

ESCOLA SUPERIOR DE GESTÃO E  
CONTAS PÚBLICAS  
CONSELHEIRO EURIPEDES SALES

PALESTRA SOBRE  
SEGURANÇA DE BARRAGENS  
PAULO CRUZ E REGINA MORETTI  
21/02/2019

## Desde 2000, o Brasil tem um rompimento de barragem a cada dois anos. Veja lista



*Levantamento publicado em 2015 mostra que a destruição de represas é frequente e, na maioria dos casos, deixa mortos, além do impacto ambiental. (Foto: Léo Rodrigues/Repórter da Agência Brasil)*

Mais letal tragédia ambiental da história brasileira, Brumadinho é o décimo desastre com rompimento de barragens desde 2000 no País, uma lista que cresce à média de um a cada dois anos. No Congresso, parlamentares articulam propor a proibição de barragens no modelo de Mariana e Brumadinho.

Parece fazer sentido. Levantamento feito pelo pesquisador Henrique Rosmarinho Alves, publicado em 2015, mostra que a destruição de represas é frequente e, na maioria dos casos, deixa mortos, além do impacto ambiental.

Veja a lista de outras nove tragédias com barragens nas últimas duas décadas no País:

22 de junho de 2001 – Nova Lima (MG): A Barragem dos Macacos, de rejeito de minérios da mineradora Rio Verde, se rompeu, causando a morte de cinco pessoas no distrito de São Sebastião das Águas Claras.

29 de março de 2003 – Cataguases (MG): Uma barragem de rejeitos industriais se rompeu, contaminando o Rio Paraíba do Sul. Houve mortandade de animais e desabastecimento de energia para uma população de mais de 600 mil pessoas.

17 de junho de 2004 – Alagoa Nova (PB): O rompimento da Barragem de água Camará, no Rio Riachão, causou a morte de cinco pessoas e deixou cerca de 3 mil desabrigadas nas cidades de Alagoa Nova, Areia, Mulungu e Alagoa Grande.

10 de janeiro de 2007 – Mirai (MG):Diques da mineradora Rio Pomba/Cataguases cederam e despejaram rejeitos de minério nas águas no Rio Muriaé. Mais de 4 mil pessoas ficaram desalojadas ou desabrigadas.

9 de janeiro de 2008 – Vilhena-RO:A barragem de água da usina hidrelétrica de Apertadinho se rompeu, causando diversos danos ambientais.

27 de maio de 2009 – Buriti dos Lopes (PI): A Barragem de Algodões se rompeu, despejando 50 milhões de metros cúbicos de água e causando a morte de nove pessoas e deixando milhares desabrigadas no Piauí.

29 de março de 2014 – Laranjal do Jari (AP): Uma barragem da hidrelétrica de Santo Antônio cedeu, deixando quatro operários mortos.

10 de setembro de 2014 – Itabirito (MG): Outro caso numa barragem de minério, desta vez da mineradora Herculano. O rompimento da barragem matou três pessoas. Investigação da Polícia Civil apontou omissão na prevenção da tragédia.

5 de novembro de 2015 – Mariana (MG): A maior tragédia da história brasileira até a última sexta-feira (25). O rompimento da barragem da Samarco deixou 19 mortos, milhares de desabrigados e afetou todo o ecossistema da bacia do Rio Doce.

BARRAGENS SÃO BARREIRAS PARA CONTER  
ÁGUA, REJEITOS, PEDRAS, GENTE. EXEMPLOS:  
ITAIPU, TUCURUI, CASA DE PEDRA, CUBATÃO.

TIPOS: CONCRETO, ENROCAMENTOS, TERRA,  
CCR, FACE DE CONCRETO, NUCLEO DE  
ASFALTO, CORDAS, MUROS, PRISÕES.

O PROBLEMA PRINCIPAL, OU A ARTE DE PROJETAR E CONSTRUIR ESTAS BARRAGENS É O CONTROLE DA ÁGUA, QUE VAE PASSAR PELA BARRAGEM E PELAS SUAS FUNDAÇÕES E INTERFACES.

É O QUE SE CHAMA O SISTEMA DE DRENAGEM COMPOSTO POR PAREDES DE AREIA, BRITAS, ENROCAMENTOS, TUBOS, BURACOS, SAÍDAS CONTROLADAS DA ÁGUA.

QUANDO O CONTROLE DA ÁGUA NÃO É ADEQUADO, SUFICIENTE, INEXISTENTE.

A ÁGUA ENCONTRA OS SEUS CAMINHOS PRÓPRIOS E PODE CAUSAR A RUPTURA DA BARRAGEM, RESULTANDO NUMA INUNDAÇÃO A JUSANTE.

PARA SE EVITAR QUE A INUNDAÇÃO CAUSE VÍTIMAS É PRECISO DELIMITAR A ÁREA DA INUNDAÇÃO,.

NOS CASOS EM QUE HAJA DÚVIDAS SOBRE A SEGURANÇA DA BARRAGEM, A ÁREA DE INUNDAÇÃO DEVE SER DESAPROPRIADA.

COMO SE PODE AVALIAR O NÍVEL DE  
SEGURANÇA DE UMA BARRAGEM EXISTENTE,  
JÁ PROJETADA OU JÁ CONSTRUIDA?

- 1 – ANALISAR OS MATERIAS DE CONSTRUÇÃO E DAS FUNDAÇÕES PARA CALCULAR A ESTABILIDADE AO ESCORREGAMENTO.
- 2 – AVALIAR O SISTEMA DE DRENAGEM, OU SEJA, O SISTEMA DE CONTROLE DA PASSAGEM E DA SAÍDA DA ÁGUA.
- 3 – INSTRUMENTAR A BARRAGEM PARA CONTROLAR OS DESLOCAMENTOS, A PIEZOMETRIA E AS VAZÕES, E COMPARAR AS LEITURAS COM AS PREVISÕES DE SEGURANÇA.

COMO TRATAR DE TODOS ESTES ITENS EM 40 MINUTOS PARA UMA PLATÉIA MULTIDISCIPLINAR QUE TAMBÉM TEM ALGUNS ENGENHEIROS PRESENTES, MAS EM MINORIA.

**IMPOSSÍVEL**

POSSO ME LIMITAR A CONTAR ALGUNS CAUSOS QUE EU PRESENCIEI OU QUE ME FORAM CONTADOS. VAMOS A ISSO.

# ACIDENTES







Visita a Barragem Jaburu I - 2003. Erosão no canal de restituição do vertedouro.



Visita a Barragem Jaburu I - 2003. Erosão no canal de restituição do vertedouro.

## BARRAGEM 12 - VERTEDOURO



# VERTEDOIRO EM OPERAÇÃO E INÍCIO DA RUPTURA



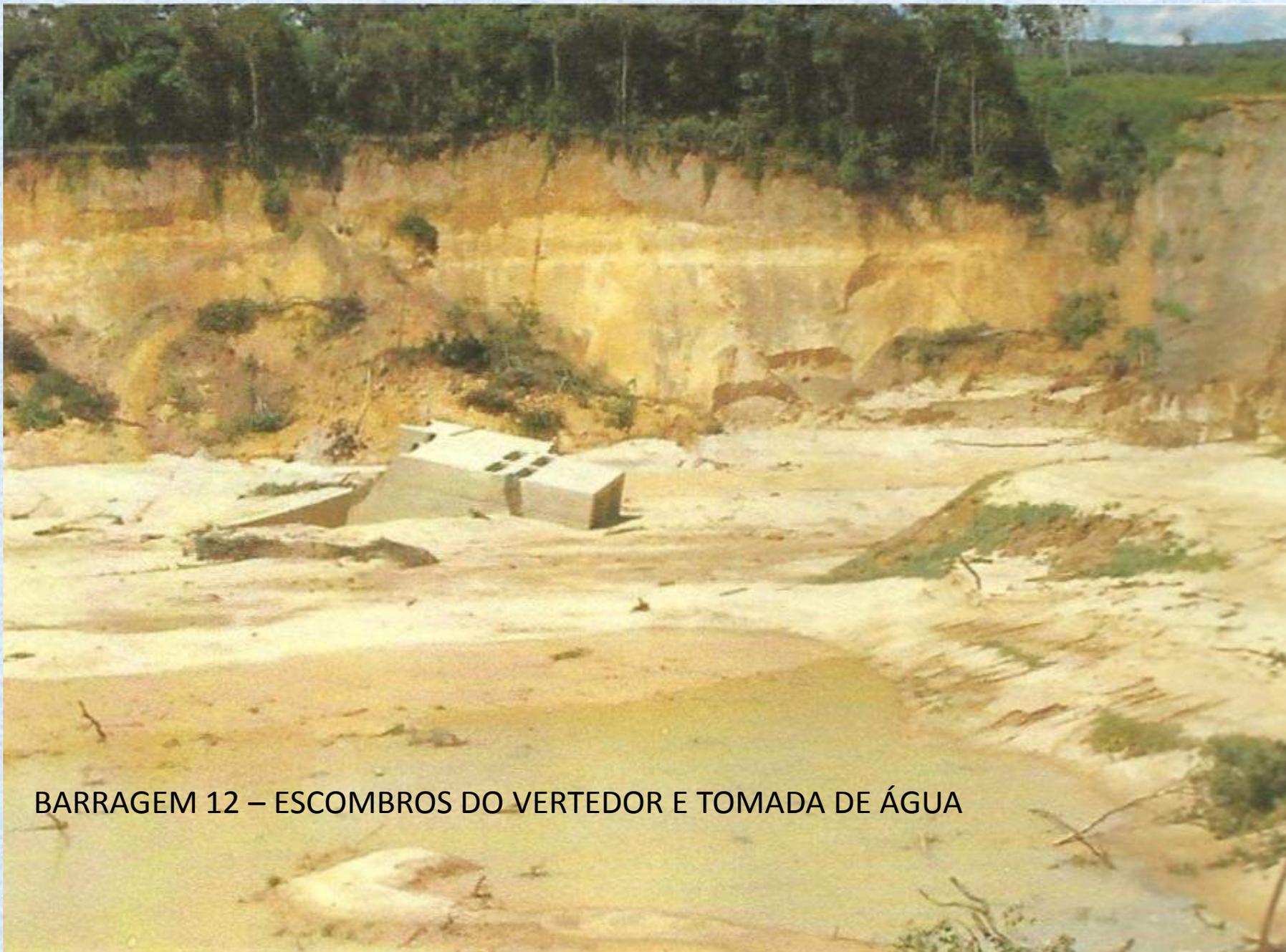
05/01/2008 – VT em operação com problemas de surgência de água do lado esquerdo hidráulico já detectados.



05/01/2008 – Vazamento de água com finos junto ao muro no local onde o gabião foi removido.

## BARRAGEM 12 – LIQUEFAÇÃO FUNDAÇÃO -FORMAÇÃO DA BRECHA





BARRAGEM 12 – ESCOMBROS DO VERTEDOR E TOMADA DE ÁGUA

# PIPING

26 15:58

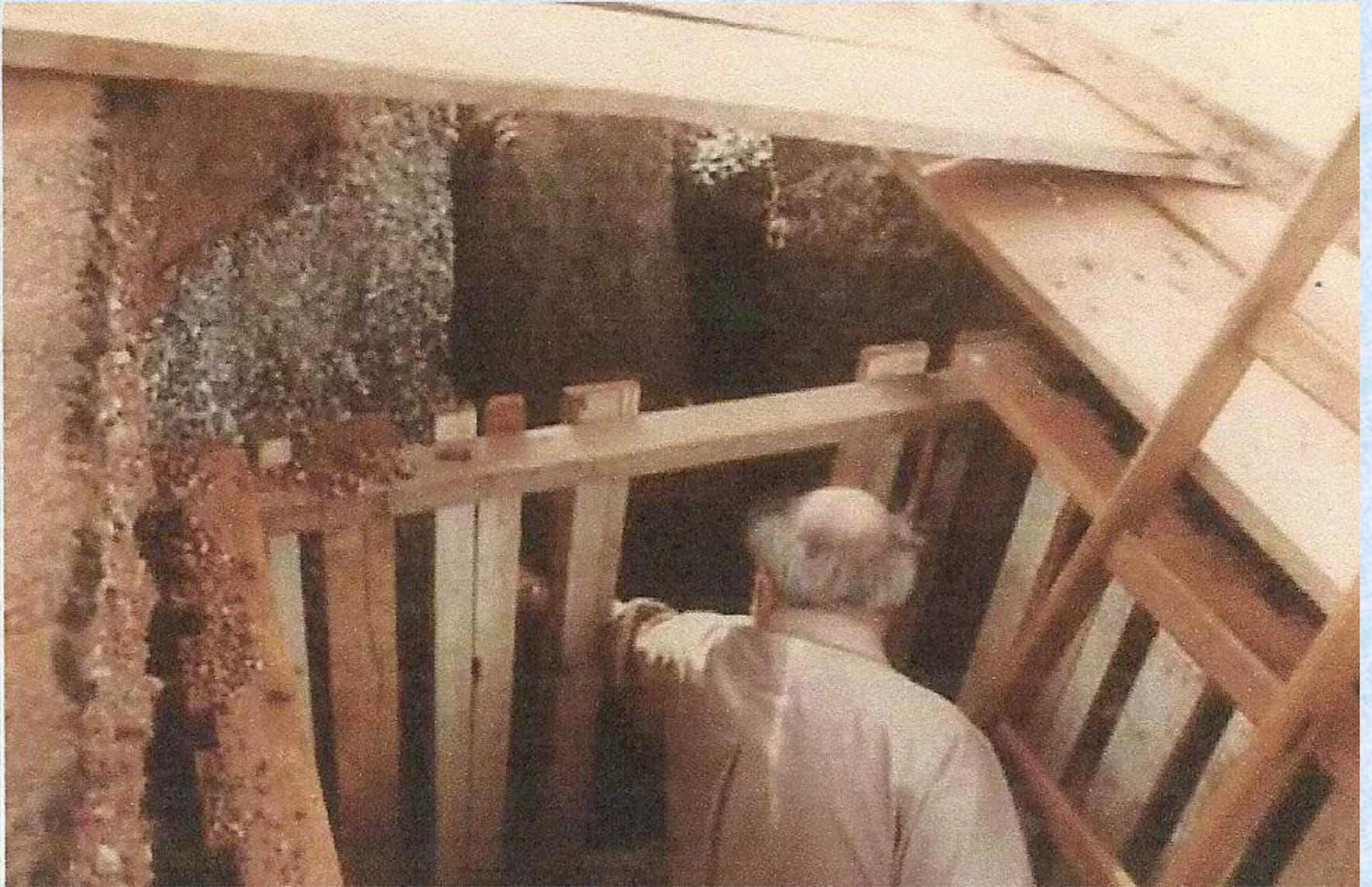
Barragem 10







**TRINCAS**



Upstream crack seem inside a pit open at the top of the Dam- April 1982.

BARRAGEM 15

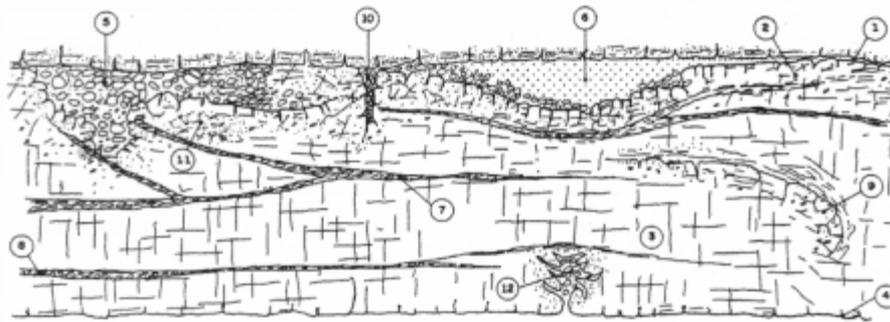
FISSURA ABERTA POR RUPTURA HIDRÁULICA





## Feições típicas Em maciços Basálticos.

## Que podem ser Consideradas Interfaces rochosas Com permeabilidade preferencial



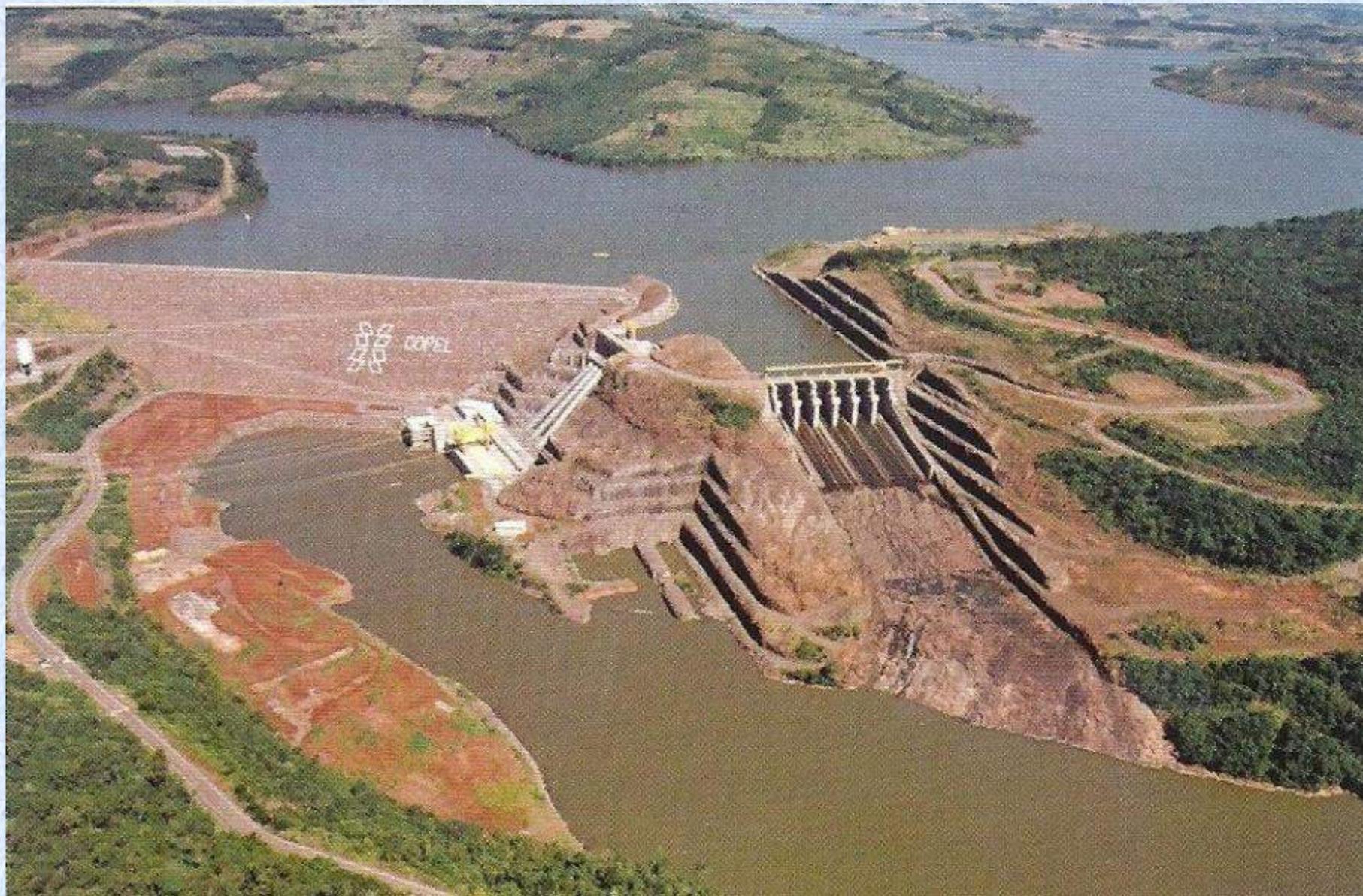
1. **CONTATO ENTRE DERRAMES** - Fenda de abertura centimétrica de grande extensão lateral. Pode conter ou não material de preenchimento (em geral argila). Nível principal de percolação d'água. Ocorre em todos os locais.
2. **ZONA DE BASALTO VESICULAR** - Zona característica do topo do derrame. Fraturamento irregular. Zona com elevada porosidade vacuolar (fechada). Porosidade efetiva baixa. Ocorre em todos os locais.
3. **ZONA DE BASALTO COMPACTO** - Zona que constitui o núcleo do derrame, ocupando em média 2/3 partes de sua espessura. Quando o derrame é delgado (até 8 ou 12 m), o fraturamento é via de regra irregular. Quando tem mais espessura (mais de 12 ou 15 m), o fraturamento, ou melhor, o diaclasamento, apresenta um padrão definido pela conjugação de uma família horizontal com duas ou mais verticais que leva à formação do colunamento típico. Estas diaclases se apresentam geralmente fechadas ou soldadas por materiais rígidos, como a calcita. A zona de basalto compacto se comporta como praticamente "impermeável" em relação às estruturas que nela podem ocorrer (juntas-falhas, faixas fraturadas, etc.). Ocorre em todos os locais.
4. **ZONA DA BASE DO DERRAME** - Pode ser vesicular ou não. Pode apresentar fraturamento acentuado, paralelamente ao contato, podendo adquirir aspecto de verdadeira laminação. Fraturas em geral soldadas por calcita. Ocorre em todos os locais.
5. **ZONAS DE BRECHA OU DE LAVA AGLOMERÁTICA** - Ocorrem com maior freqüência na zona do topo, mas também podem ocorrer no núcleo do derrame. Têm a forma de bolsões ou lentes. São constituídas por fragmentos de basalto, vesiculares ou compactos, envoltos por matriz de natureza variável que qualifica a brecha: argilosa, calcária, sílica. A matriz da lava aglomerática é outro basalto que se diferencia dos blocos pela cor, textura ou intensidade de vesículas. Quando alteradas (brecha argilosa) ou lixiviadas apresentam caminhos preferenciais de percolação em canaliculos que se distribuem e se anastomosam irregularmente na zona. Ocorrem em Ilha Solteira, Água Vermelha e Jupia, por exemplo.
6. **SEDIMENTO INTERTRAPEANO** - Ocorre entre um e outro derrame, na forma de lentes ou bolsões, com granulação de argila e areia, sendo o silte o mais freqüente. Graus de compactidade ou cimentação (silicificação, em geral) variáveis induzem porosidades também variáveis. Ocorre em vários locais.
7. **FAIXAS FRATURADAS (OU "JUNTAS-FALHAS")** - Ocorrem com grande extensão lateral (dezenas e centenas de metros), com atitude sub-horizontal. O fraturamento no interior das faixas destaca blocos de forma tabular muitas vezes terminando em cunha, e imbricados. Em geral, estes blocos apresentam faces alteradas ou oxidadas e películas argilosas. Podem se associar a/ou constituir verdadeiras juntas-falhas. Representam, no corpo do derrame, zonas de percolação preferencial. Ocorrem em vários locais.
8. **JUNTA-FALHA ("TIPO IBITINGA")** - Estrutura tão importante ou mais que os contatos no quadro geral de descontinuidade dos derrames, ocorre como uma verdadeira falha de andamento sub-horizontal. A caixa de falha com espessura decimétrica é constituída por fragmentos angulosos de basalto. A matriz pode ser argilosa ou calcária. Constitui, em geral, horizonte de franca percolação d'água. Local: Ibitinga.
9. **DERRAMES SECUNDÁRIOS OU SUBDERRAMES** - Estruturas de desagregação interna no derrame com reabsorções parciais. Associadas a falsos contatos. Diferenciam-se dos derrames principais pela pequena extensão lateral e por estarem praticamente englobados nestes. Podem se constituir em horizontes importantes de percolação. Locais: Ilha Solteira, São Simão.
10. **TRINCAS, CUNHAS** - Estruturas típicas do topo de derrame, podendo atingir alguns metros de profundidade e dezenas de metros de extensão. Encontram-se preenchidas por material típico de brecha. Comportam-se como zonas de brechas. Locais: Volta Grande, Jupia.
11. **TÚNEL-TUBO** - Ocorrem na forma de cavidades lineares com dezenas de metros de extensão e diâmetro variável de centimétrico (tubo) e alguns metros (túnel). Locais: Cachoeira Dourada, São Simão.
12. **ESPIRÁCULO** - Intrusões irregulares de material clástico. Local: São Paulo.

**Figura 10.37** - Derrame hipotético apresentando suas principais feições litológicas e estruturas (modificado de Oliveira *et al.*, 1976)

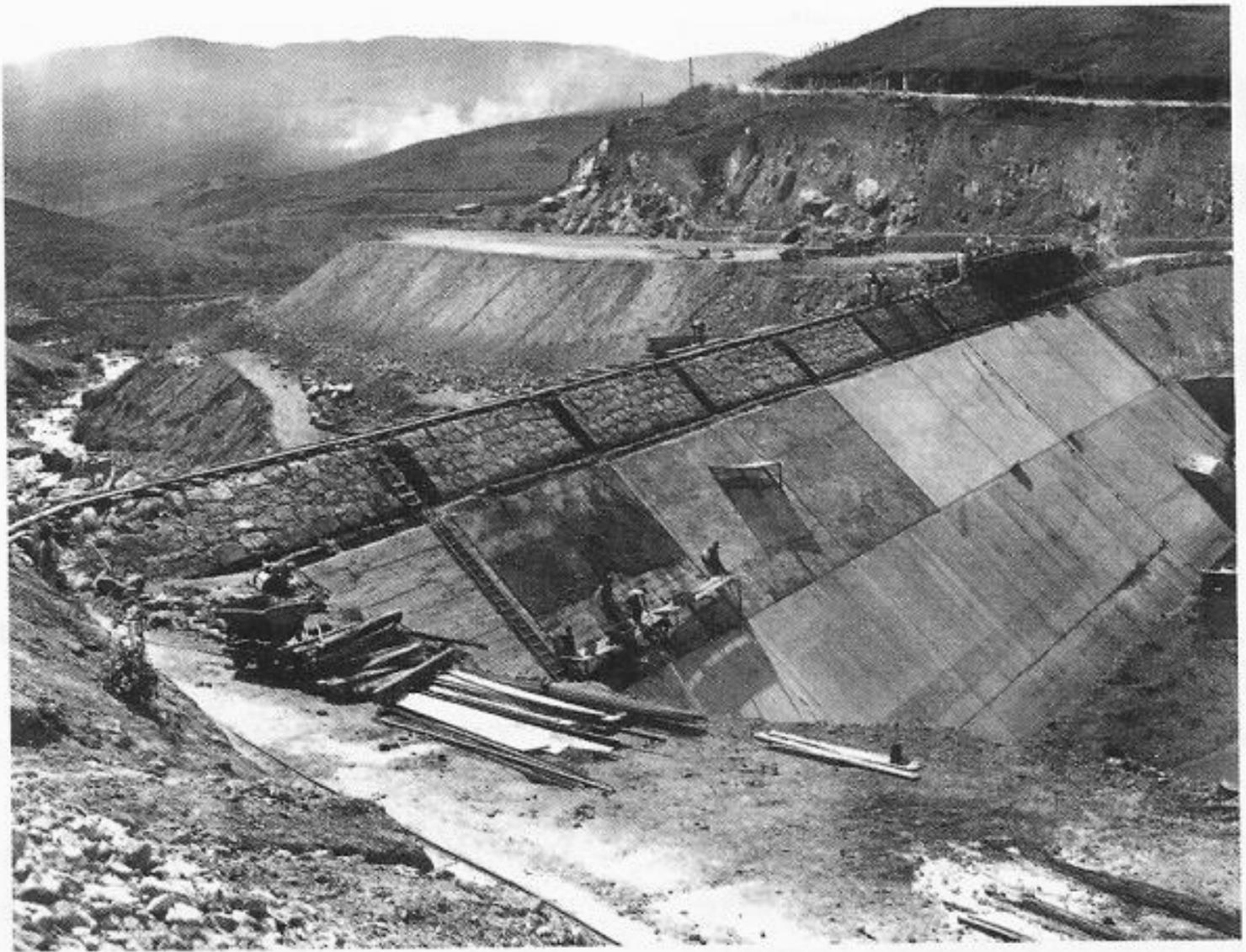








Vista da UHE de Segredo



**FIG. 1.1** *Barragem Saturnino de Brito, 1933*  
*Saturnino de Brito Dam, 1933 (Brazil). Courtesy of Eng. Cícero M. Moraes*



Vista aérea da UHE Campos Novos



# Ruptura da Laje da Barragem Campos Novos



27 6 2006

# FLUXOS EM MEIOS CONTÍNUOS E DESCONTÍNUOS





**FIG. 6.16** *Barragem Tokwe Mukorki – Fase inicial do rompimento do talude*



**FIG. 6.17** *Barragem Tokwe Mukorki – Avanço do rompimento do talude de jusante, mas também a redução da vazão*





# BARRAGENS DE REJEITOS



Reservatório

Crista da barragem

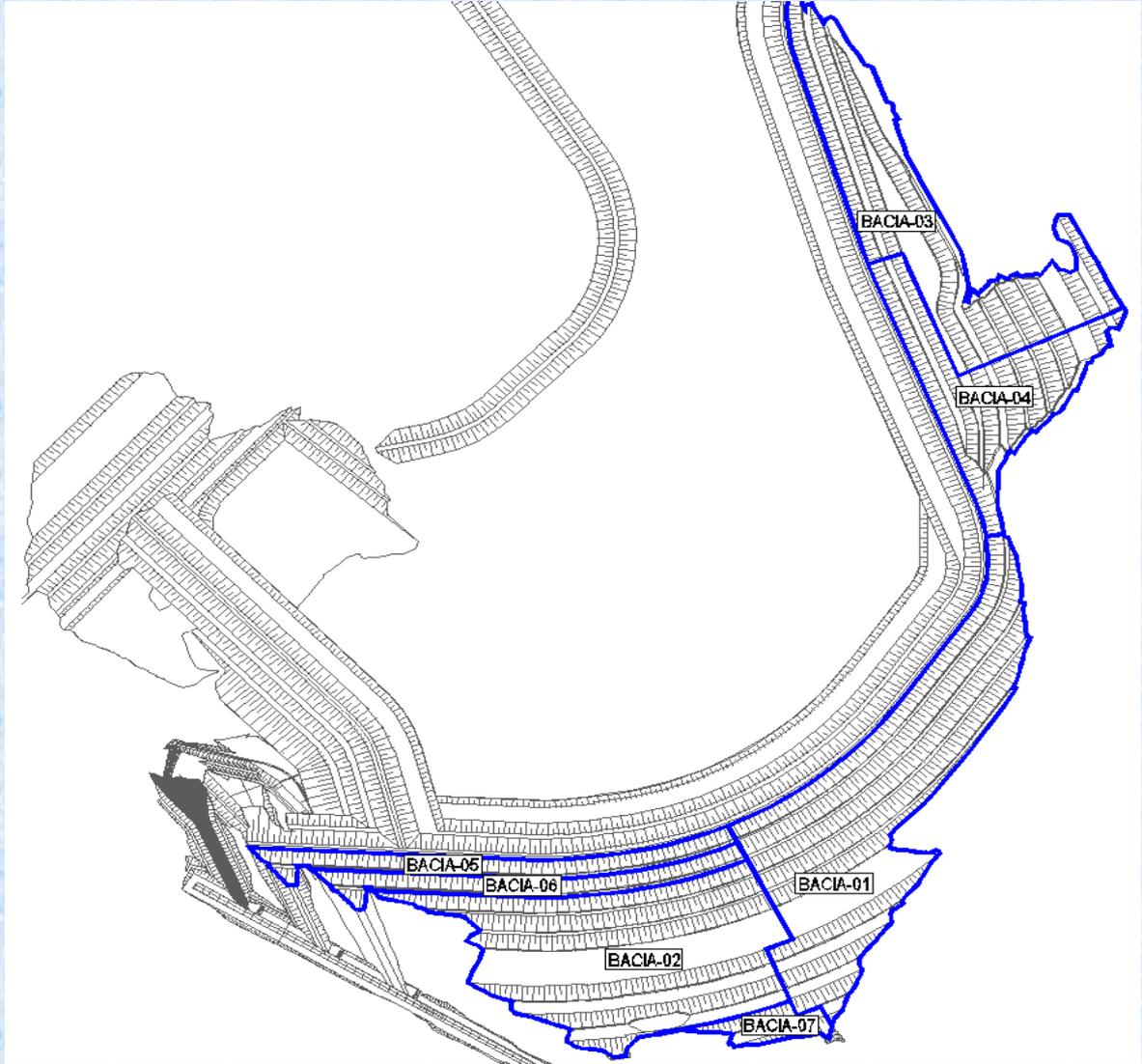
© 2013 Google  
Image © 2014 DigitalGlobe  
Image Landsat

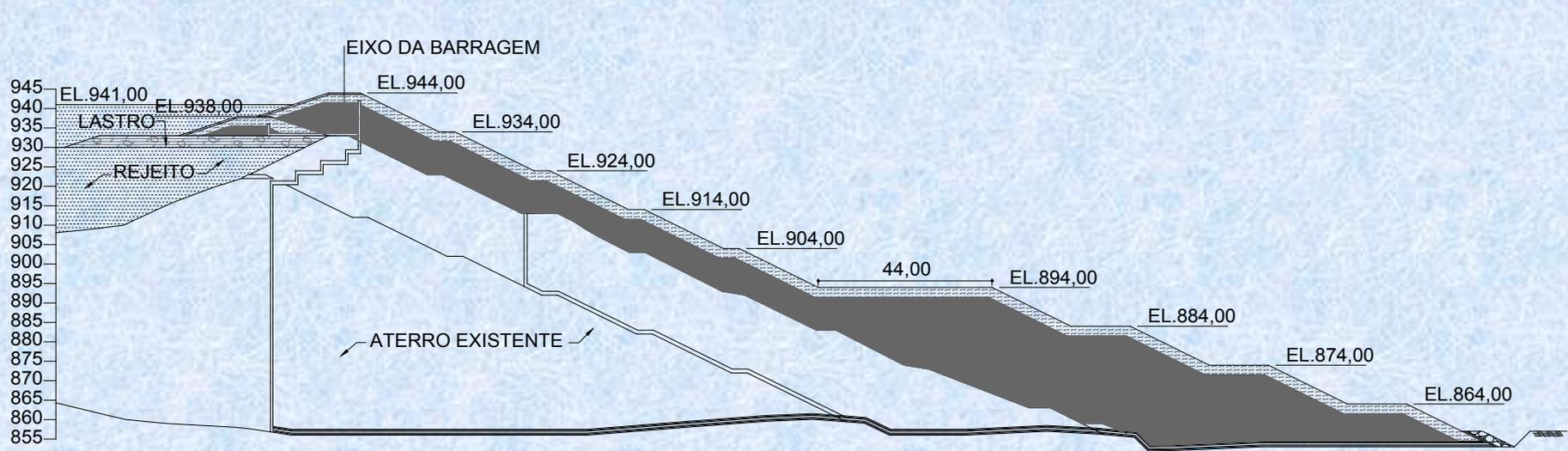
Google earth

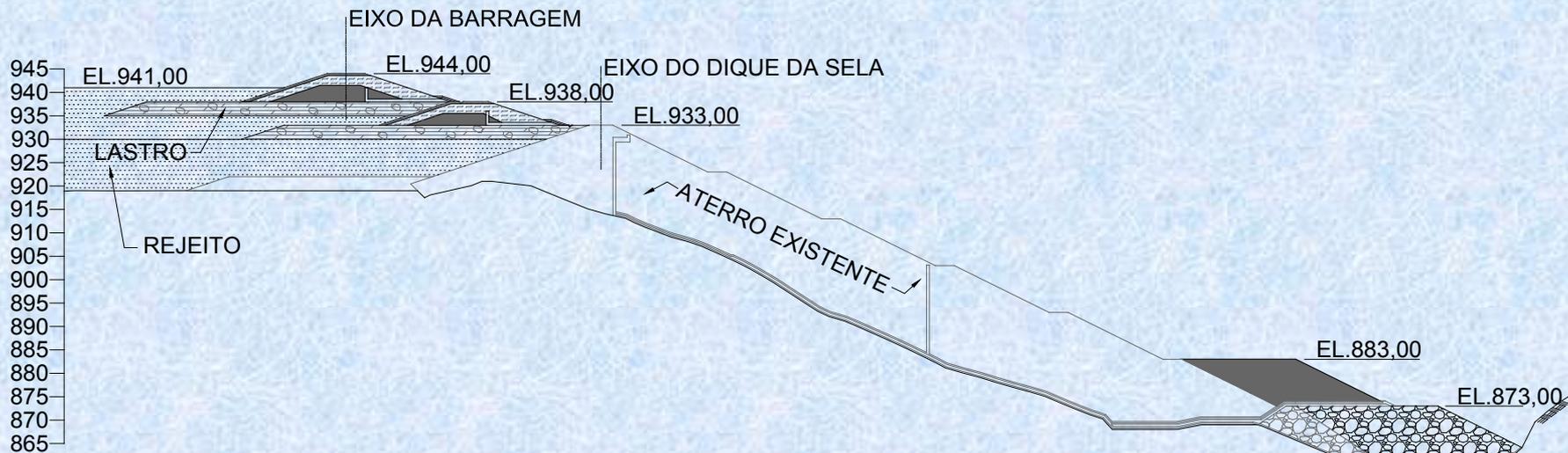
Data das imagens: 9/14/2013 23 K 616152.64 m E 7732468.91 m S elev 943 m altitude do ponto de visão 1.36 km

2007

209 m



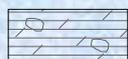




LEGENDA:



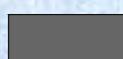
MATERIAL TERROSO ARGILOSO



MATERIAL TERROSO LATERÍTICO  
COM BLOCOS DE CANGA



MATERIAL TERROSO LATERÍTICO



MATERIAL TERROSO SAPROLÍTICO



ENROCAMENTO DE PEDRA DE MÃO

**ALTEAMENTOS**

REBATO



REBATO



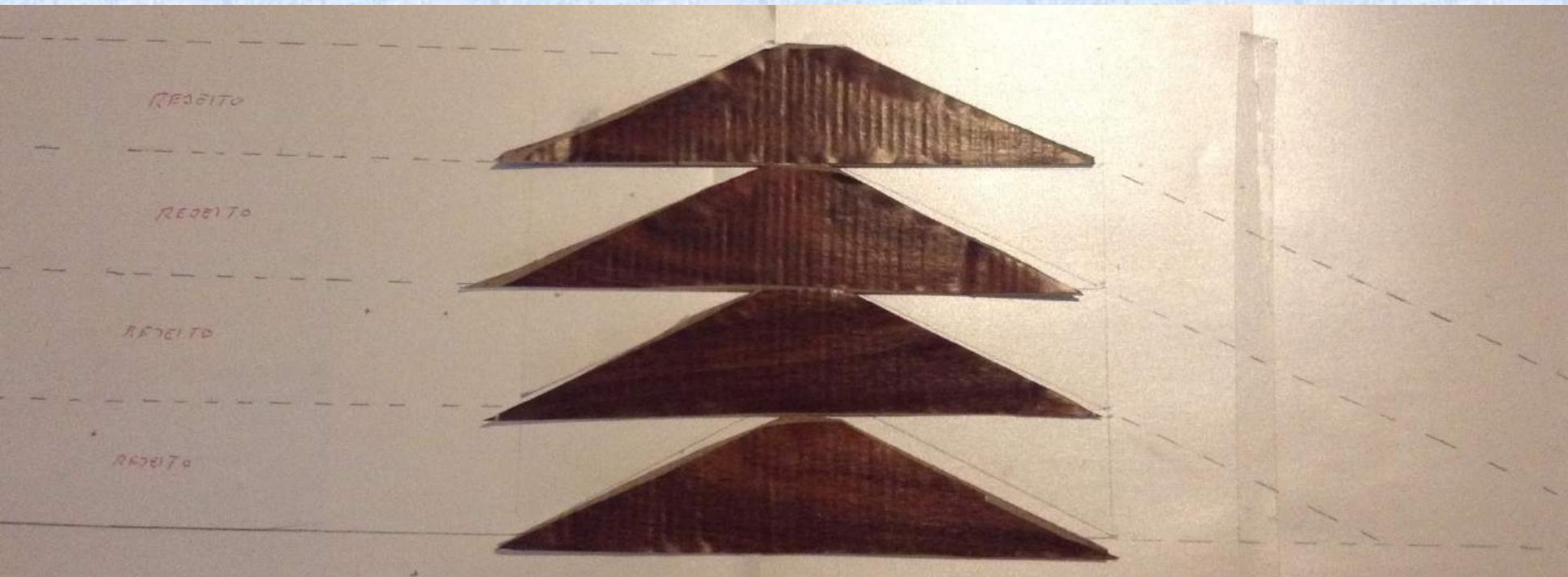
REBATO

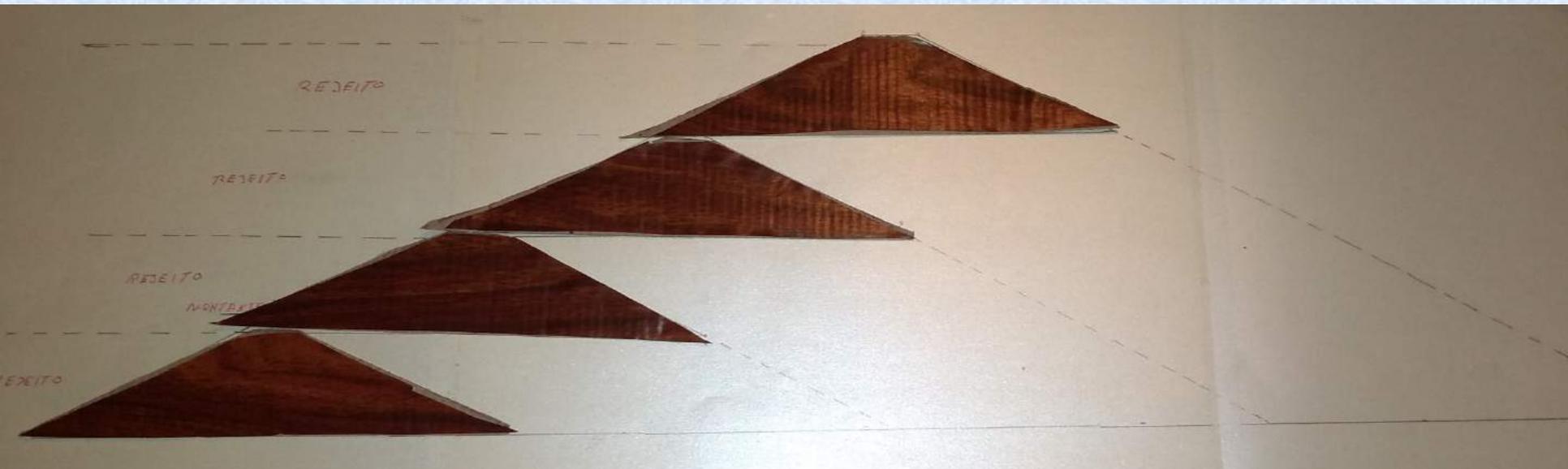


REBATO

REBATO







REJEITO

REJEITO

REJEITO

REJEITO

REJEITO



**SEM CONFIRMAÇÃO DE VÍTIMAS**

**BARRAGEM SE ROMPE E LAMA DE REJEITOS INVADE  
PARTE DA CIDADE DE BRUMADINHO, EM MINAS GERAIS**





#FalaBrasil









