

# *Planos de ação de emergência e a política nacional de segurança de barragens*



**Maria Teresa Viseu**  
**XX Congresso da ABRH**  
Bento Gonçalves, 21 de novembro

# Os PAE e o PNSB

- > Índice
- > Introdução à lei 12.334 e resoluções relacionadas
- > A dimensão do desafio
- > Implicações da legislação para PAE
- > Plano de Ação de Emergência (PAE)
  - > Índice do PAE
  - > Simulação da cheia de ruptura
  - > Abordagem simplificada para o PAE
- > Considerações finais

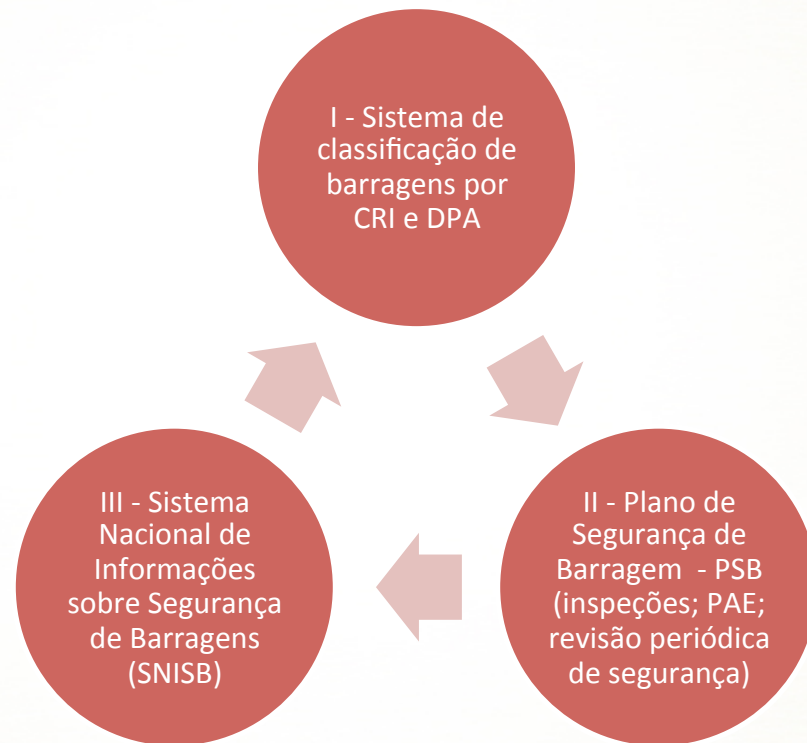


## A Lei 12.334

- > No Brasil o número de barragens cadastradas é de cerca de 13.600
- > Em 2010 é publicada a Lei 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas:
  - > À acumulação de água
  - > À disposição de rejeitos
  - > À acumulação de resíduos industriais
- > É uma manifestação da administração pública com abrangência nacional
- > Visa assegurar procedimentos de segurança em todos os estágios da barragem (planejamento, projeto, implantação, operação e desativação), para minimizar o risco e suas consequências

# A Lei 12.334

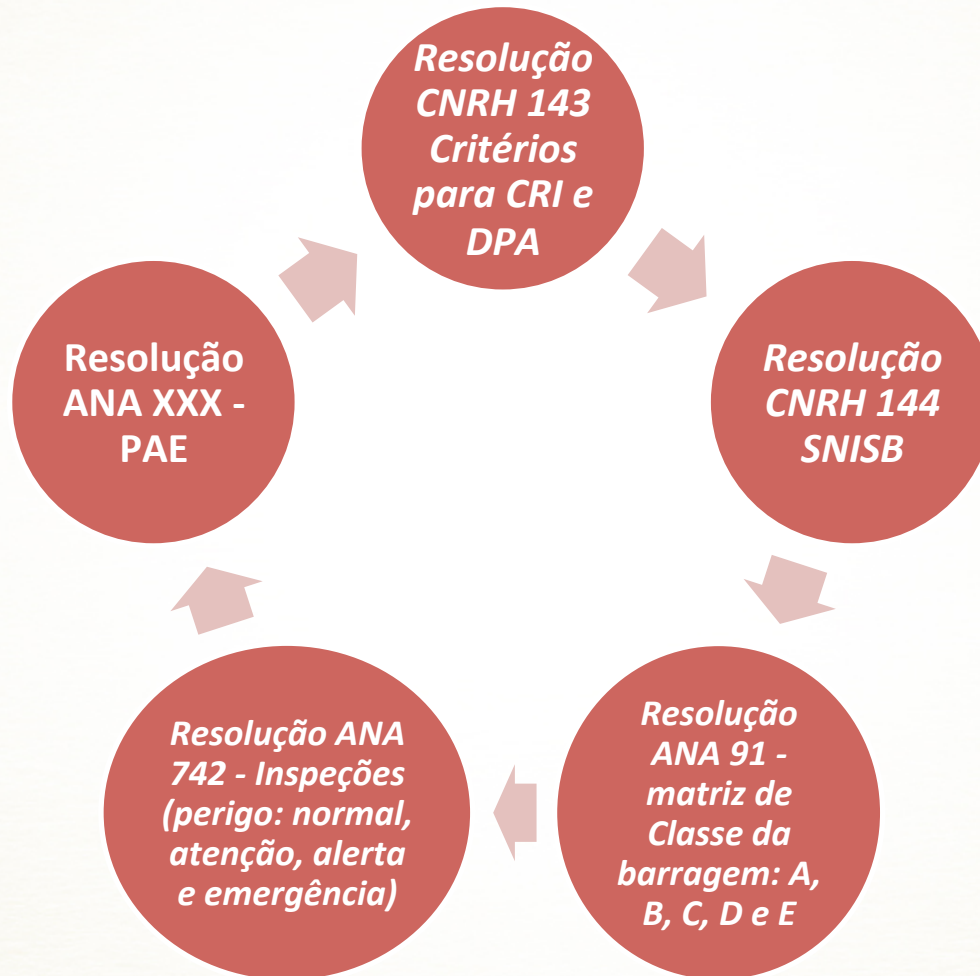
> Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria os seguintes instrumentos:





# A Lei 12.334

> As resoluções emitidas na sequência da lei 12 334 são:



# Lei 12.334

## Características da barragem para enquadramento na Lei

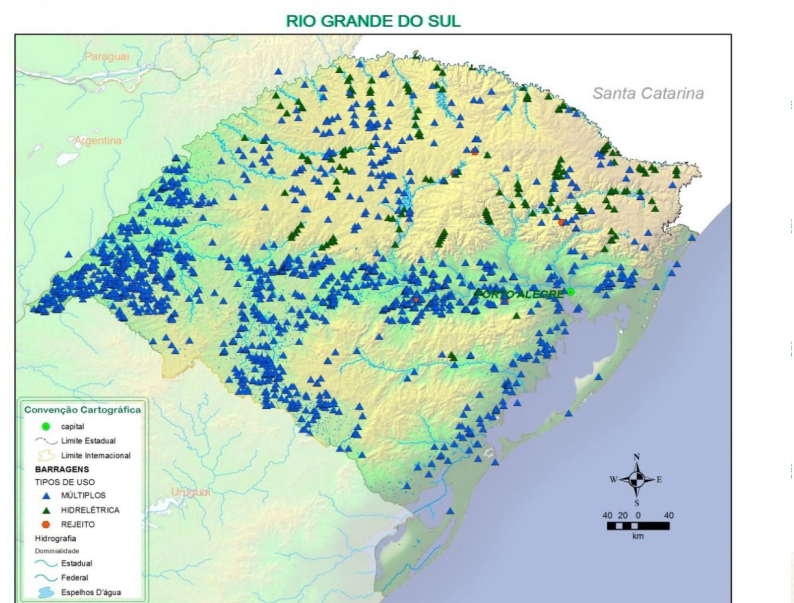
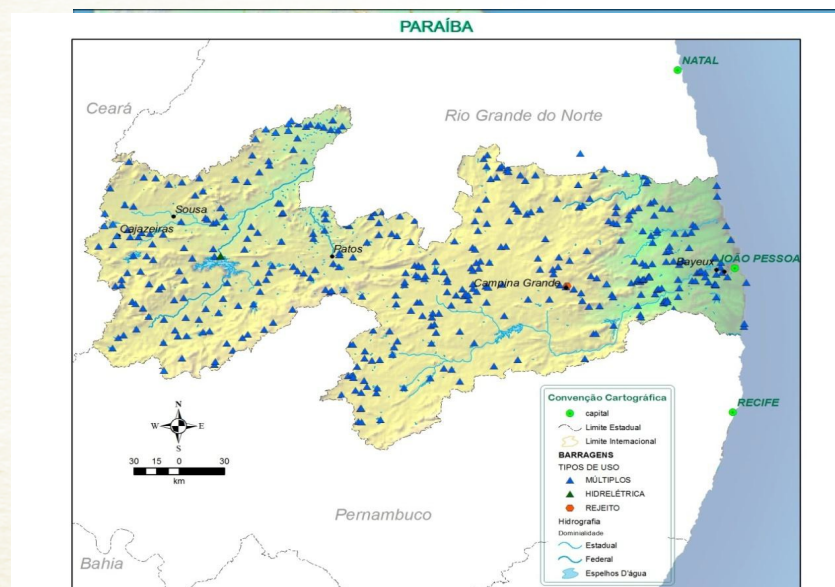
- > Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m
- > Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3 milhões de m<sup>3</sup>
- > Reservatório que contenha resíduos perigosos
- > Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas



# Lei 12.334

## A dimensão do desafio

- > Elevadíssimo número de barragens: 13 529 (identificadas até à data)
- > 38 Entidades Fiscalizadoras: 131 (ANA), 264 (DNPM), 256 (IBAMA), 1,261 (ANEEL) e 11,617 (34 órgãos estaduais gestores de RH e de meio ambiente)
- > Grande diversidade de Empreendedores



## Implicações para o PAE do normativo legal

- > O grande número de barragens abrangidas pela lei ( $V > 3 \text{ hm}^3$  e  $H > 15\text{m}$ ) e sua heterogeneidade
- > Mas a lei aplica-se também a barragens de menor dimensão desde que DPA seja alto:
  - > A existência de residentes em situação de ocupação permanente na zona afetada implica que o DPA seja alto, independentemente da dimensão da barragem (CNRH 143)
  - > SE DPA é alto é necessária a existência de PAE
- > Resultado: a elaboração de um número muito elevado de PAE



# Resolução CNRH nº 143/2012 - DPA

A classificação do DPA é efetuada somando a pontuação de quatro descritores: o volume do reservatório (a), o potencial de perdas de vidas humanas (b) e os impactos ambiental (c) e sócio-econômico (d)

Volume total do reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto sócio-econômico (d)
Pequeno < = 5 milhões m³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou em estabelecimento de permanência eventual em pessoas que poderão ser atingidas) (8)		ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito grande > 200 milhões m³ (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)		

+

20

+

39

10

CLASSES DE DANO:  
 • alto, se  $DPA \geq 16$   
 • médio, se  $10 < DPA < 16$   
 • baixo, se  $DPA \leq 10$

# Implicações para o PAE do normativo legal

## > E qual a prática internacional?

- > Na maioria dos regulamentos, uma barragem é considerada de máxima classe quando a população em risco a jusante ultrapassa um limite mínimo **sempre muito baixo**
- > Este facto, que consta da maioria das regulamentações, faz **aumentar drasticamente o número de barragens abrangidas pelo âmbito regulamentar**
- > Torna difícil a verificação eficaz, por partes das entidades competentes, da implementação das diversas directivas para **todas as barragens**

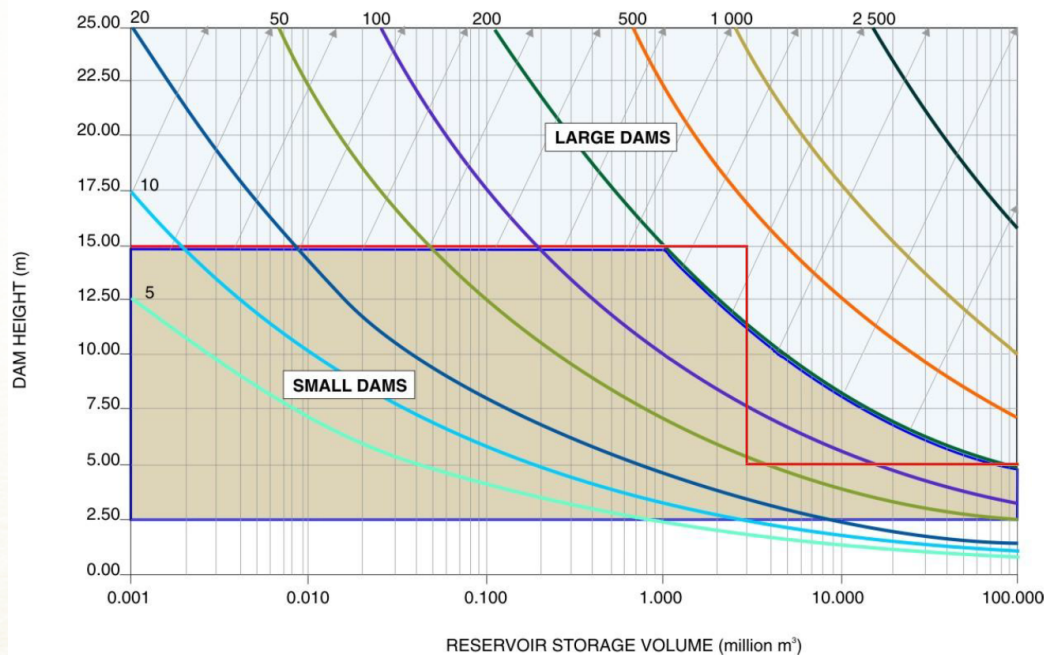


## Implicações para o PAE do normativo legal

- > Deste problema enferma também a classificação do CNRH ao atribuir uma pontuação de 16 (correspondente a um DPA Alto), quando haja ocupação permanente da zona afetada, independentemente da dimensão da barragem e do volume do reservatório
- > Outra fraqueza este tipo de abordagem é que muitas vezes junta barragens que colocam em risco apenas algumas pessoas na mesma categoria do que barragens que colocam em risco centenas ou milhares de indivíduos (nº perda de vidas que “aviva” a consciência do público)

# Implicações para o PAE do normativo legal

- > Como ajustar boas práticas ao parque de barragens e realidade do país?
- > Realização de um PAE simplificado para as **pequenas barragens com DPA elevado**
  - > ICOLD Bulletin No. 143, define “pequena barragem”
    - $X = H^2\sqrt{V} < 200$  ( $H=15\text{m}$  e  $V=1\text{hm}^3$ ),  $H$  a altura e  $V$  a capacidade ( $\text{hm}^3$ )





## Implicações para o PAE do normativo legal

- > Em França, as barragens com  $X = H^2\sqrt{V} < 200$  não carecem de DPA. PAE só para barragens com  $X > 1500$
- > Em Portugal, a revisão da legislação define como de classe de risco maior as barragens com mais de 10 edificações e  $X = H^2\sqrt{V} \geq 1000$
- > Estratégia de “ajustar” a legislação ao parque de barragens existente:
  - >  $X = H^2\sqrt{V} > 200$  para elaboração de PAE
  - >  $X = H^2\sqrt{V} = 1000$  para existência de sirenes (aspeto mais oneroso do PAE)

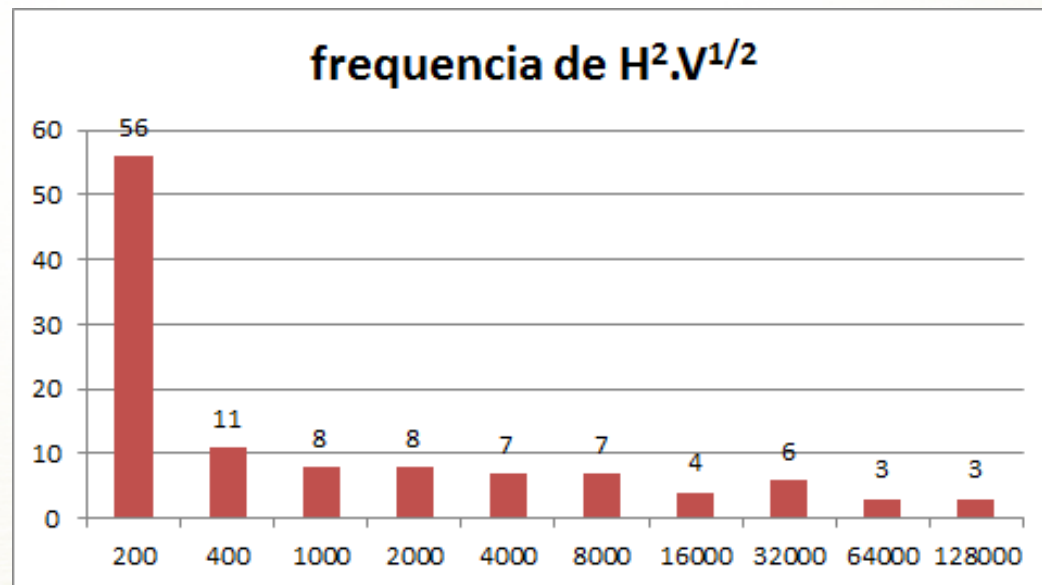
Classe	Perigosidade da barragem e danos potenciais
I	$Y = n^{\circ}$ edificações $\geq 10$ e $X \geq 1000$
II	$Y \geq 10$ e $X < 1000$ , ou $0 < Y < 10$ independentemente do valor de $X$ , ou Existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes
III	$Y = 0$ independentemente do valor de $X$

## Implicações para o PAE do normativo legal

>A ANA, ciente das dificuldades que a Legislação pode levantar, abre caminho à utilização dos métodos simplificados para a realização do PAE:

> *mormente para as barragens de classe A com altura inferior a 15 m e capacidade inferior a  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  ( $X=H^2\sqrt{V} < 390$ )*

> Das 113 barragens ANA recentemente analisadas, 67 apresentam  $X=H^2\sqrt{V} < 390$





# PAE

> Para as grandes barragens de DPA alto



# PAE

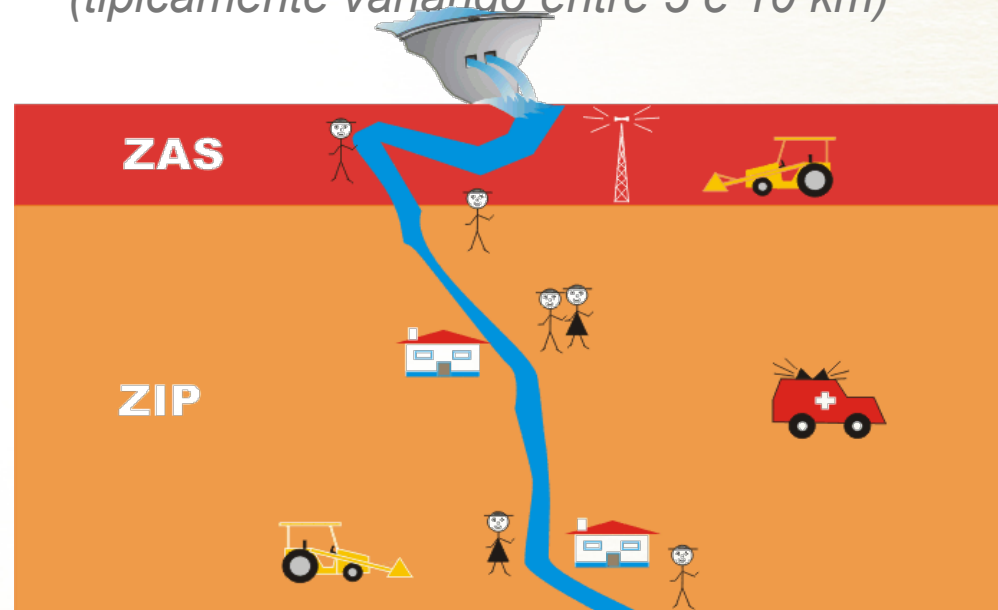
> Enquadramento geral – 2 aspectos importantes

## PLANO DE EMERGÊNCIA



## ZONA DE AUTO-SALVAMENTO (ZAS)

> *Corresponde à zona próxima da barragem em que o aviso à população é da responsabilidade do empreendedor (tipicamente variando entre 5 e 10 km)*



Filosofia: evitar o dano maior...  
perda de vida humana...”

Clarificação de responsabilidades no  
que visa a segurança da população



# PAE

## > 1. Índice proposto:

- > 1. *Informações gerais da barragem*
- > 2. *Detecção, classificação e ações esperadas para cada nível de perigo*
- > 3. *Fluxograma de notificação e procedimentos de comunicação*
- > 4. *Organização, responsabilidades e competências na implementação do PAE*
- > 5. *Resultados do estudo de ruptura da barragem e mapa de inundação com identificação da ZAS*
- > 6. *Meios e recursos (humanos, materiais)*

# PAE

## > 1. Informações gerais da barragem

- *Identificação e localização da barragem*
- *Descrição geral da barragem*
- *Caraterísticas hidrológicas e sísmicas*
- *Reservatório*
- *Órgãos de descarga*
- *Sistema de observação*
- *Sistemas de comunicações e de alerta à população*
- *Sistemas de iluminação e alimentação de energia*
- *Sala de emergência*

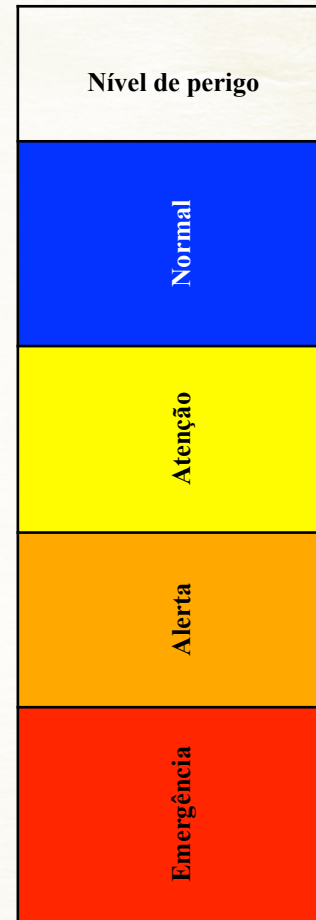
- *Acessos à barragem e aos órgãos de descarga*



## 2. Detecção, classificação e ações esperadas para nível de perigo

### > Classificação da situação:

- > *Estratégia baseada em 4 níveis de perigo (normal, atenção, alerta e emergência)*
- > *Possibilidade de concertar com artº 12 da Resolução ANA 742*
- > *Desenvolvimento de tabelas de apoio à decisão do coordenador do PAE com lista do que “pode correr mal” para cada nível de perigo, identificação das causas e das possíveis medidas corretivas*



## 2. Detecção, classificação e ações esperadas para nível de perigo

### > Classificação da situação:

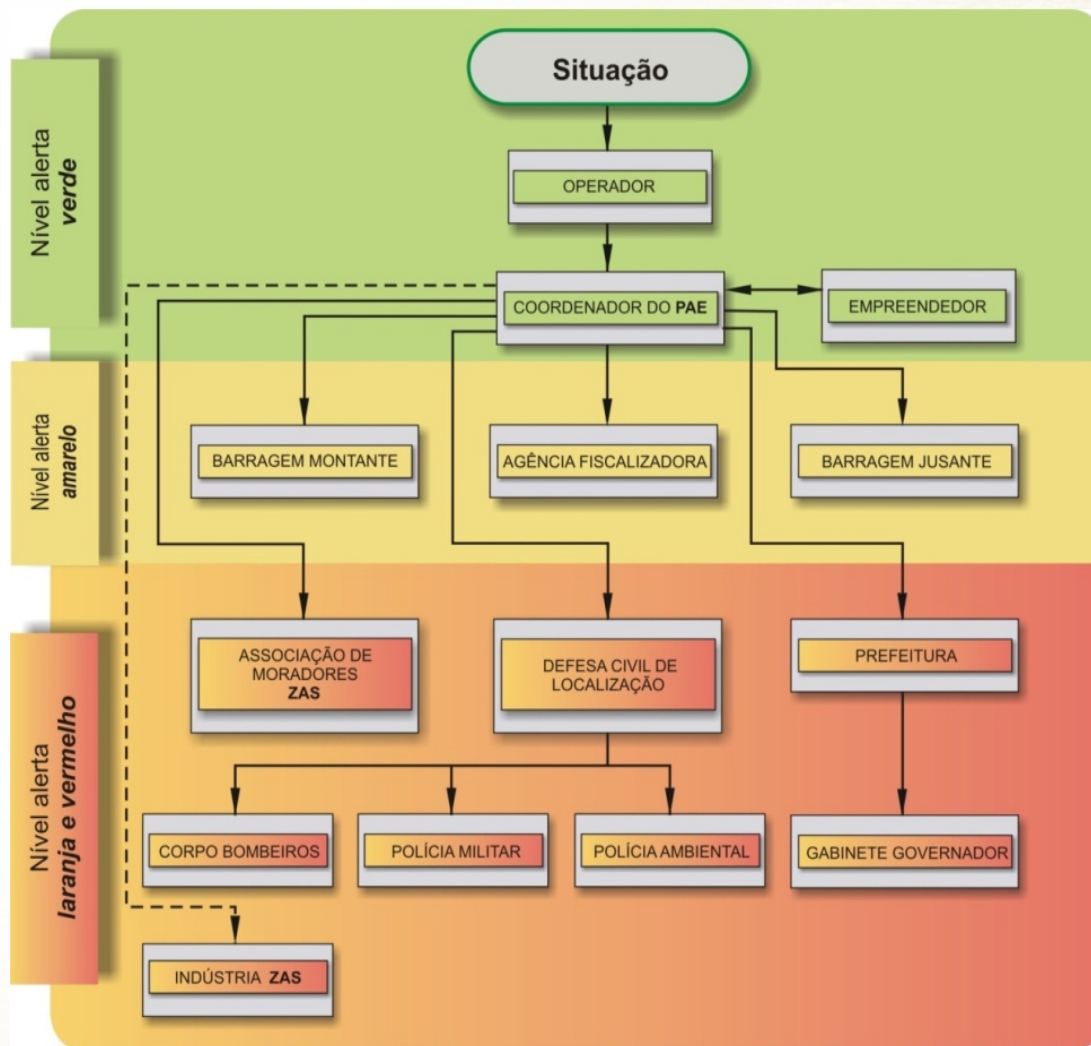
Situação	Possíveis causas de incidente/acidente	Possíveis medidas correctivas	Nível de alerta
Erosão superficial dos taludes da barragem	Erosão superficial	Reperfilamento e protecção dos taludes	<i>Azul</i>
Movimentos, erosões, fissuras ou fendas nos betões do descarregador de cheias ou da descarga de fundo	Modificação das condições de escoamento, retracção ou instabilidade estrutural	Colocação de testemunhos para observação e obras de reabilitação	
Instabilidade dos taludes da albufeira	Deslizamento com geração de ondas	Estabilização dos taludes	
Aumento do caudal nos drenos	Erosão interna e percolação através do corpo da barragem	Aumento da frequência de medição	<i>Amarelo</i>
Aumento da taxa dos assentamentos superficiais	Fracturação hidráulica	Análise dos deslocamentos em função do tempo	
Aumento da pressão intersticial nos piezómetros instalados na fundação	Erosão interna e fracturação hidráulica	Abaixamento do nível de água na albufeira, reforço da observação e tratamento da fundação	
Aumento da pressão intersticial para níveis constantes de água na albufeira	Erosão interna	Abaixamento do nível de água na albufeira, reforço da observação e drenagem	
Obstrução ou instabilidade da soleira em labirinto que controla o descarregador de cheias	Redução da capacidade de vazão	Limpeza ou estabilização da estrutura	



# PAE

## > 3. Fluxograma de notificação e procedimentos de comunicação

- > Recursos do empreendedor
- > Barragens a montante e jusante
- > Entidade fiscalizadora
- > População na ZAS
- > Sistema de Defesa Civil



# PAE

## > 4. Responsabilidades

### > A nível da barragem

- *Empreendedor*
- *Coordenador do PAE e encarregado*
- *Agências fiscalizadoras*

### > A nível do vale a jusante – sistema de defesa Civil

- > Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC)
- > Coordenadorias Estaduais de defesa Civil (CEDEC)
- > Centro Nacional de administração de desastres





# PAE

## > 5. Onda de ruptura

### > A simulação da cheia induzida permite:

- Mapear as áreas submersas pela cheia induzida – identificar pessoas e bens em “exposição”
- Estimar o grau de perigosidade da cheia induzida (velocidades do fluxo, alturas da onda) – conhecer o perigo
- Caracterizar o vale a jusante – conhecer a vulnerabilidade
- Definir estratégias de mitigação do risco – desenvolver Planos de Ação Emergenciais (PAE)

### > Desafios da modelação da cheia de ruptura:

- Que modelo de simulação usar?
- Que critérios de simulação ? (dimensão da brecha, tempos de rotura)

# Que modelos utilizar?

## > Modelos simplificados:

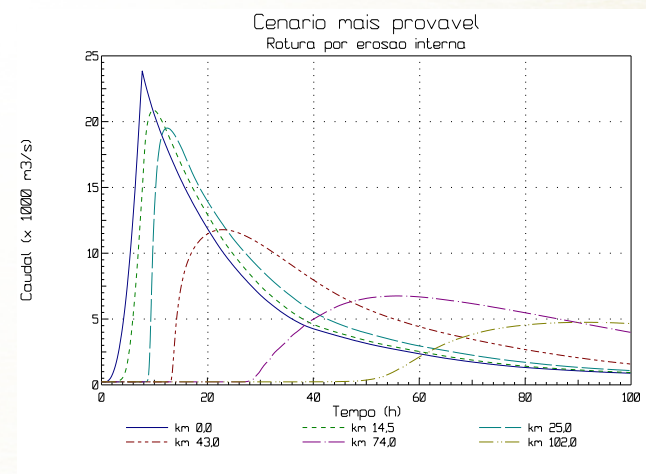
- *Equações empíricas que traduzem o amortecimento da cheia ao longo do rio*

## > Modelos hidrológicos:

- *modelo HEC-Ras, US Army Corps of Engineers (*  
<http://www.hec.usace.army.mil/>*)*

## > Modelos hidrodinâmicos baseados nas equações do escoamento (Saint-Venant):

- *1D, por exemplo o modelo DAMBRK, comercializado pela BOSS International*
- *2D, por exemplo, os modelos:*
  - *TELEMAC (EDF)*
  - *BIPLAN (LNEC/IST)*





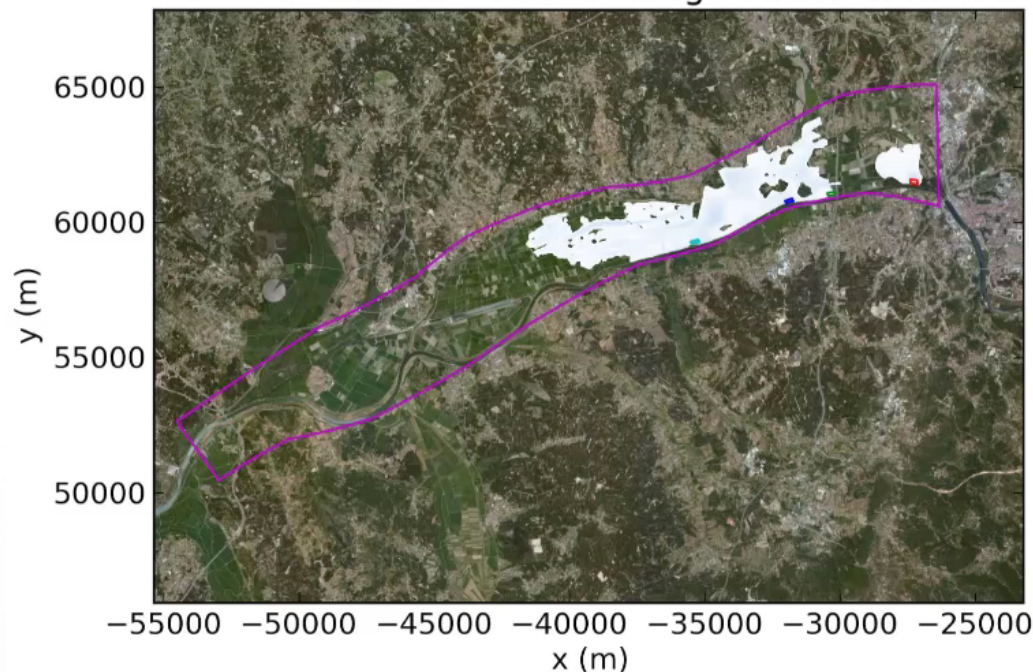
# PAE

## > 5. Onda de ruptura - Metodologias

- > O mapeamento deve ser feito com base em simulações da cheia induzida, reservando os métodos simplificados para pequenas barragens
- > Abordagem simplificada conduz a mapas de inundação mais abrangentes e conservadores e não caracteriza cabalmente a cheia:

- *tempo de chegada – ideia à defesa civil do tempo disponível e para definição da ZAS*
- *velocidade do fluxo – ideia do poder destrutivo da cheia*

M03a3 - case 10 - altura de água final - 30000 s



# PAE

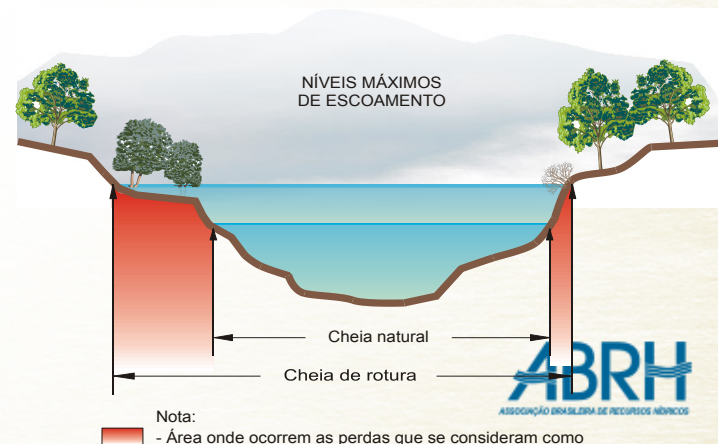
## > 5. Onda de ruptura - Metodologias

> *Os resultados dependem das hipóteses de simulação (cenários e parâmetros)*

> *Não se devem multiplicar o nº de cenários*

> *Usualmente são considerados 2 cenários:*

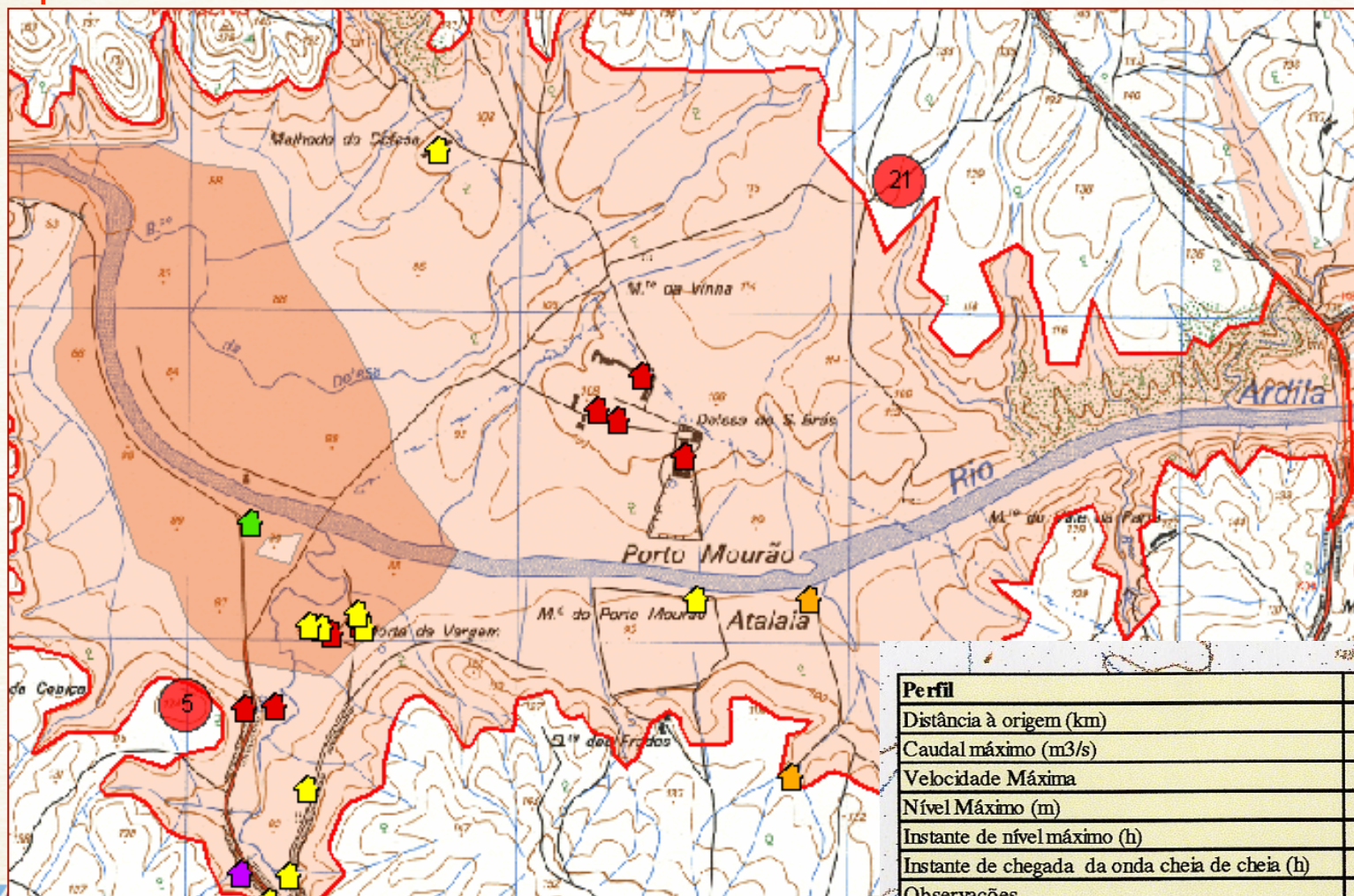
- Cenário de ruptura (2 escolas):
  - § mais gravoso (ruptura por galgamento)
  - § mais provável (ruptura no denominado cenário de ruptura em dia de sol)
- Cenário de acidente (vazão de projeto do vertedouro)



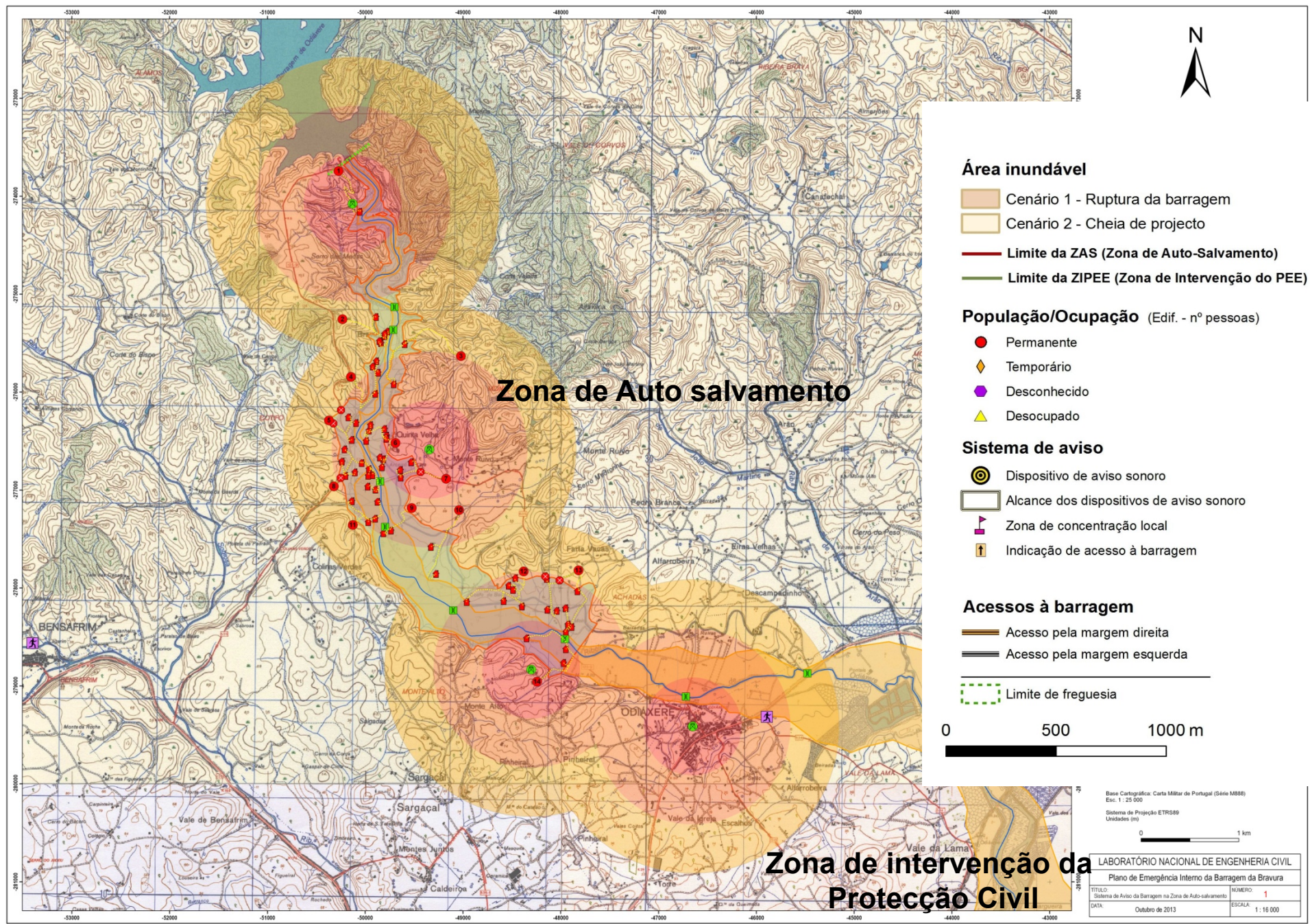


# O que se obtêm com a simulação da cheia induzida?

## > Mapeamento das áreas de risco







**Área inundável**

- Cenário 1 - Ruptura da barragem
- Cenário 2 - Cheia de projecto

- Limite da ZAS (Zona de Auto-Salvamento)
- Limite da ZIPEE (Zona de Intervenção do PEE)

**População/Ocupação** (Edif. - n.º pessoas)

- Permanente
- Temporário
- Desconhecido
- Desocupado

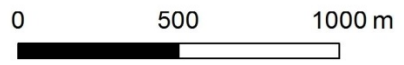
**Zona de Auto salvamento**

**Sistema de aviso**

- ⦿ Dispositivo de aviso sonoro
- Alcance dos dispositivos de aviso sonoro
- Zona de concentração local
- Indicação de acesso à barragem

**Acessos à barragem**

- Acesso pela margem direita
- Acesso pela margem esquerda
- Limite de freguesia



**Zona de intervenção da Protecção Civil**

Base Cartográfica: Carta Militar de Portugal (Géme M886)  
 Esc. 1 : 25 000  
 Sistema de Projecção: ETRS89  
 Unidades (m)

0 1 km

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL	
Plano de Emergência Interno da Barragem da Bravura	
TÍTULO	NUMERO
Sistema de Aviso da Barragem na Zona de Auto-salvamento	1
DATA	ESCALA
Outubro de 2013	1 : 16 000



# PAE simplificado

> Para as pequenas barragens de DPA alto



## PAE simplificado

> *Para as pequenas barragens de DPA alto, em situações que indiquem risco de ruptura, devem ser implementados procedimentos de emergência, nomeadamente :*

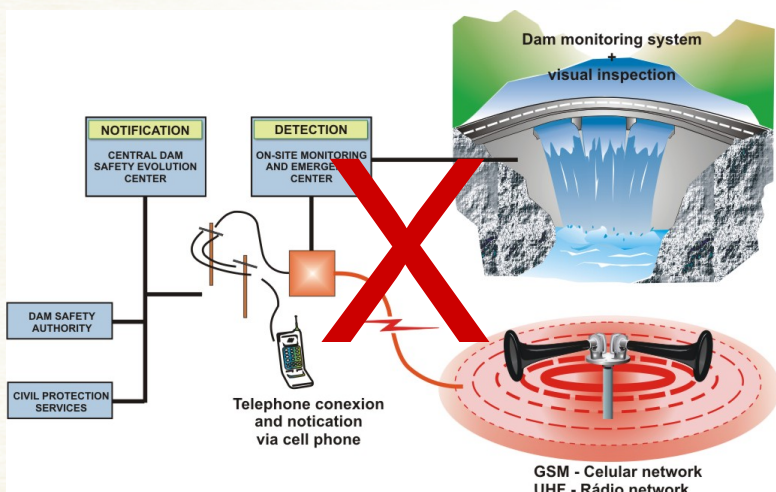
- *Alertados a Entidade Fiscalizadora e os Serviços de Defesa Civil no âmbito da respectiva jurisdição territorial*
- *Implementadas as medidas correctivas que se afigurem adequadas e procedimentos de emergência*
- *Avisados os residentes que possam ser afectados na proximidade da barragem*

> *É necessário conhecer o risco (mapeamento das áreas de inundação)*



# PAE simplificado

> Os procedimentos são tão importantes quanto os meios:



<b>EMPREENDEDOR:</b>	Nome:	
	Fone:	
	Celular:	
<b>COORDENADOR DO PAE:</b>	Nome:	
	Fone:	
	Celular:	
<b>OPERADOR:</b>	Nome:	
	Fone:	
	Celular:	
<b>AGÊNCIA FISCALIZADORA:</b>	Nome:	Nome do contato:
	Fone:	Fone:
	Celular:	Celular:
<b>BARRAGENS NA LINHA DE ÁGUA:</b>	Montante	Nome do contato:
		Fone:
		Celular:
		Nome do contato:
		Fone:
		Celular:
		Nome do contato:
		Fone:
		Celular:
		Nome do contato:
		Fone:
<b>AUTORIDADES, SISTEMA DE DEFESA CIVIL E AGENTES DE SEGURANÇA PÚBLICA:</b>	Centro Nacional de administração desastres:	Fone:
		Celular:
		Nome do contato:
	Corpo de bombeiros:	Fone:
		Celular:
		Nome do contato:
	Associação de Moradores:	Fone:
		Celular:
		Nome do contato:
<b>VALE A JUSANTE:</b>	Empresa/Indústria:	Fone:
		Celular:



## PAE simplificado

> *E a análise hidráulica da vazão máxima?.....Métodos simplificados*

> *Com base na capacidade, na altura e distância à barragem -> fórmulas empíricas -> extensão para jusante e vazão máxima na secção da barragem e à distância x da barragem*

$$Q_{MAX} = 0,607 (H_{Bar}^{1,24} V_{reser})^{0,295}$$

$$\boxed{A} \downarrow \boxed{A} = \boxed{A} \downarrow \boxed{A} \boxed{A} \boxed{A} \quad 10^{\uparrow -0,01243}$$

> *Conversão da vazão em alturas de água nas seções a jusante:*

$$h_{n+1} = \left( \frac{Q}{K_s \sqrt{i}} \right)^{0,6} \frac{(B + 2h_n \sqrt{1 + m^2})^{0,4}}{B + mh_n}$$

*i – declive do rio*

*m – inclinação do talude*

*B – largura do leito*

*h – altura de água*

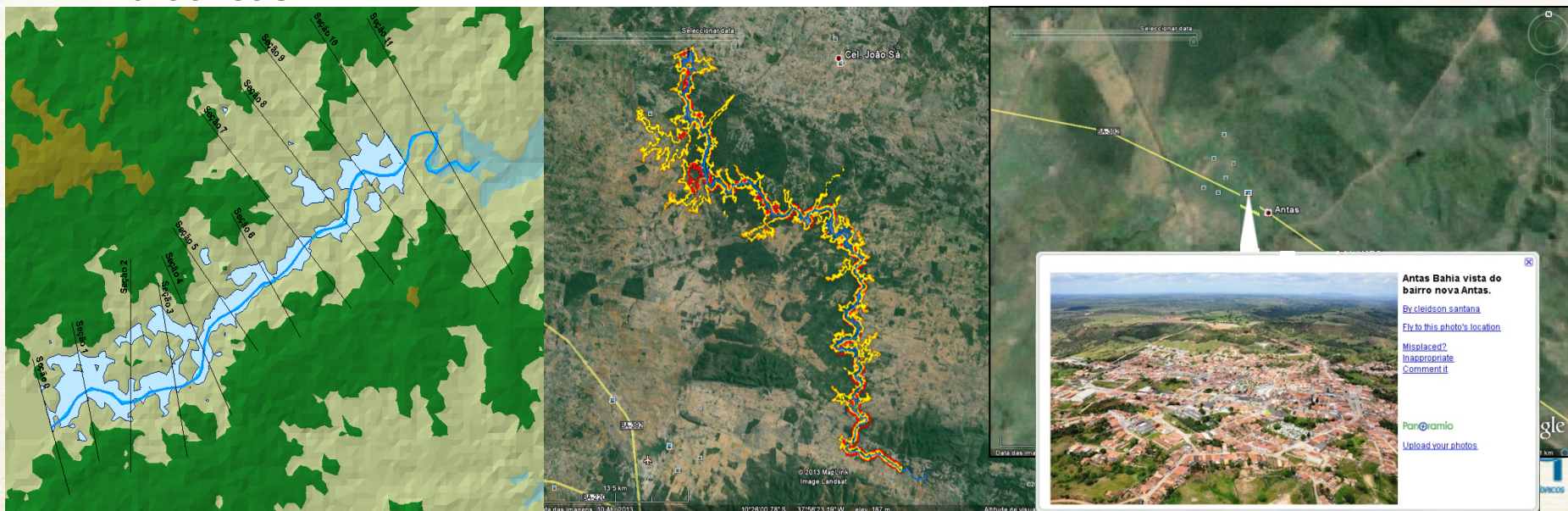
*informação sobre topografia e relevo do rio !!!*



# PAE simplificado

> *E quando não há mapas topográficos?*

- Utilização do SRTM para obter seções de cálculo ao longo do vale afetado e mapear áreas de risco
- Utilização das imagens google earth para “identificar” edificações (exportando a área de inundação para KMZ)
- Metodologia “conservadora” para ultrapassar “incertezas topográficas e hidráulicas”

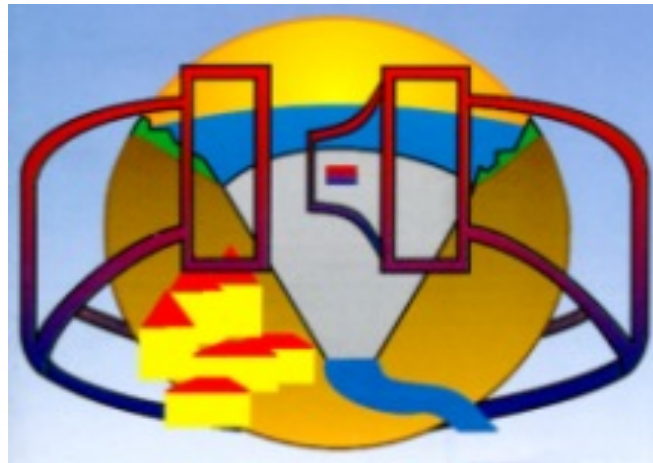


## PAE – Considerações finais

- > *O Brasil tem uma riqueza extraordinária traduzida pelo seu parque de barragens*
- > *Estão em processo de desenvolvimento, implantação e calibração um conjunto importante de instrumentos para conhecer a realidade dessas estruturas e aumentar a segurança das populações a jusante*
- > *Uma avaliação dos resultados poderá revelar eventuais dificuldades e resultar em propostas de melhoria do sistema, visando sobretudo facilitar a sua aplicação na realidade do país*
- > *Trata-se de um desafio ímpar que promove o diálogo entre empreendedores, fiscalizadores e comunidade técnica e científica nacional e fomenta com sucesso a cultura da segurança de barragens*



# *Planos de ação de emergência em barragens*



**Muito obrigada**