



CENÁRIOS DE FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DE RUPTURAS EM BARRAGENS DE REJEITOS (DAM BREAK)

Felipe Figueiredo Rocha

(17/10/2016)



SEA – SEMINÁRIO DE EMERGÊNCIA AMBIENTAL

1. INTRODUÇÃO
2. ANÁLISE DE CASOS HISTÓRICOS
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS
4. FORMAÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA
5. PROPAGAÇÃO HIDRÁULICA
6. MAPEAMENTO
7. BARRAGEM DE CONTENÇÃO DE REJEITOS
SÃO FRANCISCO
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agenda

INTRODUÇÃO

Contextualização

PILARES DO SISTEMA DE INTEGRADO DE GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS



POR QUE REALIZAR ESTUDOS DE RUPTURA DE BARRAGENS DE REJEITOS?

**ESTUDO DE
RUPTURA DE
BARRAGEM**

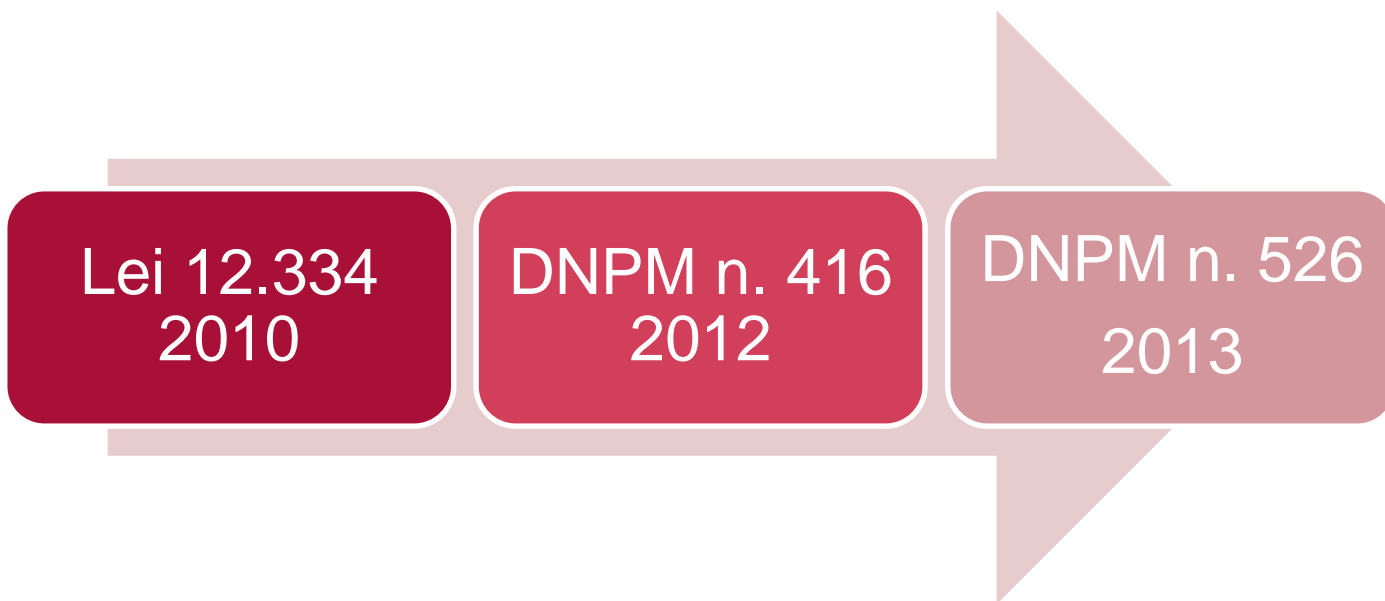


**MAPEAMENTO
DA INUNDAÇÃO**



**PLANO DE AÇÕES
EMERGENCIAIS
QUANTIFICAÇÃO DE
DANOS E RISCOS
CLASSIFICAÇÃO DO
DANO POTENCIAL
ASSOCIADO
REQUISITO LEGAL
RESPONSABILIDADE
SOCIAL**

LEGISLAÇÃO



“Seção 1 – Art 20. XII – estudo de cenários: estudo realizado capaz de caracterizar adequadamente os possíveis cenários que ocorrerão em virtude de uma eventual ruptura da Barragem onde os métodos para tal estudo devem ser explicitados no PAEBM, sendo de responsabilidade do empreendedor”

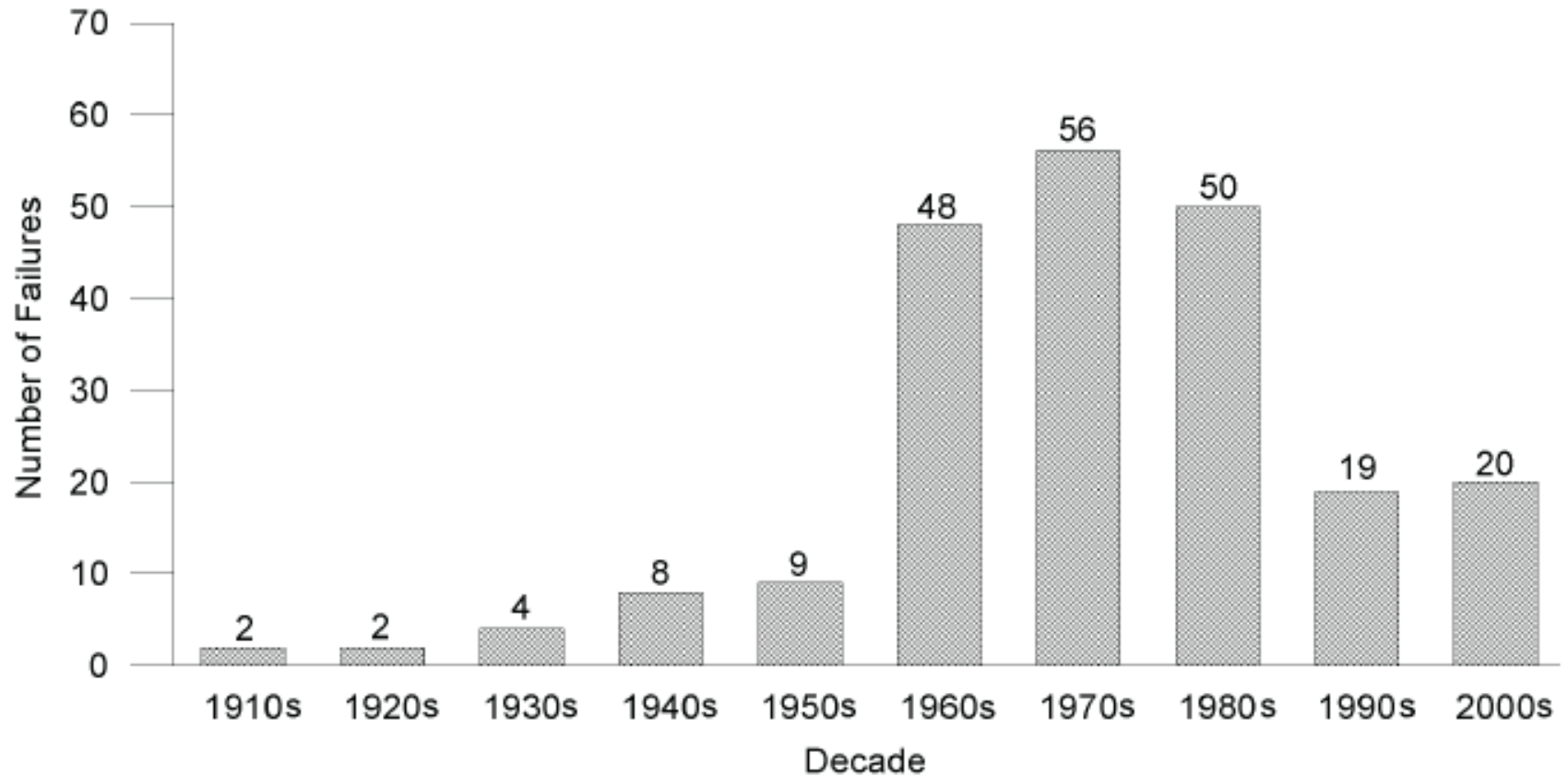
A large, stylized white number '2' is positioned on the left side of the image, set against a solid teal background. The number is thick and has a clean, modern font style.

ANÁLISE DE CASOS HISTÓRICOS

ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS

- Taxa de 2 a 5 acidentes de grande porte por ano durante o período de 1970-2000 (AZAM & LI, 2010)
- **Brasil:** Barragem Fernandinho, em 1986 (7 mortes); Barragem Rio Verde, em 2001, (5 mortes), Barragem da Indústria Cataguases de Papel, em 2003, (0 mortes), Barragem São Francisco, em 2007, (0 mortes), Barragem Mineração Hercurlano, em 2014, (3 mortes), Barragem do Fundão, em 2015, (19 mortes)

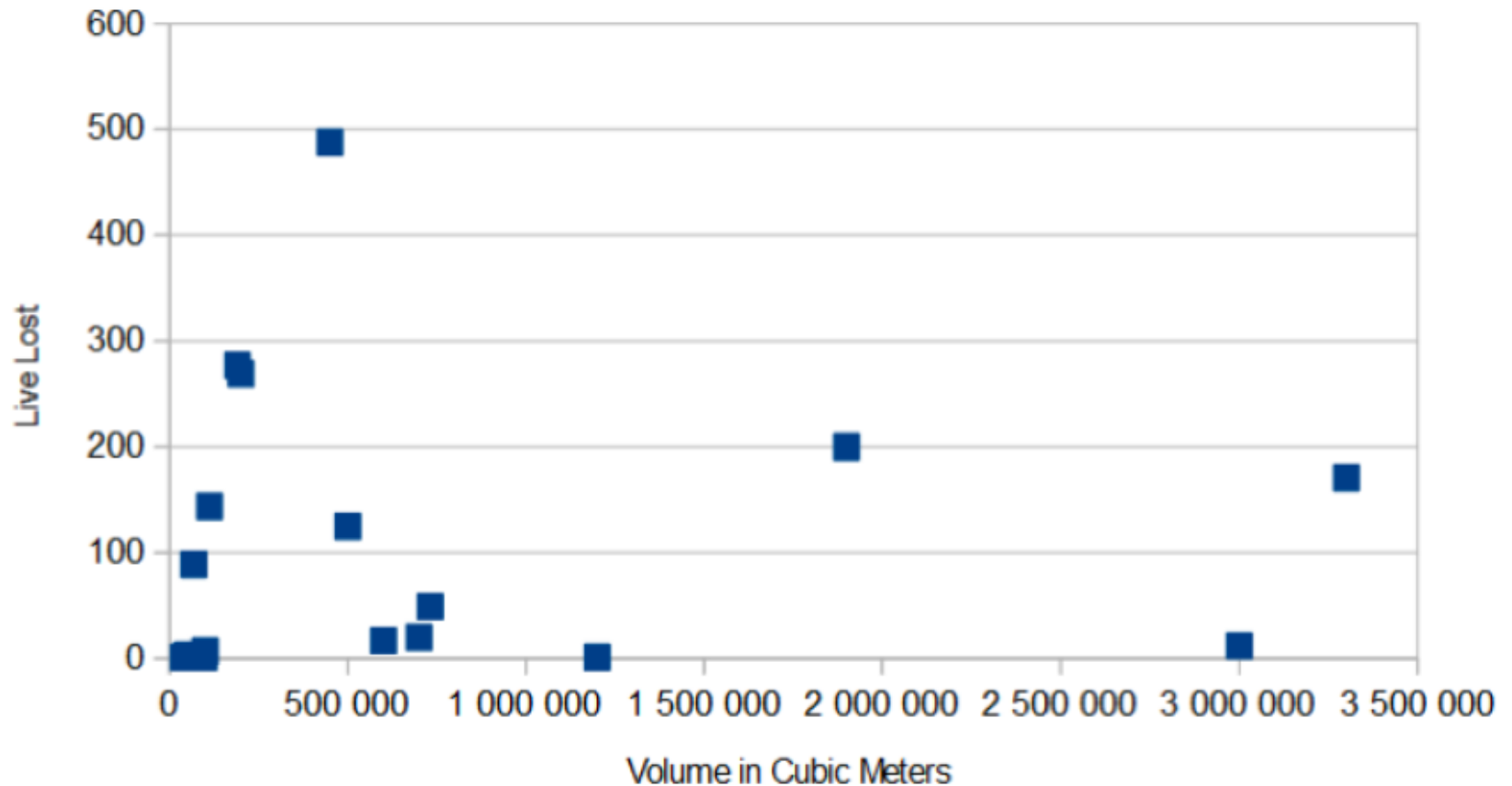
ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS



ALGUNS ACIDENTES SIGNIFICATIVOS

ANO	BARRAGEM / PAÍS	Nº. DE MORTES
2015	Fundão / Brasil	19
2014	Herculano / Brasil	3
2010	Kolontár/Hungria	10
2008	Taoshi/China	254
1985	Stava/Italia	269
1972	Buffalo Creek/EUA	125
1970	Mulfilira/Zambia	89
1966	Aberfan, Reino Unido	144
1966	Mir. Mine/ Bulgária	488
1965	El Cobre Dam / Chile	Mais de 200

VOLUME X PERDAS DE VIDA



MERRIESPRUIT (1994)



Volume total: 7 Mm³
Volume propagado: 0,6 Mm³
Rourke & Luppnow (2015)

MERRIESPRUIT (1994)



80 casas destruídas, 17 mortes e danos ambientais.
Percurso: 3 km



BARRAGEM SÃO FRANCISCO – MIRAÍ (2007)



Volume total: 3,7 Mm³

Volume liberado: 3,0 Mm³

Rocha (2015)

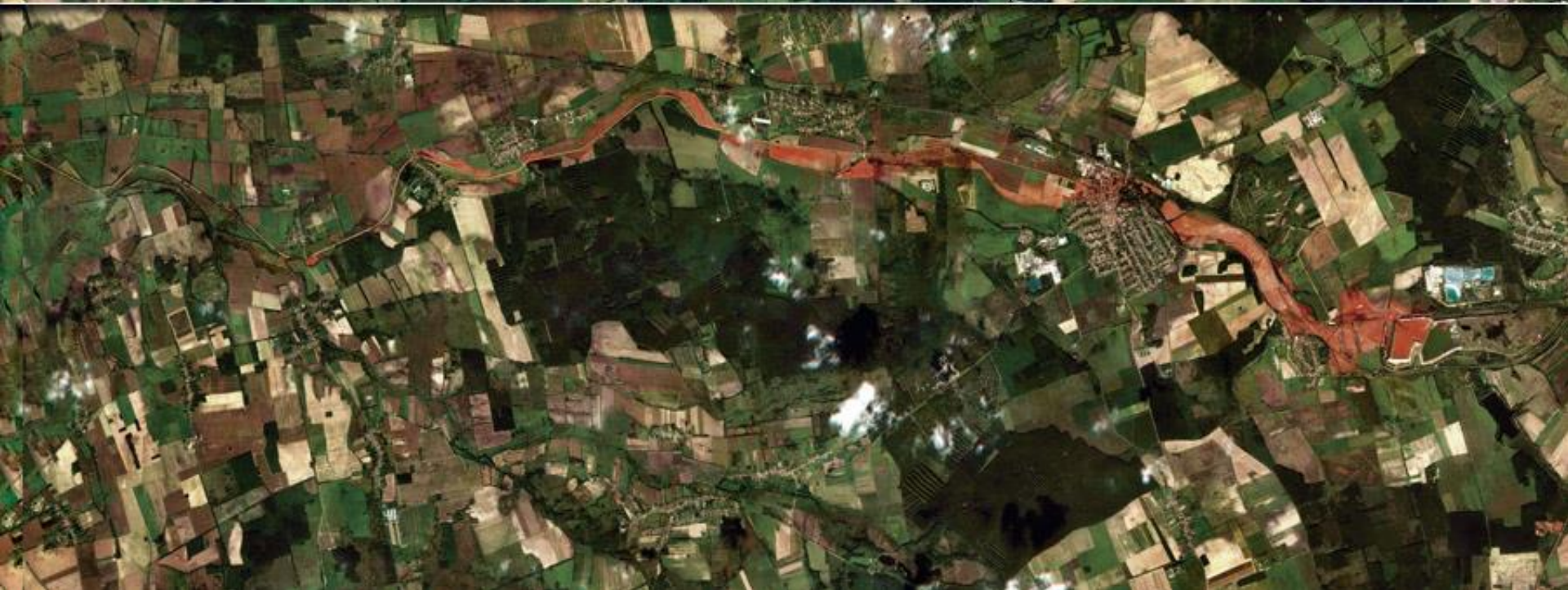
BARRAGEM SÃO FRANCISCO (2007)



KOLONTÁR - AJKA (OUTUBRO/2010)



KOLONTÁR - AJKA (OUTUBRO/2010)



KOLONTÁR - AJKA (OUTUBRO/2010)



10 perdas de vida, 123 feridos, 260 casas impactadas e danos ambientais

MOUNT POLLEY (AGOSTO/2014)

Vol. total: 50 milhões de m³ (Rourke & Luppnow, 2015)

Vol. liberado: 17 Mm³ de água (incluindo água intersticial) e 8 Mm³ de sólidos (KLOHN CRIPPEN BERGER, 2015) - *Assesment of Failure Mechanism*



MOUNT POLLEY (AGOSTO/2014)



Julho / 2014



Agosto / 2014

MOUNT POLLEY (AGOSTO/2014)



BARRAGEM DO FUNDÃO (NOV/2015)



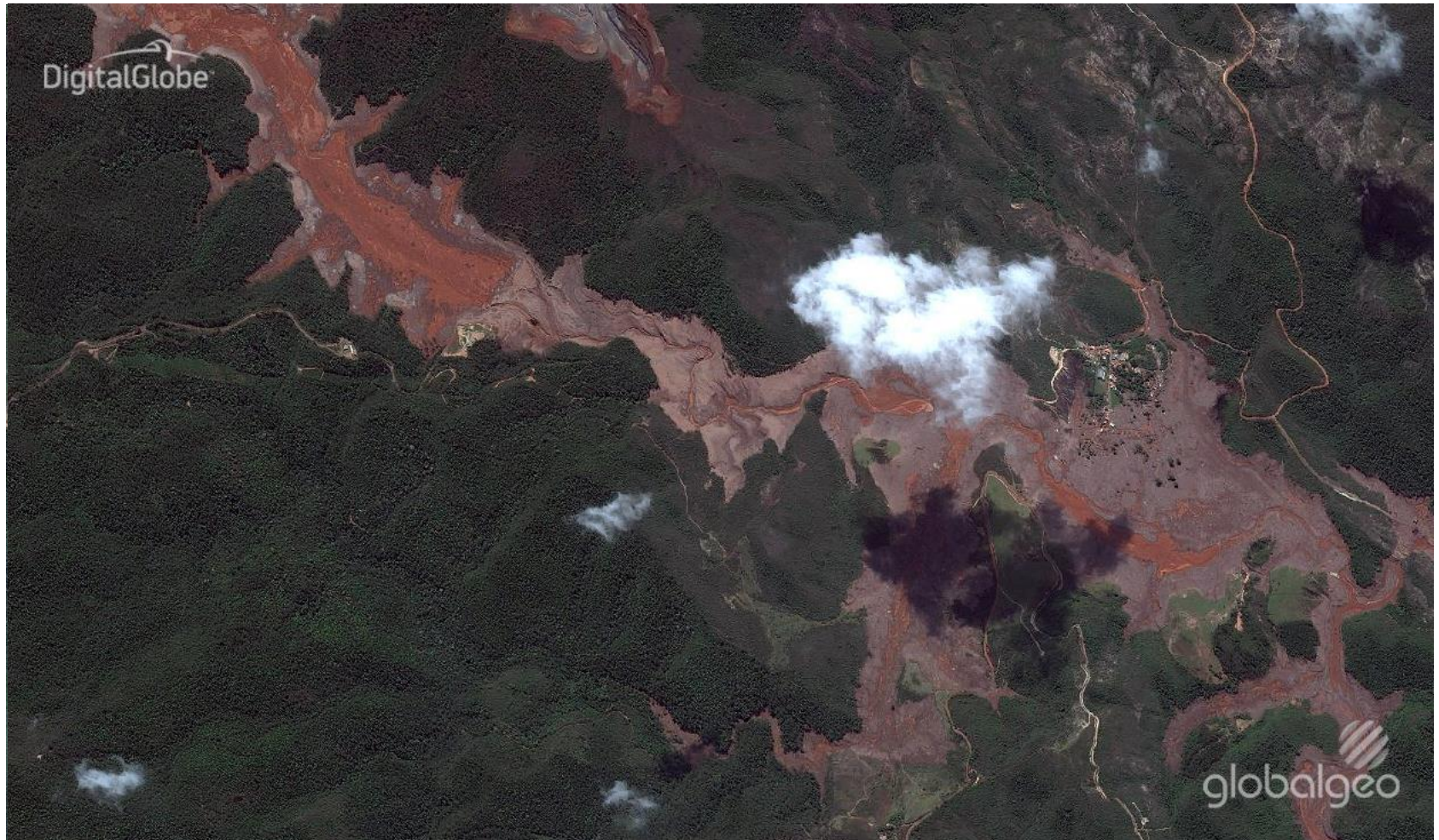
Volume total: 62 Mm³

Volume liberado: 31 Mm³ Fonte: Wise Uranium (<http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>)



BARRAGEM DO FUNDÃO (NOV/2015)

antes x depois



BARRAGEM DO FUNDÃO (NOV/2015)



BARRAGEM DO FUNDÃO (NOV/2015)



BARRAGEM DO FUNDÃO (NOV/2015)

ALCANCE???

INUNDAÇÃO OU PLUMA DE TURBIDEZ???

PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL???

PLANO DE GESTÃO DE CRISES???



BARRAGEM DO FUNDÃO (NOV/2015)

<http://geowebapp.cprm.gov.br/cheias/index-gvaladares.html>

08/11/15 – 585m³/s.

Alerta: 1654 m³/s

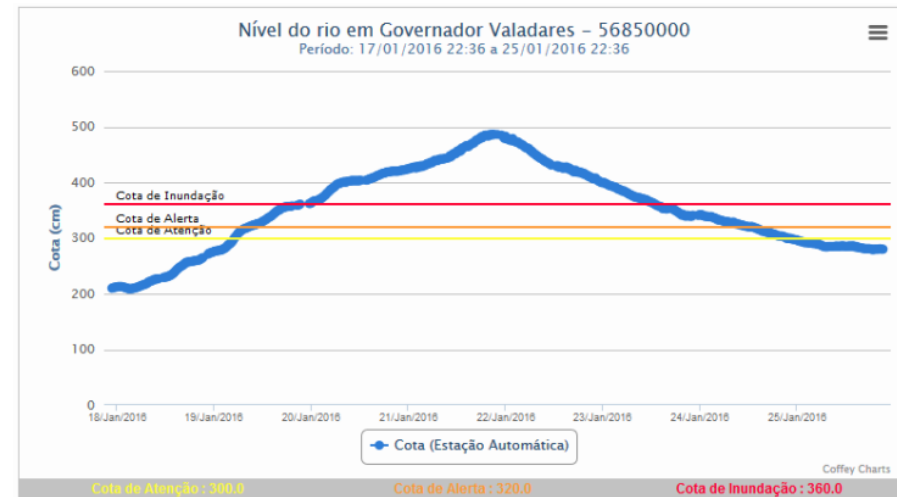
Inundação: 1877 m³/s



08/11/2015

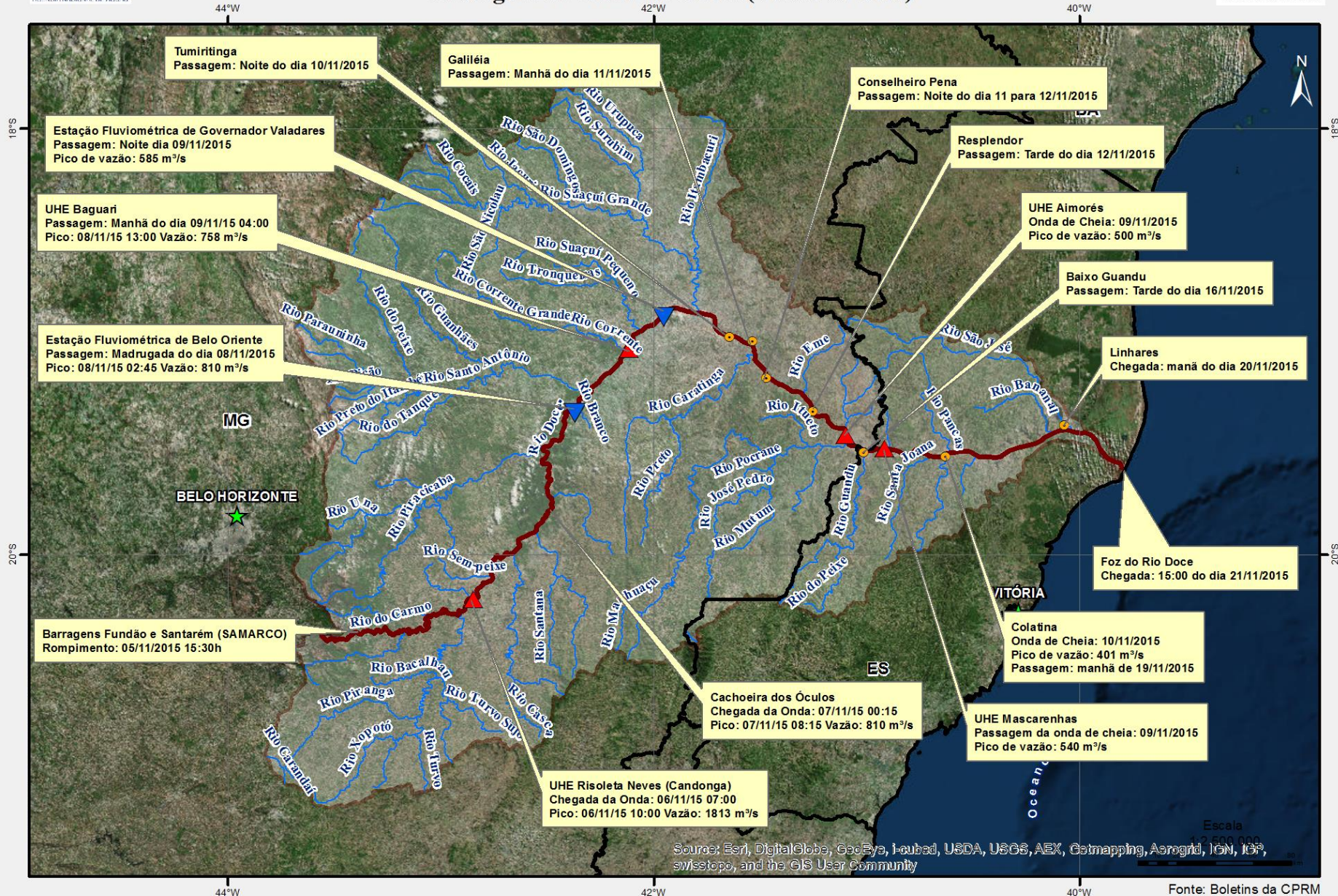


22/01/2016



Descarga sólida estimada equivalente a descarga sólida em suspensão anual (CPRM, 2015)

Passagem de Água com Elevada Turbidez Passagem da Onda de Cheia (Vazão de Pico)



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Escala
1:2.500.000

A large, stylized number '3' is positioned on the left side of the slide. The number is white with a thick teal outline, set against a teal background. The '3' is composed of two rounded, bulbous shapes connected by a central vertical stem.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

ÁGUA X REJEITO

- Guias disponíveis na literatura
 - Modelos numéricos disponíveis
 - Fluido newtoniano
-
- Mais complexos
 - Fluidos mais viscosos que a água, com teor de sólidos variáveis
 - Percentagem de volume retido no reservatório
 - Modelagem numérica difícil



PASSOS



1. Estabelecer cenários
2. Estimar o volume a ser propagado de rejeitos e água
3. Realizar estudos hidrológicos para definir vazões de base
4. Estimar o teor de sólidos do reservatório
5. Definir pela utilização de modelo newtoniano ou não-newtoniano
6. Realizar a simulação hidráulica
7. Mapear a inundação
8. **Realizar análises de sensibilidade**

MITOS



Mito 1: Os rejeitos não irão para jusante, somente a água

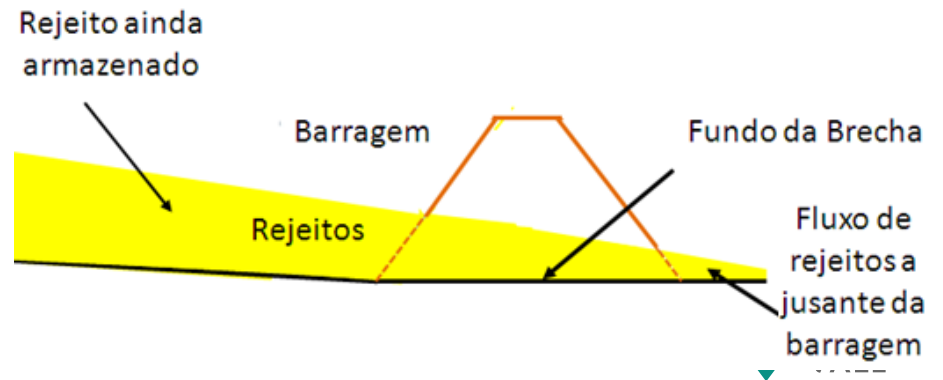
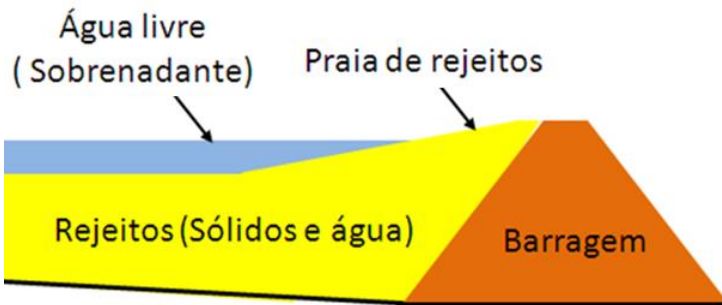
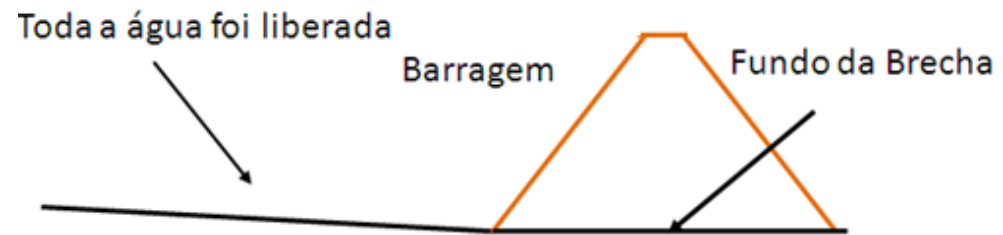
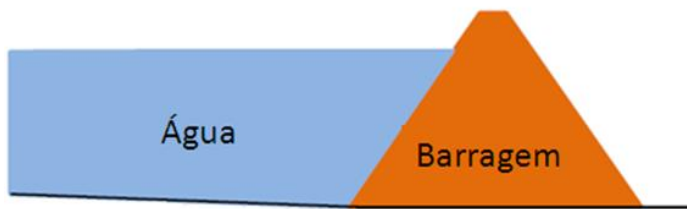
Mito 2: Os rejeitos se depositam logo no pé da barragem, não alcançando grandes distâncias

Mito 3: A topografia não é um fator importante

Mito 4: Os modelos de inundação não são representativos

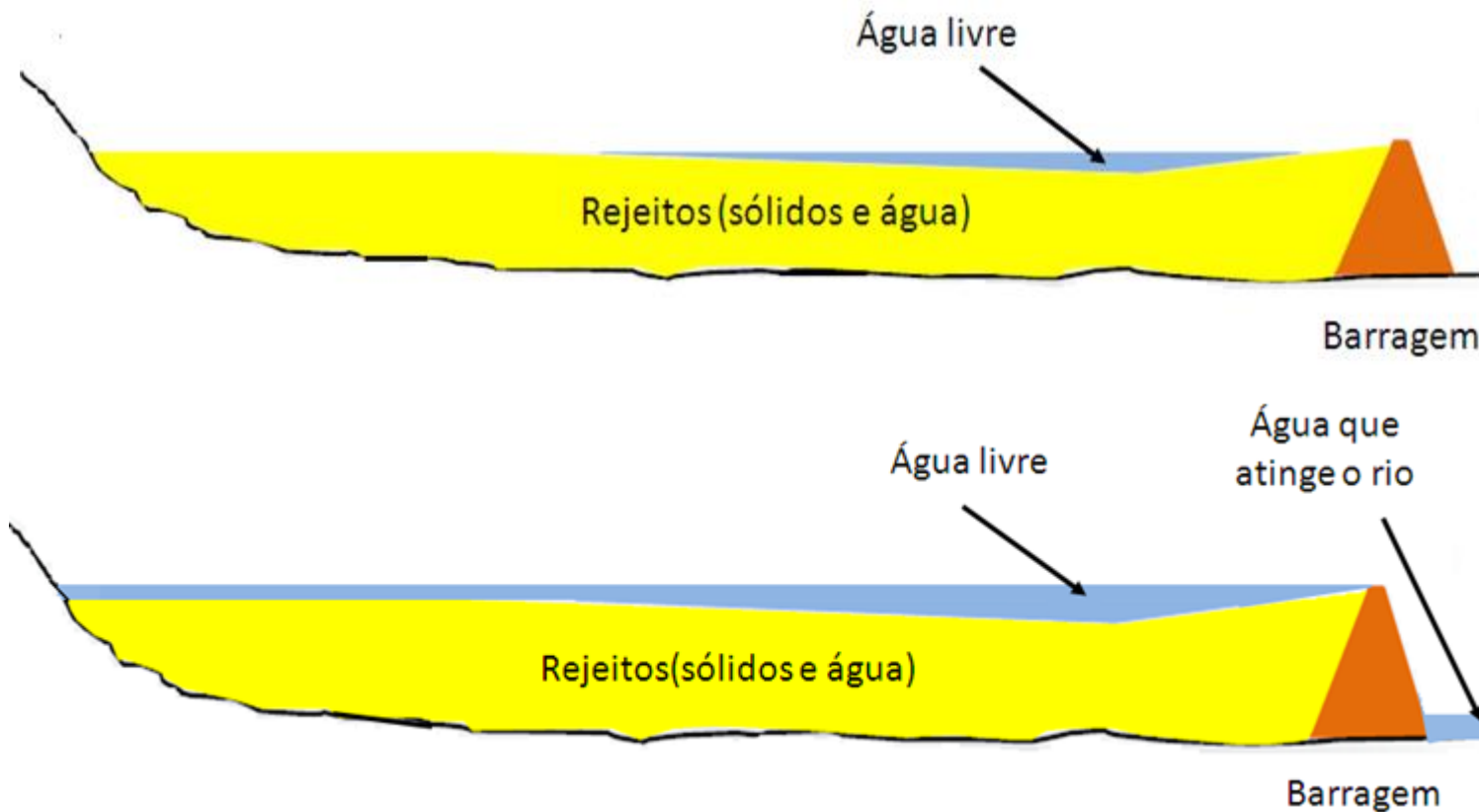
Mito 5: A minha barragem é extremamente segura, uma ruptura é impossível.

ESTIMATIVA DO VOLUME A SER PROPAGADO



(Klohn Crippen Berger, 2011)

ESTIMATIVA DO VOLUME A SER PROPAGADO

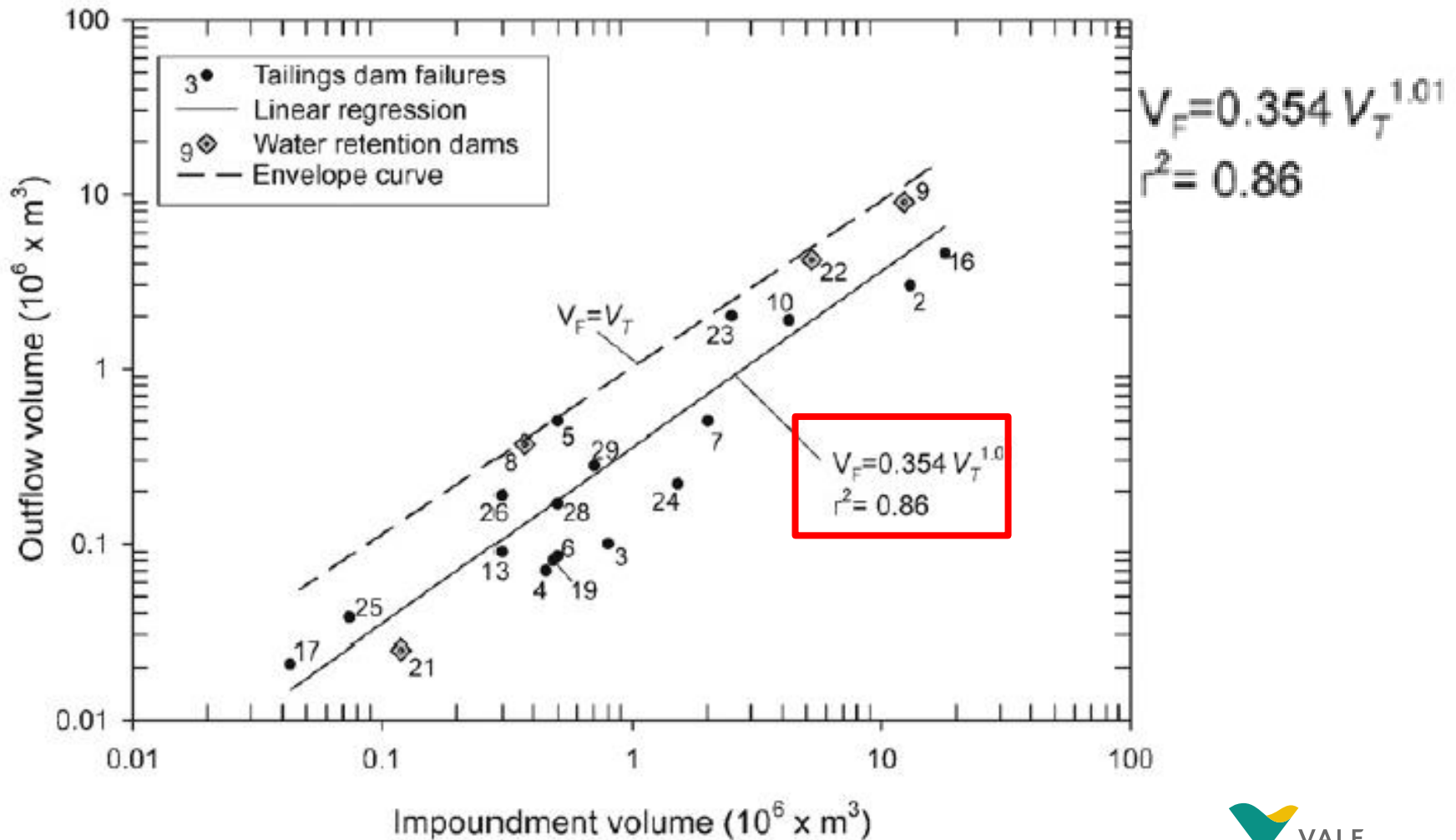


+ água → Maior volume de rejeito mobilizado

ESTIMATIVA DO VOLUME A SER PROPAGADO

Fonte	Número de Barragens Analisadas	Altura das Barragens (m)	Volume Liberado na Ruptura	
			Faixa (%)	Média (%)
Lucia (1981)	11	15 a 46	14 a 100	40
USCOLD (1995)	16	20 a 61	1 a 100	29
Garga e Khan (1995)	19	Não informado	3 a 100	28
USCOLD e www.tailings.info	31	12 a 61	1 a 100	26
M. Rico et al (2007)	28	5 a 66	3 a 100	35
Azam e Li (2010)	72	Não informado	Não informado	20

ESTIMATIVA DO VOLUME A SER PROPAGADO



ESTIMATIVA DO VOLUME A SER PROPAGADO

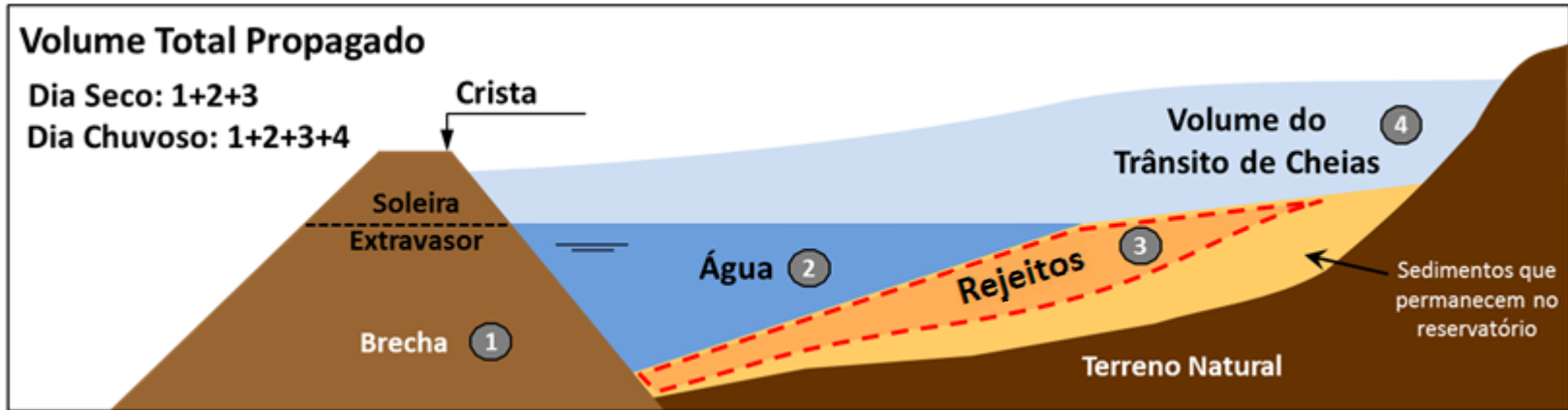
Casos históricos indicam que rejeitos remanescentes no reservatórios após a ruptura formam ângulos de **3.5° a 6°**;

Rejeitos liquefeitos estabilizam a jusante em ângulos de **1° a 4** (Lúcia et ai., 1981, Blight & Fourie 2003)

Fatores importantes: reologia, topografia do vale a jusante, teor de umidade



ESTIMATIVA DO VOLUME A SER PROPAGADO



$$V_T = 35,4\% \times (V_{\text{rejeitos}}) + V_{\text{água}} + V_{\text{brecha}} + V_{\text{NA max max}}$$

CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

- Cenário de ruptura mais provável
- Cenário de ruptura mais desfavorável ou extremo

*Por razões diversas (nomeadamente devido a imprecisões nos resultados dos modelos de simulação), **as autoridades de Defesa Civil responsáveis poderão adotar como critério base o da elaboração de planos de emergência mais conservadores e prudentes**, norteados por uma necessidade de segurança mais abrangente (ANA, 2015)*

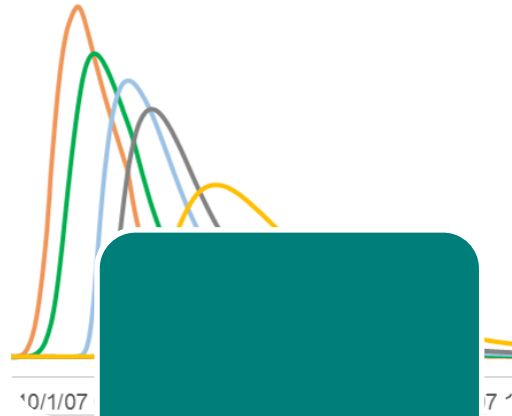
Fonte: Manual do Empreendedor Volume IV Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE Versão Preliminar – abril de 2015

- NA max normal (dia seco) - 71%
 - CMP - 59%
- } Martinez (2011)

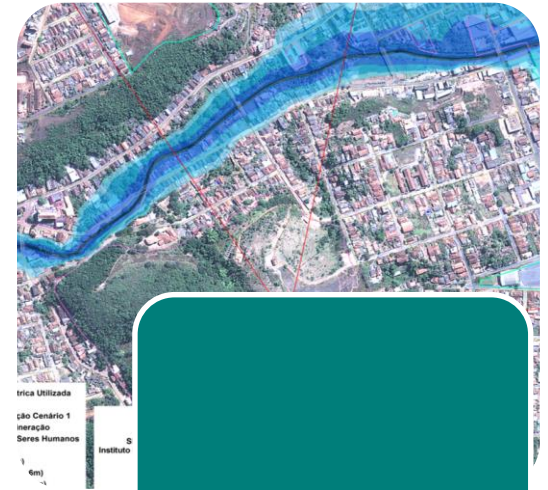
METODOLOGIA



Formação da brecha e síntese do hidrograma de ruptura



Propagação da Onda de Ruptura



Mapeamento da Inundação



FORMAÇÃO DO HIDROGRAMA DE RUPTURA

FORMAÇÃO DE BRECHA DE RUPTURA

Parâmetros

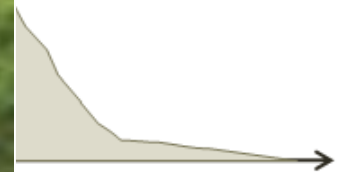
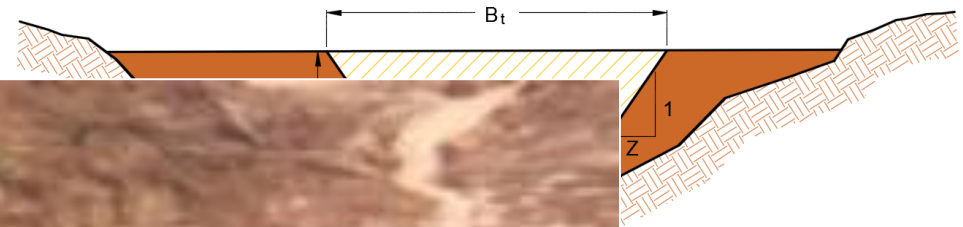
Geométricos

- Altura brecha
- Fator de inc

Hidrográfico

- Vazão de pi
- Tempo de in

Tempo de falh
tempo de falh



abilidade do
ugh, 1996)

FORMAÇÃO DE BRECHA DE RUPTURA

- HEC-HMS
- HEC-RAS
- NWS BREACH (FREAD, 1988)
- WinDam (VISSER *et al.*, 2012)
- Dentre os modelos fisicamente baseados, o modelo NWS BREACH (FREAD, 1988) ainda é o mais amplamente utilizado (COLORADO, 2010)
- Modelos paramétricos ainda são os mais utilizados (WAHL *et al.*, 2008).

FORMAÇÃO DE BRECHA DE RUPTURA

Autor	Casos analisados	Equação
USBR (1988)	-	$\bar{B} = 3 (H_w)$
Von Thun e Gillete (1990)	57	$\bar{B} = 2,5 H_w + C_b$ $C_b = 54,9 - \text{reservatório} > 1,23 \times 10^7 \text{ m}^3$
Froehlich (1995a)	63	$\bar{B} = 0,1803 k_o V_w^{0,32} H_b^{0,19}$ $k_o = 1$ ruptura por <i>piping</i>
Froehlich (2008)	74	$\bar{B} = 0,27 k_o V_w^{0,32} H_b^{0,04}$ $k_o = 1$ ruptura por <i>piping</i>



FORMAÇÃO DE BRECHA DE RUPTURA

Autor	Casos analisados	Equação
MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)	42	$V_{er} = 0,0261(V_w H_w)^{0,769}$ $t_f = 0,0179(V_{er})^{0,364}$
USBR (1988)	-	$t_f = 0,011 (\bar{B})$
Von Thun e Gillete (1990)	57	$t_f = 0,020 H_w + 0,25$ – solo resistente à erosão
		$t_f = 0,015 H_w$ – solo altamente erodível
		$t_f = \frac{\bar{B}}{4H_w}$ – solo resistente à erosão
		$t_f = \frac{\bar{B}}{4H_w + 61,0}$ – solo altamente erodível
Froehlich (1995b)	63	$t_f = 0,00254 V_w^{0,53} H_w^{-0,90}$
Froehlich (2008)	74	$t_f = 63,2 \sqrt{\frac{V_w}{gH_w^2}}$

A large, stylized number '5' is the central graphic element. It is composed of a white outline and a solid teal fill. The '5' is positioned on the left side of the frame, with its right edge overlapping the text area. The background is a solid teal color.

PROPAGAÇÃO HIDRÁULICA

QUAL MODELO UTILIZAR?



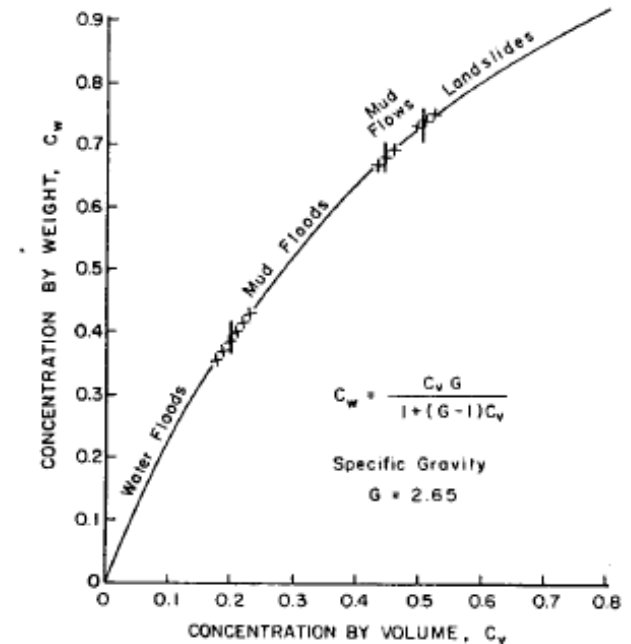
- FLDWAV
- HEC-HMS
- HEC-RAS 1D
- HEC-RAS 2D
- FLO-2D
- MIKE
- DAN-W
- DAN-3D
- FLOW-3D

• QUAL É O OBJETIVO DO ESTUDO?

- ✓ Qual é a reologia do rejeito?
- ✓ PAEBM?
- ✓ Análise de Risco / Quantificação dos danos?

NEWTONIANO OU NÃO-NEWTONIANO

Características do escoamento	Concentração volumétrica de sólidos - C_v	Teor de sólidos em massa – TS ¹
Escorregamento	0,50 a 0,90	0,73 a 0,96
Mudflow	0,45 a 0,50	0,69 a 0,73
Mudflood	0,20 a 0,45	0,41 a 0,69
Escoamento aquoso	< 0,20	< 0,41



1. Teor de sólidos em massa calculado utilizando peso específico dos grãos de 2,72 g/cm³

Fonte: O'BRIEN. JULIEN. (1984) Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows

TÉCNICA DE PSEUDO-MANNING – Jin & Fread (1999)

Simplicidade e robustez



NEWTONIANO OU NÃO-NEWTONIANO



1D *VERSUS* 2D

- Qual é a morfologia do vale a jusante?
- Vale encaixado? Planície de inundação extensa?
- Presença de áreas urbanas?
- Topografia disponível possui precisão para a modelagem 2D?
- Localização da brecha?

1D *VERSUS* 2D

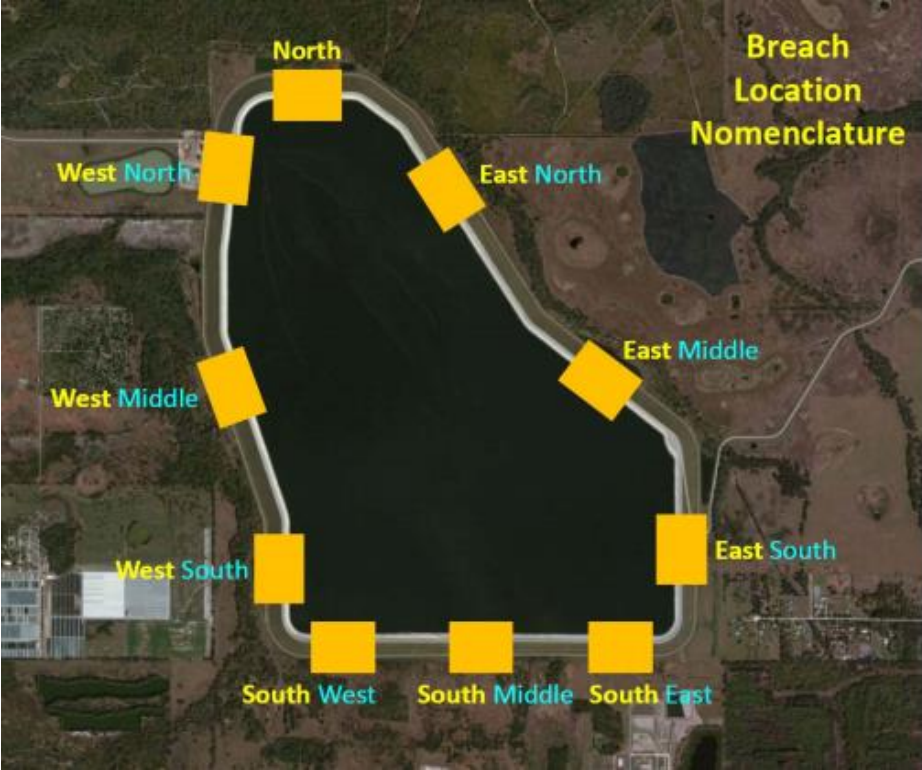
Photo source: TampaBay.com



Fonte: Location! Location!! Location!!! Where do you breach a 5-Mile long embankment? 2D Dam Breach Analysis of a mammoth-sized Upland Reservoir for an EAP (Devadason, 2014)



1D VERSUS 2D



QUAL CRITÉRIO DE PARADA?

- É muito importante que os estudos do cálculo da onda de inundação incidam nos primeiros 30 km a jusante da barragem (GRAHAM, 1998);
- Grande percentagem das vítimas mortais ocorre nos primeiros 25 km;
- A experiência norte-americana (com base num registo de 23 rupturas de barragens que ocorreram no período de 1960 a 1997 e ocasionaram vítimas mortais):
 - **50% ocorreram a menos de 4,8 km da seção da barragem**
 - 99% nos primeiros 24 km a jusante da mesma (318 vítimas mortais).
- Finlândia → 50 km (ANA, 2015)
- Canadá → Distância correspondente

QUAL CRITÉRIO DE PARADA?



Ruptura de
barragem



Vazão Decamilenar
TR = 10.000 anos



Grandes
Cheias
TR >100
anos



Hidrologia
Normal
Débito de
Margens
Plenas



Grandes
Cheias
TR >100
anos



Vazão Decamilenar
TR = 10.000 anos



Ruptura de
Barragem

QUAL CRITÉRIO DE PARADA?



Vazão Decamilenar
TR = 10.000 anos



Ruptura de
barragem



Grandes
Cheias
TR >100
anos



Hidrologia
Normal

Débito de
Margens
Plenas



Grandes
Cheias
TR >100
anos



Ruptura de
Barragem



Vazão Decamilenar
TR = 10.000 anos

QUAL CRITÉRIO DE PARADA?

- Distância a jusante entre a barragem e um curso de água de maior porte?
- Reservatório a jusante? Dia Seco ou Chuvoso? Dano incremental???

CrITÉrio hidrolÓgico

- Vazão de pico do hidrograma de ruptura inferior à vazão do curso de água para um determinado período de retorno (ex. TR = 100 anos)
- Vazão inferior à vazão de débito de margens plenas (TR = 2 anos)

CrITÉrio hidráulico

- Diferença entre a cota de inundação de cheia natural e induzida pela ruptura é inferior a um limiar (exemplo: 0,6 cm)
- Nível de água totalmente

QUAL CRITÉRIO DE PARADA?

RECOMENDAÇÃO ANTERIOR À REALIZAÇÃO DO ESTUDO

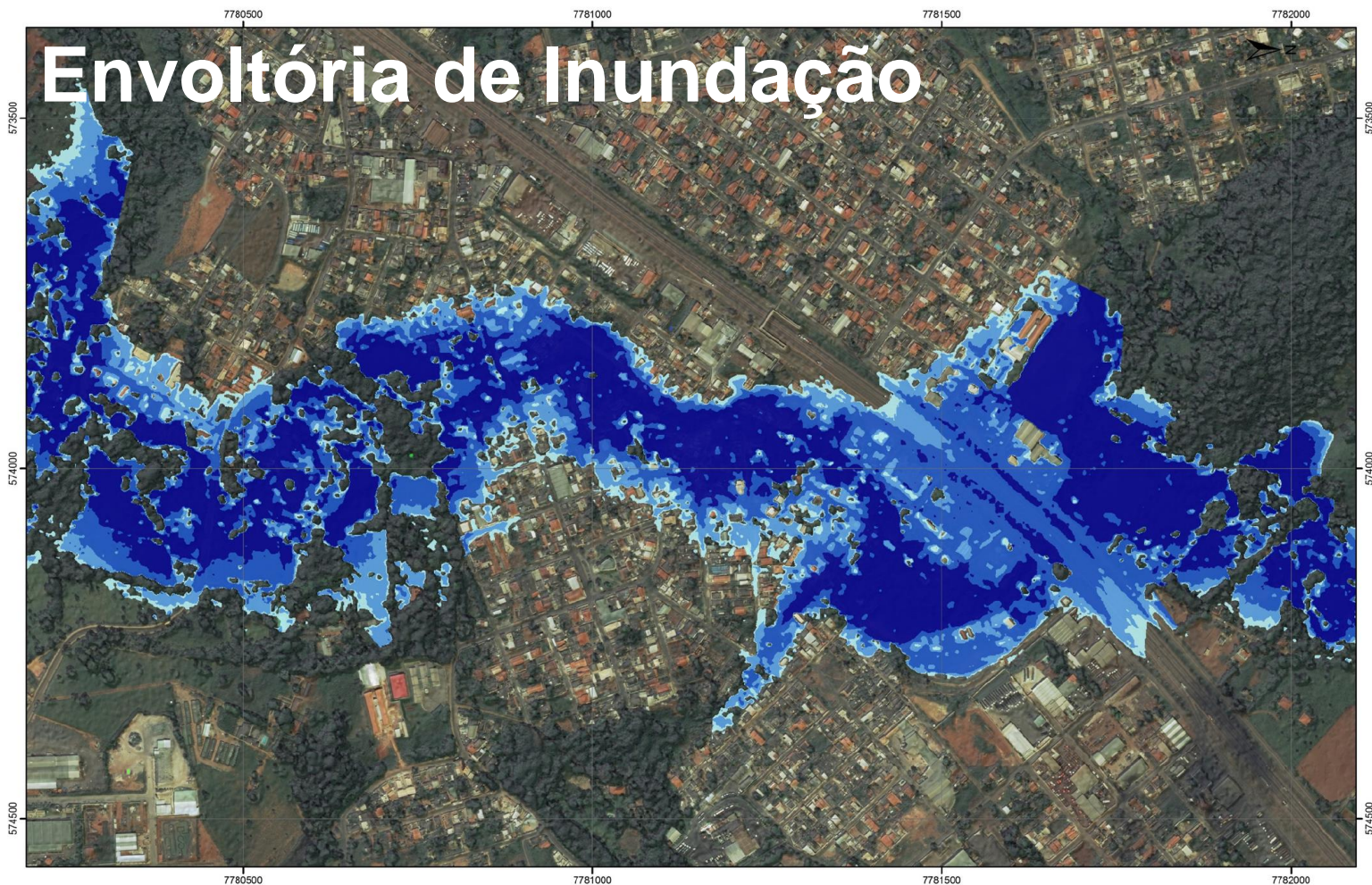
<i>Volume armazenado do reservatório (hm³)</i>	<i>Classe da extensão do vale a jusante</i>	<i>Extensão do vale a jusante aconselhada - L (km)</i>
<i>3 - 50</i>	<i>Pequena</i>	<i>Máximo 25</i>
<i>50 - 200</i>	<i>Média</i>	<i>25 < L < 100</i>
<i>> 200</i>	<i>Significativa</i>	<i>Mínimo 100</i>



MAPEAMENTO

QUAIS MAPAS ELABORAR?

KEEP CALM
AND
CHECK TWICE



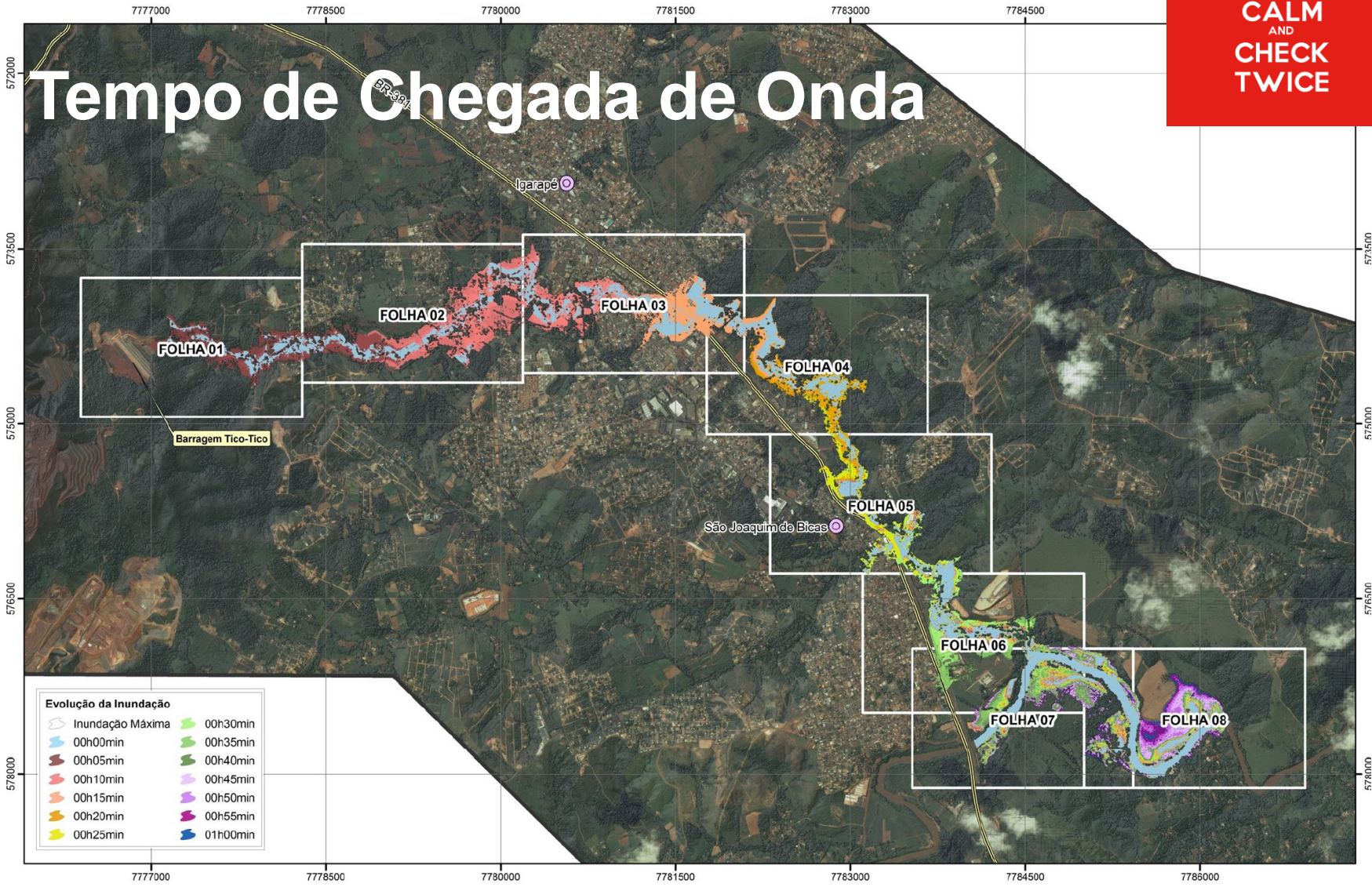
Elevação da Inundação	
	$h < 1,0\text{ m}$
	$1,0\text{ m} < h < 3,0\text{ m}$
	$3,0\text{ m} < h < 6,0\text{ m}$
	$h > 6,0\text{ m}$



ESCALA ORIGINAL 1:5.000
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - FUSO 23 SUL, ORIGEM DA QUILÔMETRAGEM EQUADOR E MERIDIANO CENTRAL 39°WGr., ACRESCIDAS AS CONSTANTES: 10.000m E 500m RESPECTIVAMENTE
DATUM HORIZONTAL: WGS-84

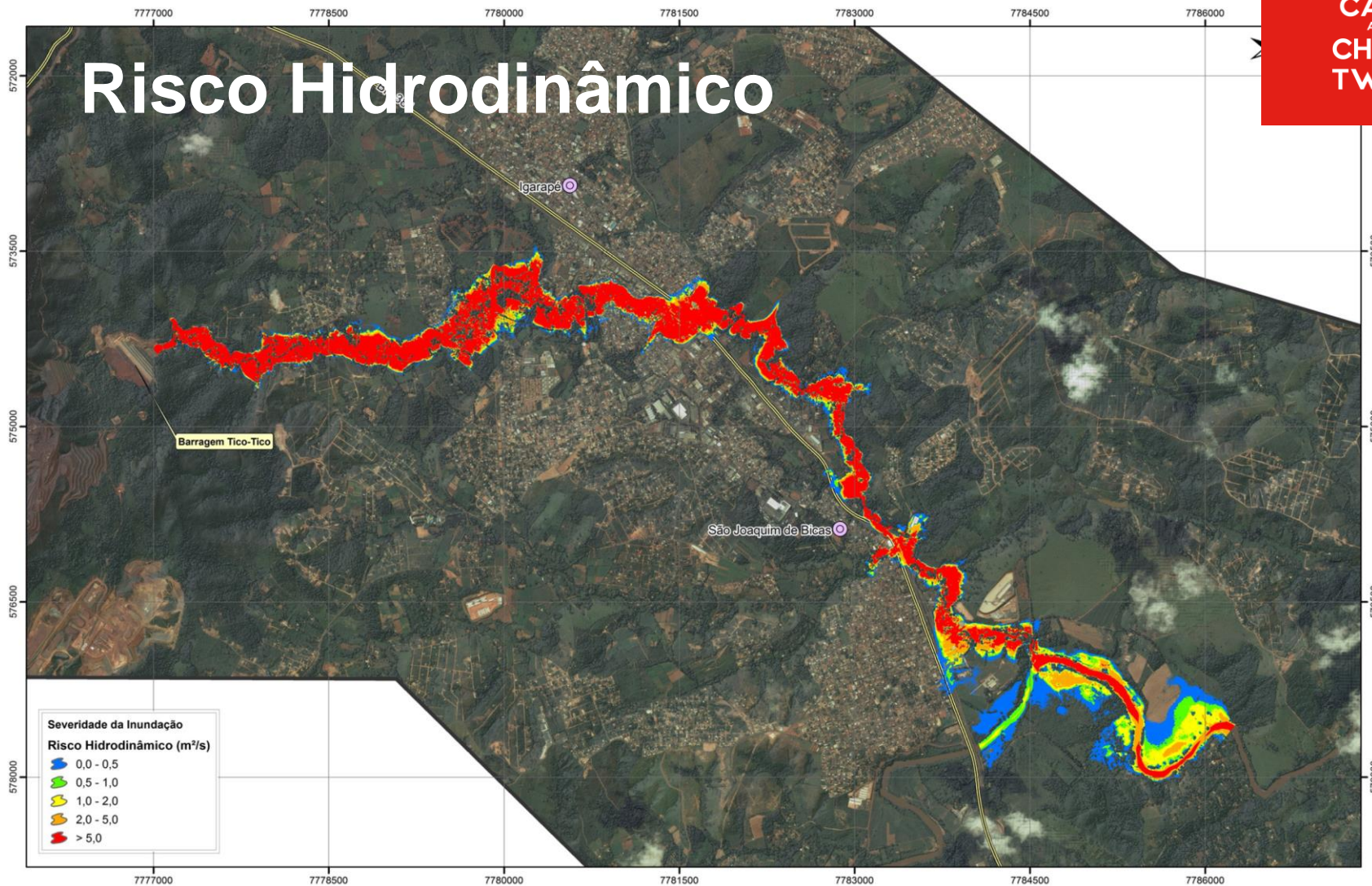
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS	ESTUDO DE RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM TICO-TICO
APÊNDICE A-3	MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO ESTÁTICA MÁXIMA
FIGURA A-3.4	CENÁRIO 1b
	FOLHA 03/08





KEEP
CALM
AND
CHECK
TWICE

Risco Hidrodinâmico



INFORMAÇÕES IMPORTANTES

- Instante de chegada da frente e do pico da onda de inundação
- Duração da cheia (em formato 00H00M);
- Velocidade máxima da onda de inundação (m/s);
- Profundidade máxima da onda de inundação (m);
- Vazão máxima atingida (m³/s);
- Limites administrativos das áreas atingidas (Estado, Município)
- Infraestruturas e instalações importantes ou existência de instalações de produção ou de armazenagem de substâncias perigosas.



**BARRAGEM DE
CONTENÇÃO DE
REJEITOS SÃO
FRANCISCO**

BARRAGEM DE REJEITOS SÃO FRANCISCO

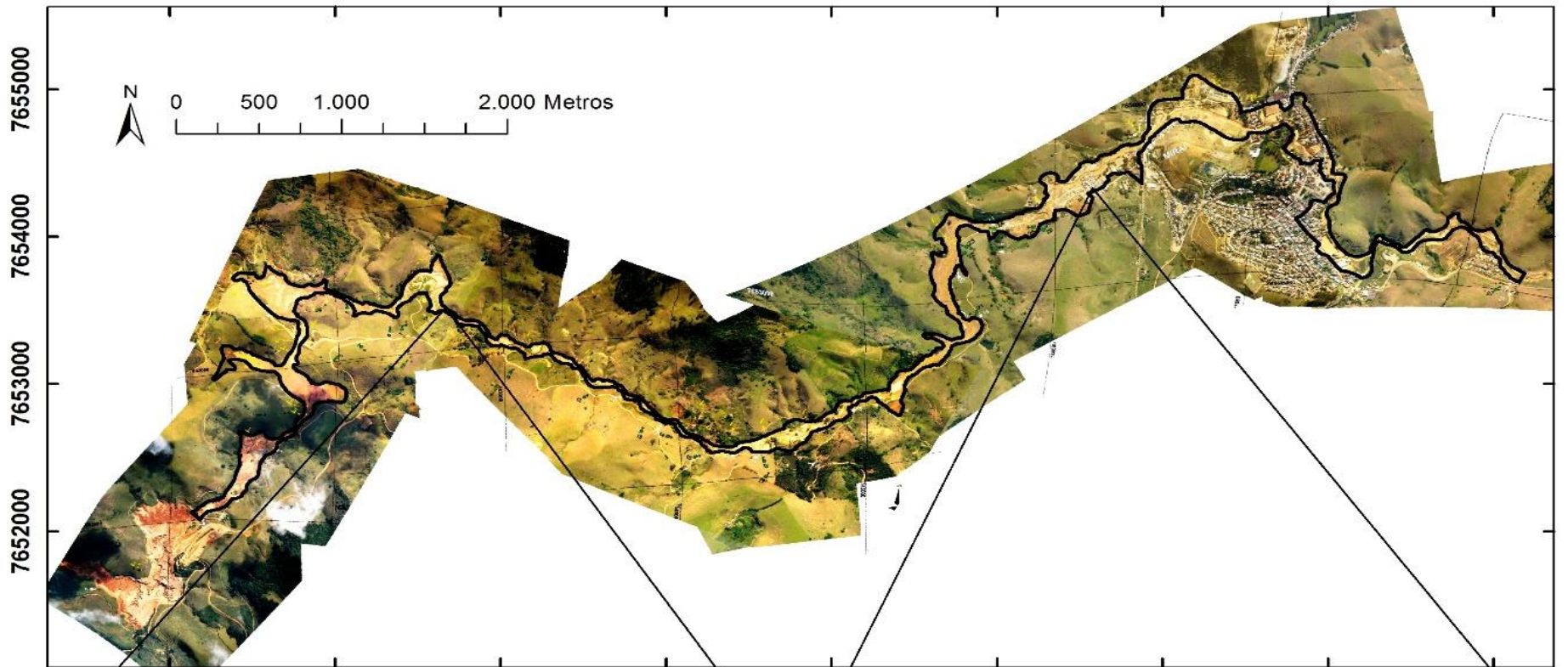


Início da operação: 1995 **Data da Ruptura:** 10/01/2007 às 05:30 h

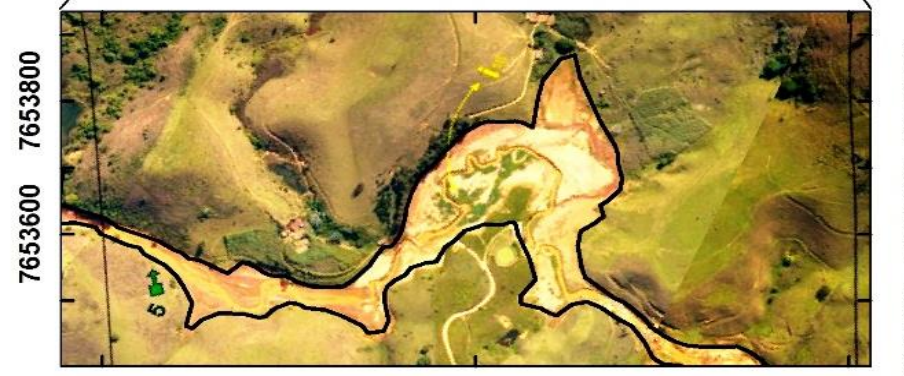
Altura: 34 m **Volume aprox.:** 3.733.000 m³

Localização: rio Fubá, Fazenda São Francisco, distante aprox. 10 km da área urbana

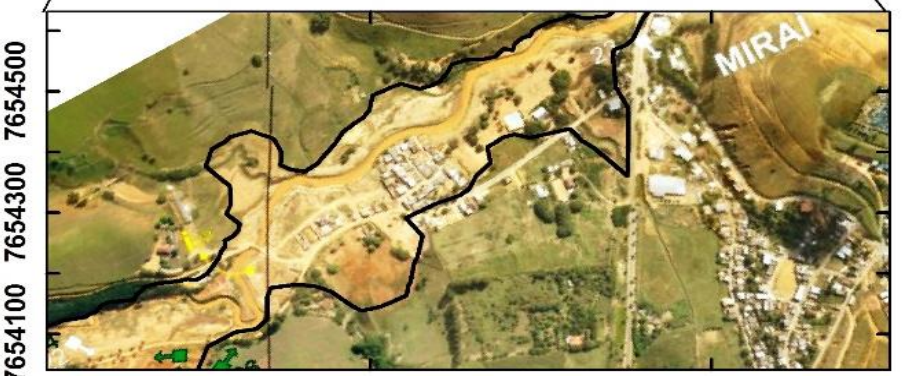




741000 742000 743000 744000 745000 746000 747000 748000 749000





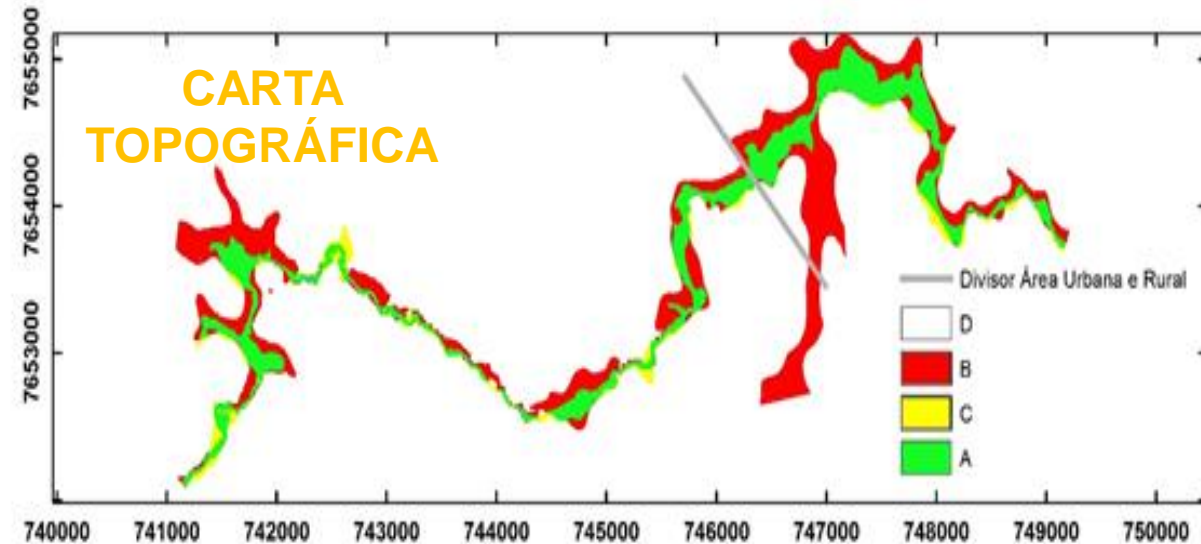
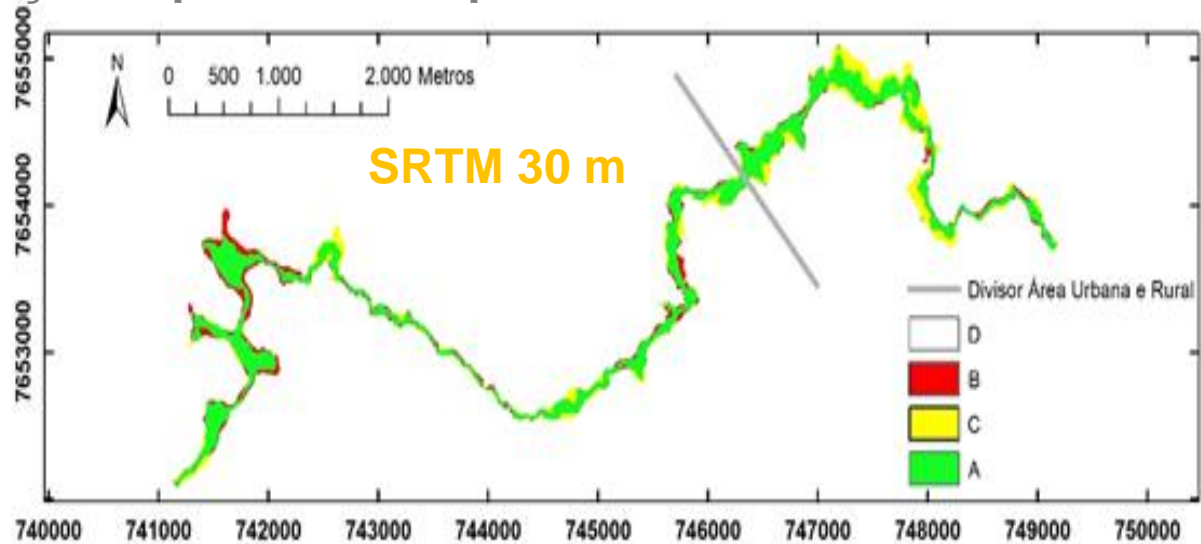
742000 742500 743000



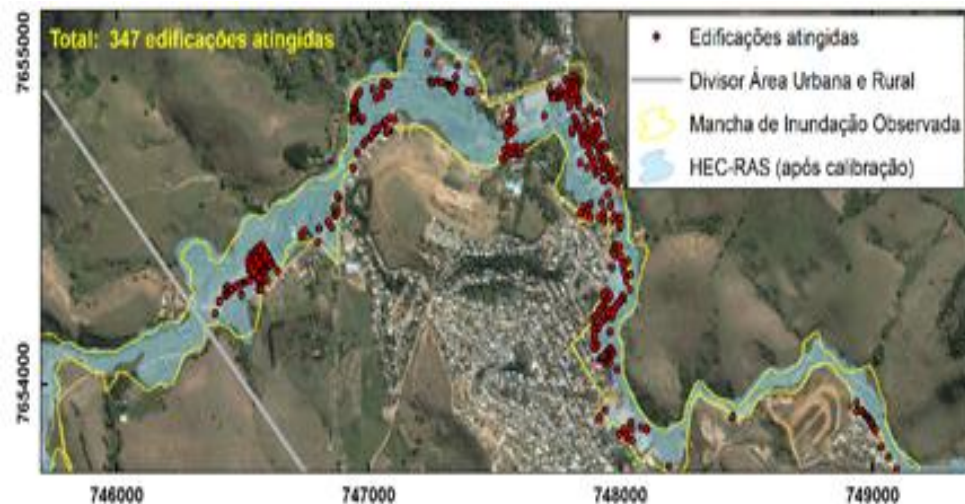
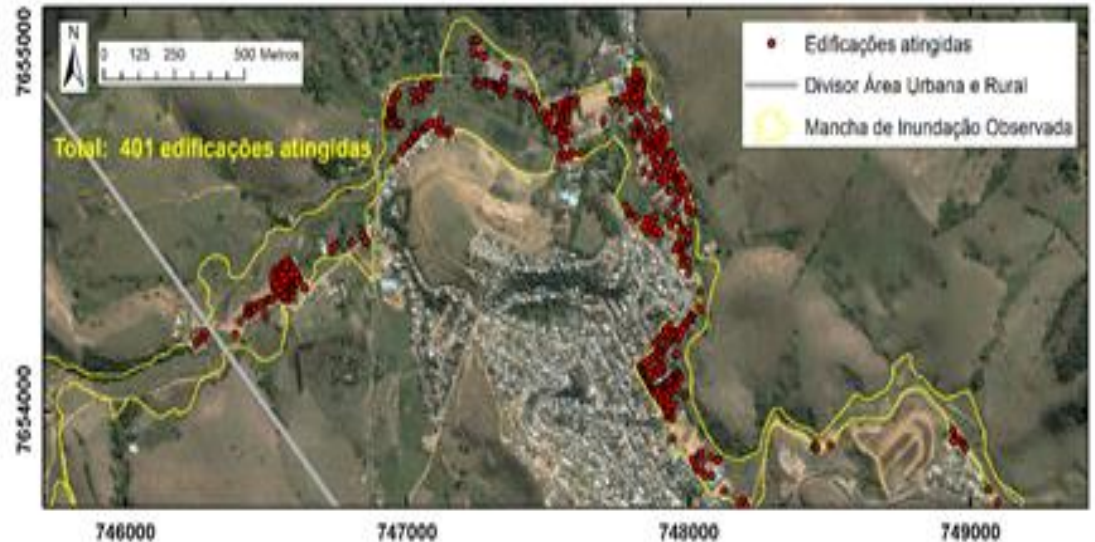
746500 747000

INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA

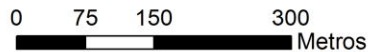
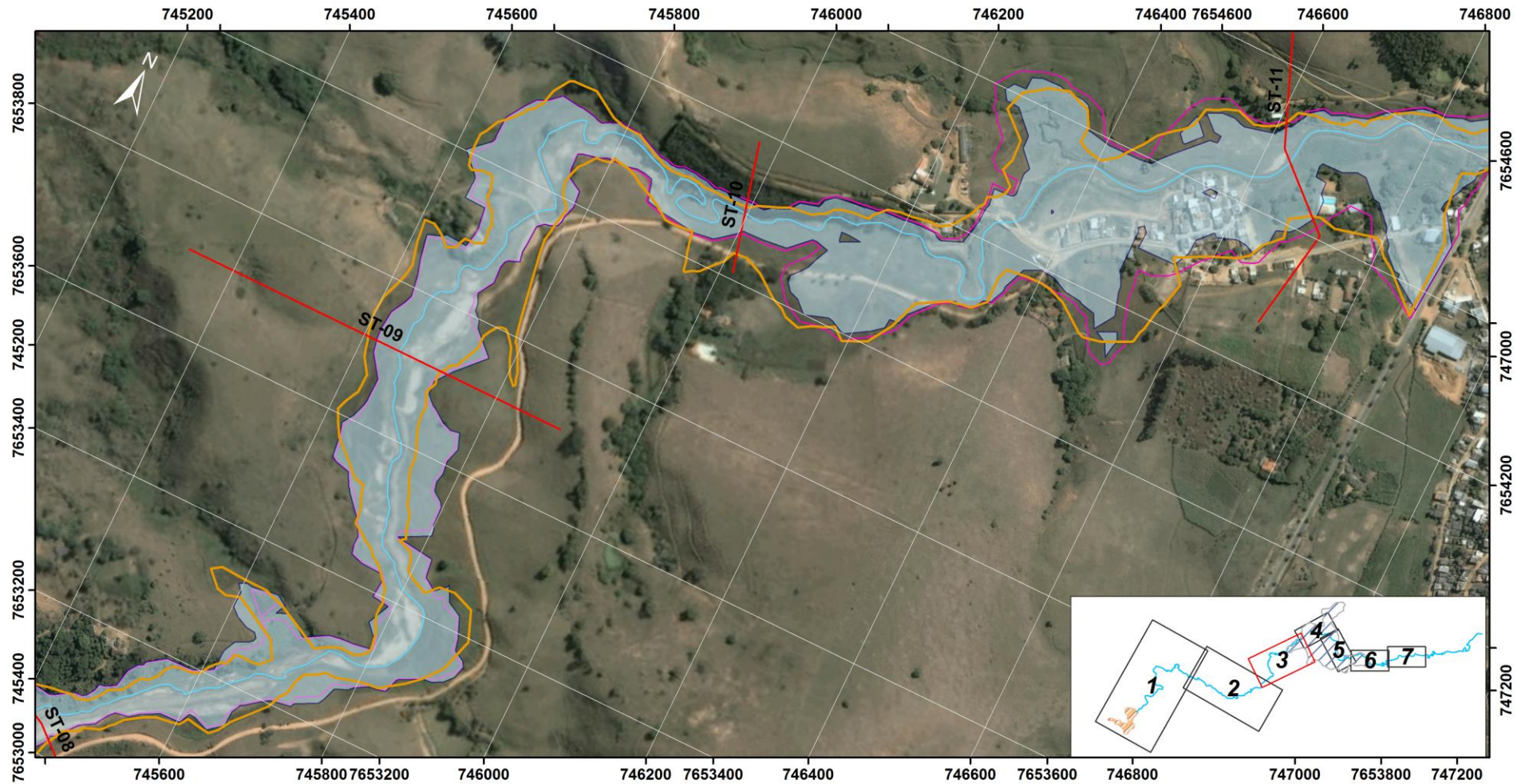
-  Inundação prevista pelo modelo foi igual à inundação observada
-  Inundação superestimada pelo modelo hidráulico



EDIFICAÇÕES ATINGIDAS



86% do total !



ESCALA ORIGINAL: 1:5.000







Projeção: UTM FUSO 23S DATUM WGS84

Fonte:

Imageamento Orbital Google Earth
SRTM Shuttle Radar Mission

Formato construído para impressão em A3

Legenda

-  Seções transversais
-  Envoltória de inundação observada
-  Cenário Base
-  Cenário após calibração da rugosidade
-  rio Fubá
-  Reservatório Barragem São Francisco

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (UFMG)

RETROANÁLISE DA RUPTURA DA BARRAGEM SÃO FRANCISCO - MIRAÍ/MG

Restituição da envoltória de inundação - Folha (3/7)

Data: 06/04/2015

Felipe Figueiredo Rocha



CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Cautela na aplicação da equação proposta por Rico *et al.* (2008) para previsão do volume a ser propagado para jusante;
- Importância da correta previsão da brecha de ruptura e da síntese do hidrograma diminui à medida que se afasta da barragem;
- **Análises de sensibilidade para diferentes cenários de simulação são essenciais;**
- Recomenda-se fortemente a **aquisição de topografia de precisão (LIDAR)**, visto que o mapeamento é mais fidedigno
- **Retroanálise de casos históricos evidenciam que a metodologia disponível é aplicável para mapeamento de inundações decorrentes de ruptura de barragens de rejeitos e planejamento das ações emergenciais que devem estar descritas no PAEBM;**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Ainda existe muito espaço para aprimoramento do processo físico associado à ruptura de barragens, **mas não deve ser impedimento para desenvolvimento e divulgação dos estudos;**
- O desconhecimento completo dos danos potenciais gera mais insegurança ao empreendedor e à sociedade do que a noção de um custo de inundação com suas respectivas incertezas → **Projetos HAZUS-MH e European Directive 2007/60/EC;**
- As incertezas estão mais associadas ao tempo de chegada de onda do que profundidade de inundação;

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- É importante discutir a abrangência do estudo de ruptura de barragens de rejeitos. **O foco deve ser a inundação do vale ou também a propagação e transporte de material em suspensão?**
- Os estudos de ruptura de barragens juntamente com avaliações de cheias naturais possibilitam o maior conhecimento do regime fluvial e mapeamento das áreas de riscos a inundações
- **A análise incremental dos efeitos de cheias naturais e induzidas por ruptura de barragem é uma oportunidade para a melhoria dos planos diretores de bacias hidrográficas (utilização de topobatimetria e topografia de precisão)**



Para um mundo com novos valores.

OBRIGADO

Referências Bibliográficas

AZAM, S.; LI, Q. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical News*, v. 28, n. 4, p. 50-54, 2010.

COLORADO, STATE OF., Guidelines for Dam Breach Analysis. Office of the State Engineer Dam Safety Branch, Departamento de Recursos Naturais do Estado do Colorado – Divisão de Recursos Hídricos, Estados Unidos, Colorado, Fevereiro, 2010, 68 p.

COOK, A.; MERWADE, V. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, v. 377, n. 1, p. 131-142, 2009.

FROEHLICH, D. C. Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 134, No. 12, Maio, pp 1708-1720, 2008.

GRAHAM, W.J., 1998. "Estimating loss of life due to dam failure". Bureau of Reclamation publication, Denver, EUA.

KLOHN CRIPPEN BERGER, Estimation of Tailings Dam Break Discharges Arvind Dalpatram. in: USSD Workshop on Dam Break Analysis Applied to Tailings Dams, Denver, 2011 – disponível em <http://www.infomine.com/publications/docs/Dalpatram2011.pdf> – último acesso em março de 2016.

ICOLD. Tailings Dams – Risk of Dangerous Occurrences, Lessons Learnt from Practical Experiences, Bulletin 121. Published by International Commission on Large Dams, Paris, France, 2001, 146 p.

JIN, M.; FREAD, D. 1D modeling of mud/debris unsteady flows. *Journal of hydraulic engineering*, v. 125, n. 8, p. 827-834, 1999.

MARTINEZ, R. K. ASDSO Survey of State Dam Safety Programs in: USSD Workshop on Dam Break Analysis Applied to Tailings Dams, Denver, 2011 – disponível em <http://www.infomine.com/publications/docs/Martinez2011.pdf> – último acesso em março de 2016.

MELO, L. P. R., Análise comparativa de metodologias de previsão de inundação decorrente da ruptura de barragens de rejeitos: Caso Hipotético da Barragem Tico-Tico. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013, 197 p.

O'BRIEN, J. S.; JULIEN, P. Y. Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows. Delineation of landslide, flash-flood, and debris-flow hazards. In: Utah: Logan, Utah Water Research Laboratory report, p. 260-279, 1984.

RICO, M.; BENITO, G.; DIEZ-HERRERO, A. Floods from tailings dam failures. Journal of hazardous materials, v. 154, n. 1, p. 79-87, 2008.

ROCHA, F. F., Retroanálise da ruptura da barragem de São Francisco – Mirai, Minas Gerais, Brasil. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ROURKE, H.; LUPPNOW, D. The Risks of Excess Water on Tailings Facilities and Its Application to Dam-break Studies. 2015.

SANDERS, B. F. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. Advances in Water Resources, v. 30, n. 8, p. 1831-1843, 2007.

VICK, S. Inundation Risk from Tailings Dam Flow Failures. In: Proc. 9th Panamerican Conf. Soil Mech. Fdn. Eng., Viña del Mar. 1991.

WAHL, T. L. Prediction of embankment dam breach parameters: a literature review and needs assessment. Maryland: U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, 1998. 60 p.

WANG, W.; YANG, X.; YAO, T. Evaluation of ASTER GDEM and SRTM and their suitability in hydraulic modelling of a glacial lake outburst flood in southeast Tibet. Hydrological Processes, v. 26, n. 2, p. 213-225, 2012.