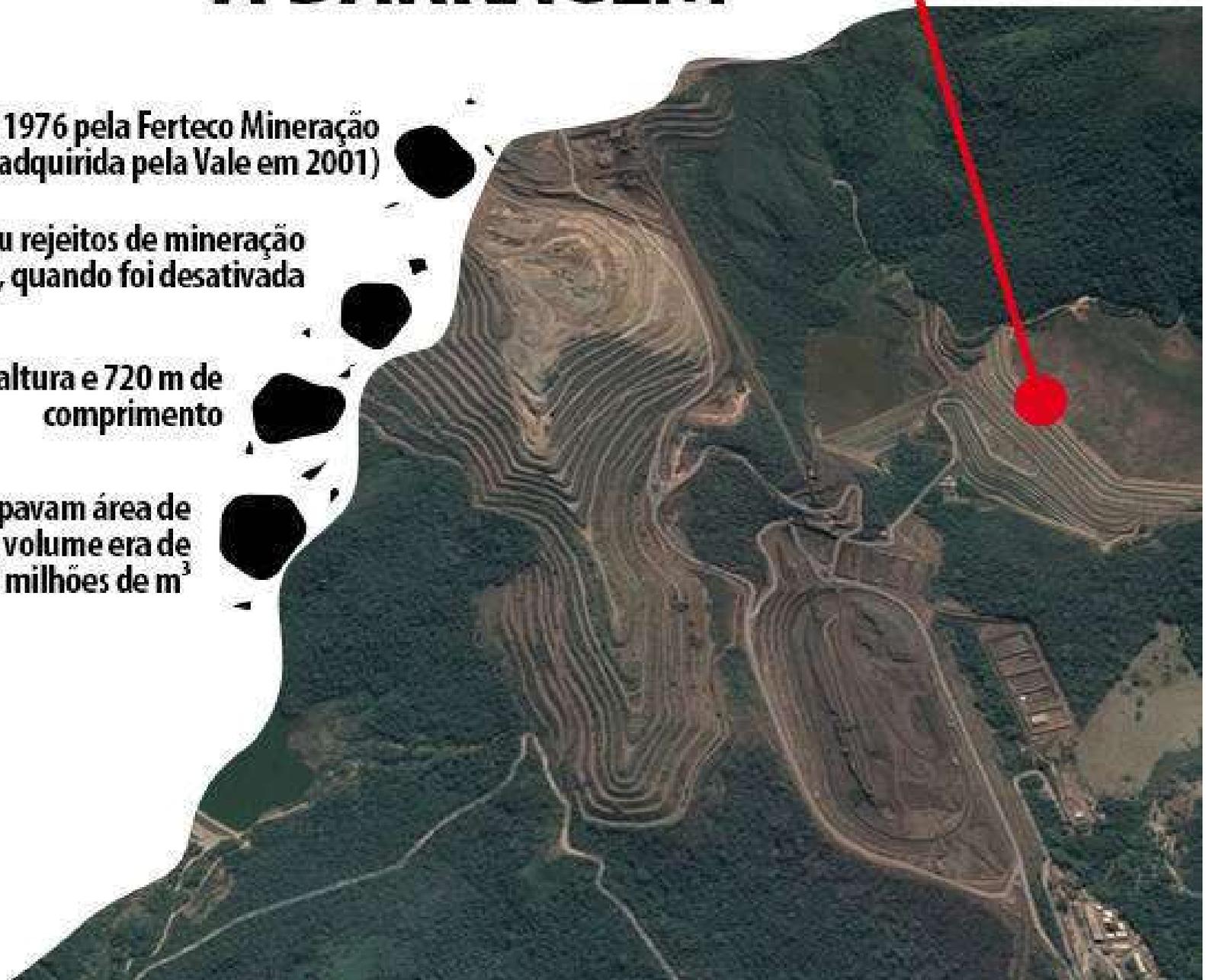
A BARRAGEM

Construída em 1976 pela Ferteco Mineração
(adquirida pela Vale em 2001)

Armazenou rejeitos de mineração
até 2015, quando foi desativada

86 m de altura e 720 m de
comprimento

Rejeitos ocupavam área de
249,5 mil m² e o volume era de
11,7 milhões de m³



25/01/2019 12







14º Curso de Fundações e Contenções Geofix-Mackenzie - 2024

EXISTE UMA GRANDE DIFERENÇA ENTRE CONHECER O CAMINHO E TRILHAR O CAMINHO.

O ENGENHEIRO PRECISA CONHECER E TRILHAR O CAMINHO.

NÃO SEJA UM REJEITO, SEJA UM MINÉRIO!

AGRADECIMENTOS AO ENG. ISSAMO KOMESU (IN MEMORIAM)