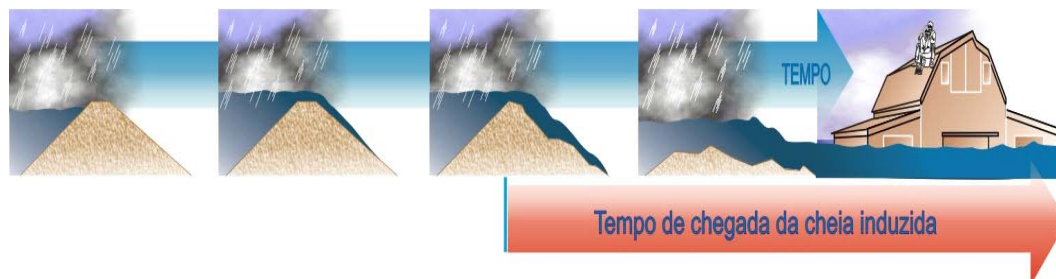


Gestão do risco nos vales a jusante de barragens: *da probabilidade de ocorrência da cheia induzida à vulnerabilidade do vale a jusante*



Maria Teresa Viseu, tviseu@lnec.pt

António Betâmio de Almeida, aba@civil.ist.utl.pt

LNEC, 24 de Maio de 2010

Conceito de risco nos vales a jusante de barragens

Enquadramento geral



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

$$R_{\text{vale}} = P(\text{evento}) \times P(\text{rotura/evento}) \times P(\text{danos/rotura}) \times \text{exposição}$$

Eventos (“Hazard”) -
Acção - Causas

Barragem - Resposta

Rotura – Efeito ou
consequência crítica

Cheia induzida – Mapa de
inundação - Exposição

Elementos em risco –
caracterização da ocupação no
vale a jusante

Magnitude da cheia induzida –
Perigosidade - Zonamento de
risco

“Resistência dos elementos
expostos” - Vulnerabilidade

Análise do risco nos vales a jusante de barragens (ArRIBAR)

Estimativa das consequências



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

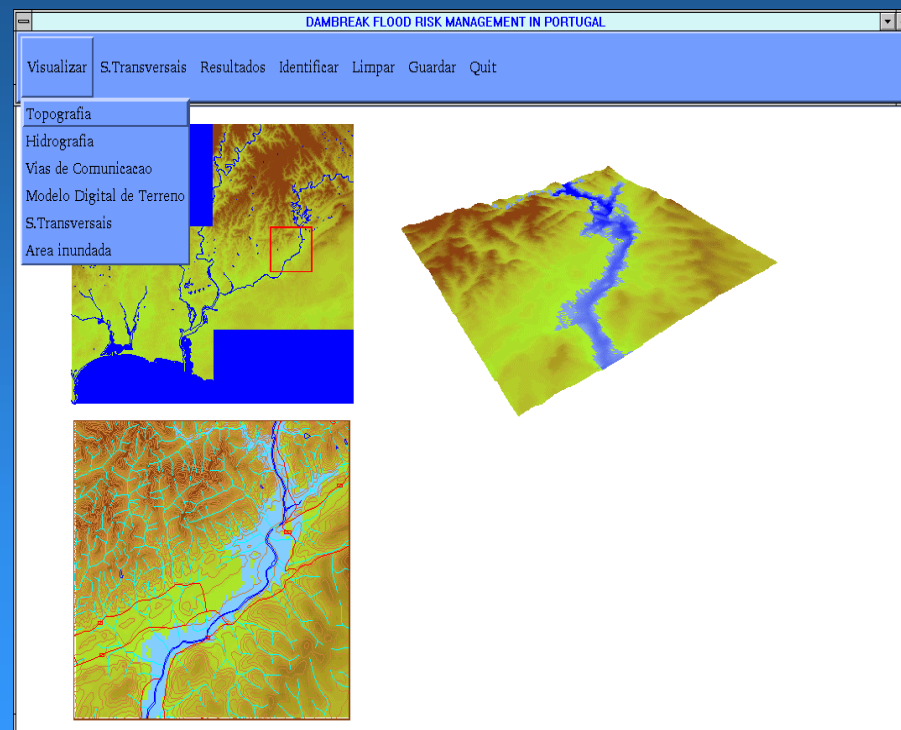
1. Simulação da cheia induzida

2. Zonamento de risco ou magnitude da cheia induzida (perigo)

3. Identificação dos elementos em risco

4. Vulnerabilidade dos elementos em risco

5. Estimativa das consequências



Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase I - Simulação da cheia induzida



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



$$q_s = \frac{8\sqrt{g}}{\gamma_w^{0,5} \gamma'} (\tau - \tau_c)^{1,5}$$

Processo de formação da brecha e
hidrograma efluente

$$\delta_t h + \delta_x (Uh) = 0$$

$$\delta_t (Uh) + \delta_x (U^2 h) + \delta_x \left(\frac{gh^2}{2} \right) = gh(i - J)$$

Processo de propagação da cheia

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase I - Simulação da cheia induzida

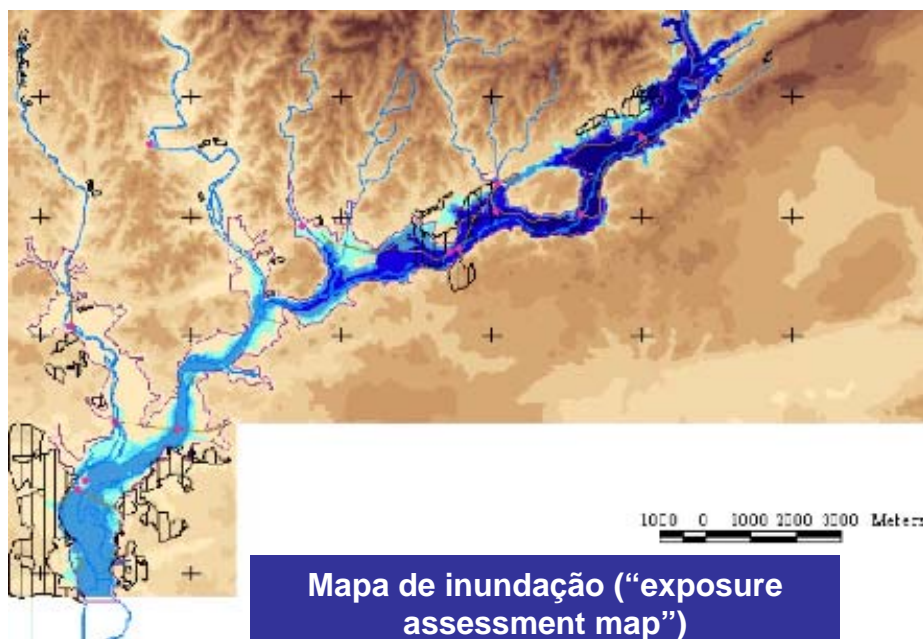


Análise do risco nos vales a jusante de barragens

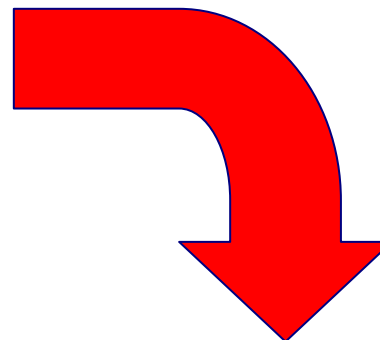
Fase II - Zonamento de “perigo” ou Magnitude da cheia induzida



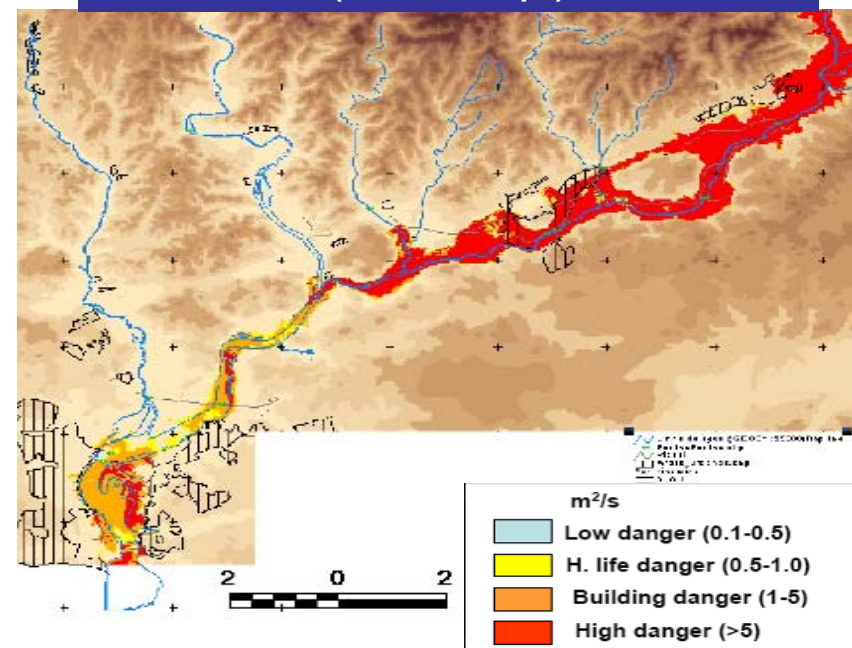
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Mapa de inundação (“exposure
assessment map”)



Mapa de zonamento de risco
 (“Hazard map”)



- m²/s**
- Low danger (0.1-0.5)
 - H. life danger (0.5-1.0)
 - Building danger (1-5)
 - High danger (>5)

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase II - Zonamento de “perigo” ou Magnitude da cheia induzida



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Magnitude da cheia (perigosidade) relaciona-se com a probabilidade P (perdas/rotura)

O zonamento toma em linha de conta o facto de o grau de destruição (ou de perigo) poder assumir valores muito díspares nas diversas zonas da área de inundação em função das características hidrodinâmicas da cheia

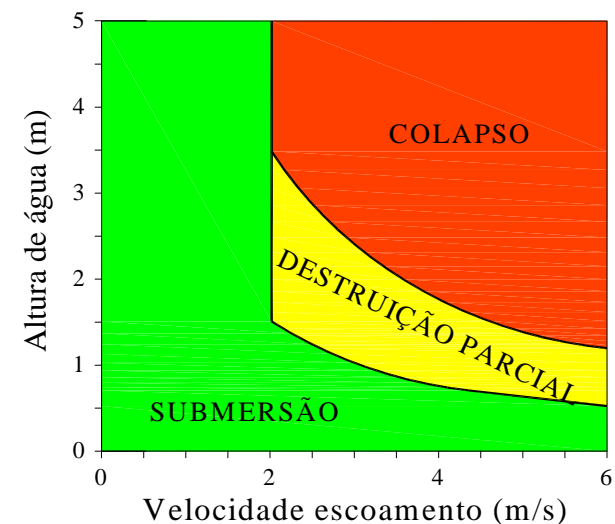
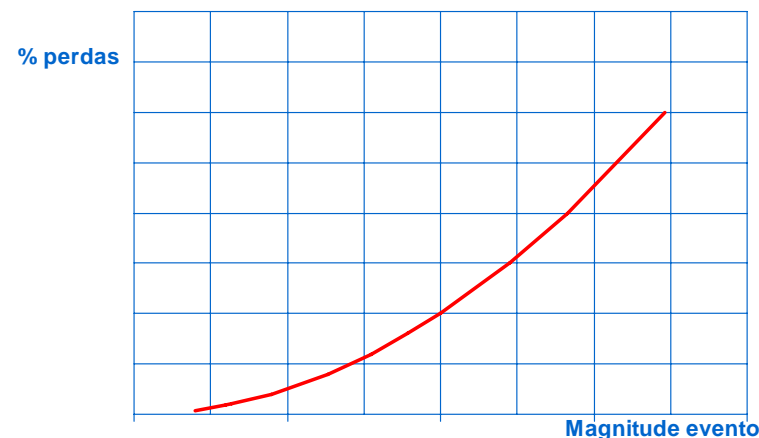
A perigosidade está associada a diversos factores (de dano), muitas vezes não necessariamente independentes:

Altura de água: acção - solicitação estática

Velocidade do escoamento: acção - solicitação hidrodinâmica e força erosiva (instabilidade, perda da fundação)

Duração da submersão: consequência - efeito na interrupção de comunicações (diferentes graus de tolerância na vegetação)

Tempo de chegada da frente da onda: consequência - tempo disponível para aviso



Funcões de “dano / perda”

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase II - Zonamento de “perigo” ou Magnitude da cheia induzida



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

O tempo de chegada da cheia induzida
condiciona o tempo de aviso às
populações

Perigosidade com base no tempo de
chegada da cheia - t_{cheg}

Zona de Auto-Salvamento (ZAS) -
RSB,2007

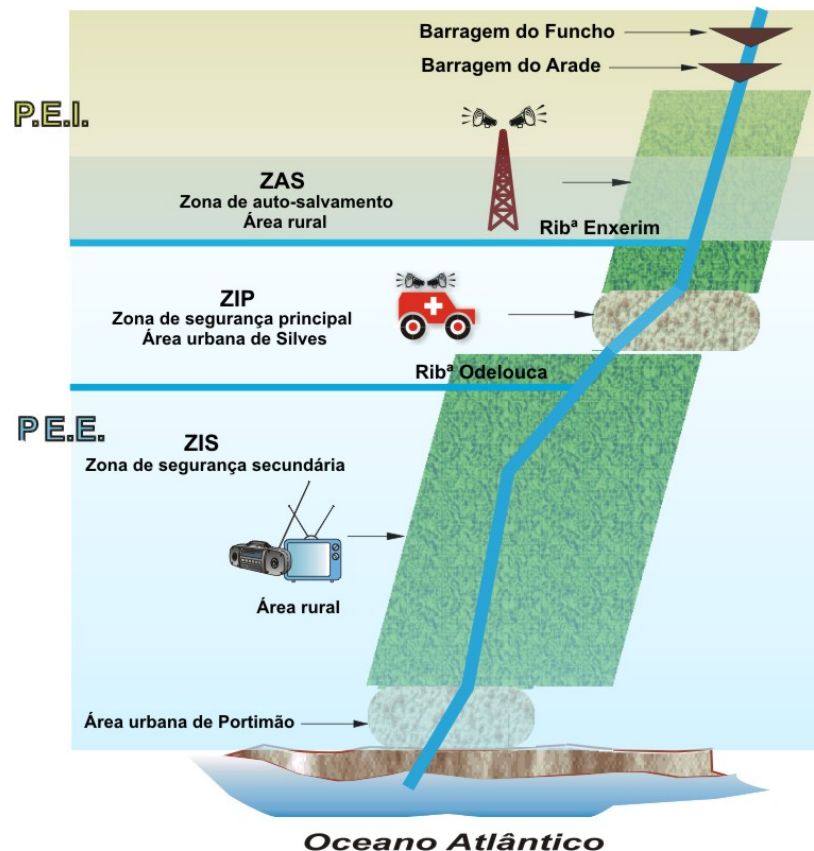
$T_{\text{cheg}} < 30$ minutos

Zona de Intervenção Principal (ZIP)

$30 \text{ min} < T_{\text{cheg}} < 120$ minutos

Zona de Intervenção secundária (ZIS)

$T_{\text{cheg}} > 120$ minutos



Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase III - Identificação dos elementos em risco (EXPOSIÇÃO)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

POPULAÇÃO:

localidades (IGEOE. Carta Militar 1: 25000 + PDM)

população – (INE)

SÓCIO-ECONOMIA

Indústrias – “instalações de produção de subst.perigosas”
(PDM, CM, GPS)

agricultura, infra-estruturas agrícolas

equipamento urbano (de proteção civil, sociais e colectivos, zonas públicas)

INFRA-ESTRUTURAS

rede viária e ferroviária – (IGEOE)

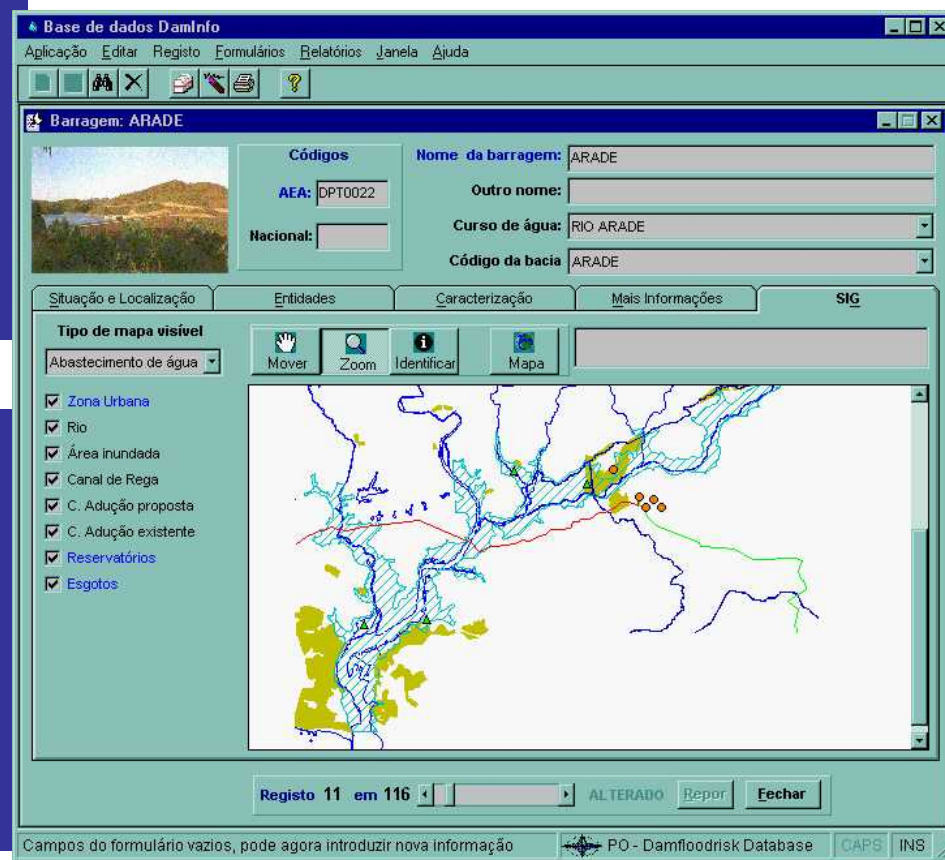
sistema de comunicação – rede fixa, rede móvel
(ICP+CM+Telecom)

rede de distribuição de energia eléctrica (EDP+REN+CM)

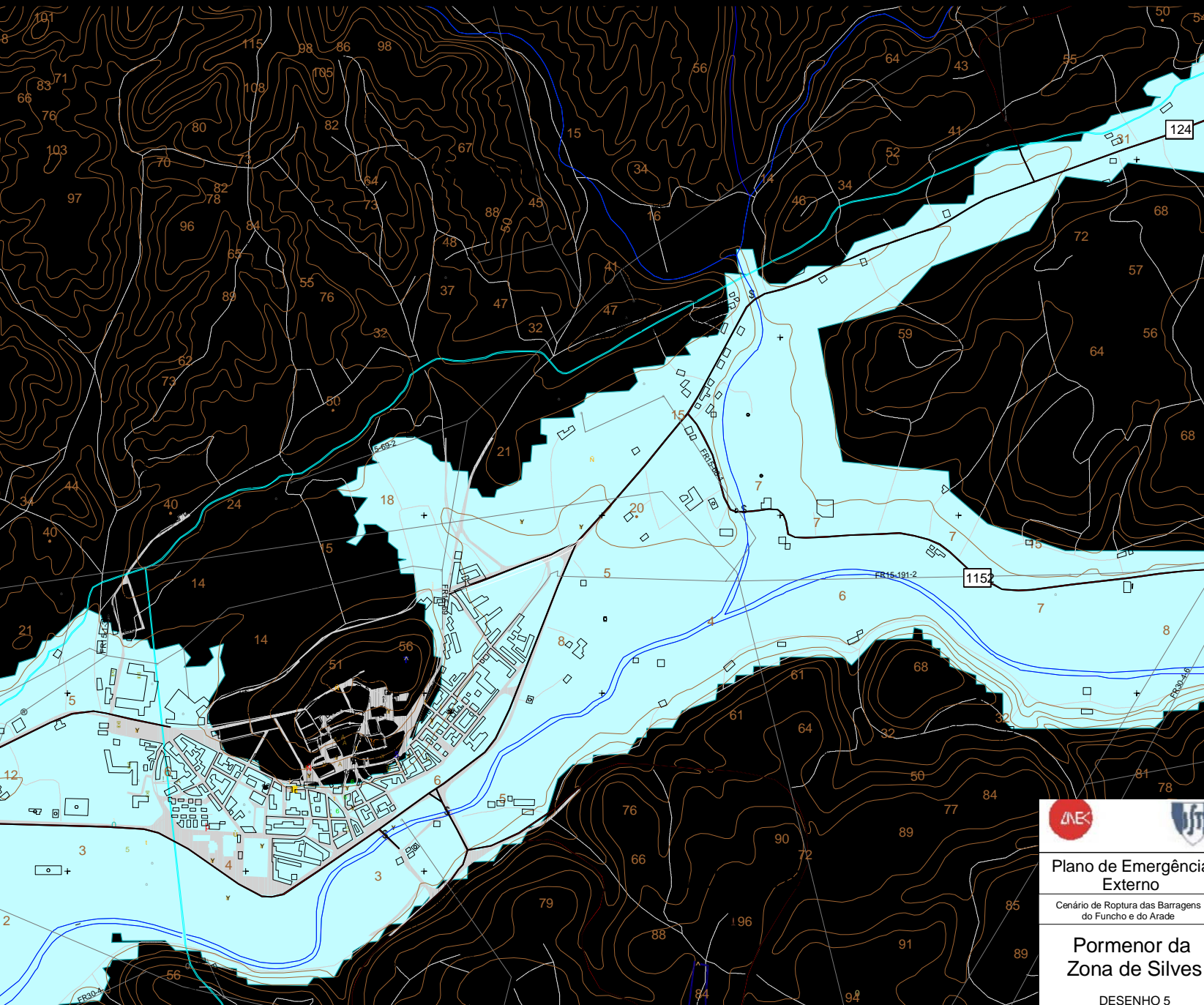
sistemas de adução – captações, reservatórios, sistemas
elevatórios, adutores e redes de abastecimento, rede de
drenagem de águas residuais, sistema de tratamento (SMAS
+ CM)

AMBIENTE: “Bens ambientais de grande valor...” – ICN

PATRIMÓNIO: Imóveis classificados – CM, IPAR



Fotografia aérea actualizada + trabalho de campo



- Antena
- Central Telefónica
- Postos de Transformação

Linhas de Alta Tensão

- 15
- 30
- 60
- 150
- Conduto
- Edifícios
- Vias
- Rhpline.shp
- albufeiras
- Pontes
- Captação
- ETA
- Estação elevatória
- Estação elevatória
- Estação elevatória
- Reservatório de Medeiros
- Reservatório do Castelo
- Central eléctrica

Equipamento e Edifícios Notáveis

- Banco
- Biblioteca
- Bombeiros
- CTT
- Centro Cultural
- Centro de Saúde
- Cinema
- Cruz Vermelha Portuguesa
- Câmara Municipal
- Depósito de Água
- Desporto
- EDP
- Edifício Administrativo
- Escola
- Estabelecimento Prisional
- Farmácia
- GNR/PSP
- Igreja
- Lar de 3ª Idade
- Mercado
- Museu
- Outros Equipamentos
- Serviços Municipalizados
- TLP



Plano de Emergência Externo

Cenário de Ruptura das Barragens do Funcho e do Arade

Pormenor da Zona de Silves

DESENHO 5

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase IV - Vulnerabilidade dos elementos em risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Vulnerabilidade do vale também se relaciona com a probabilidade $P(\text{perdas/rotura})$

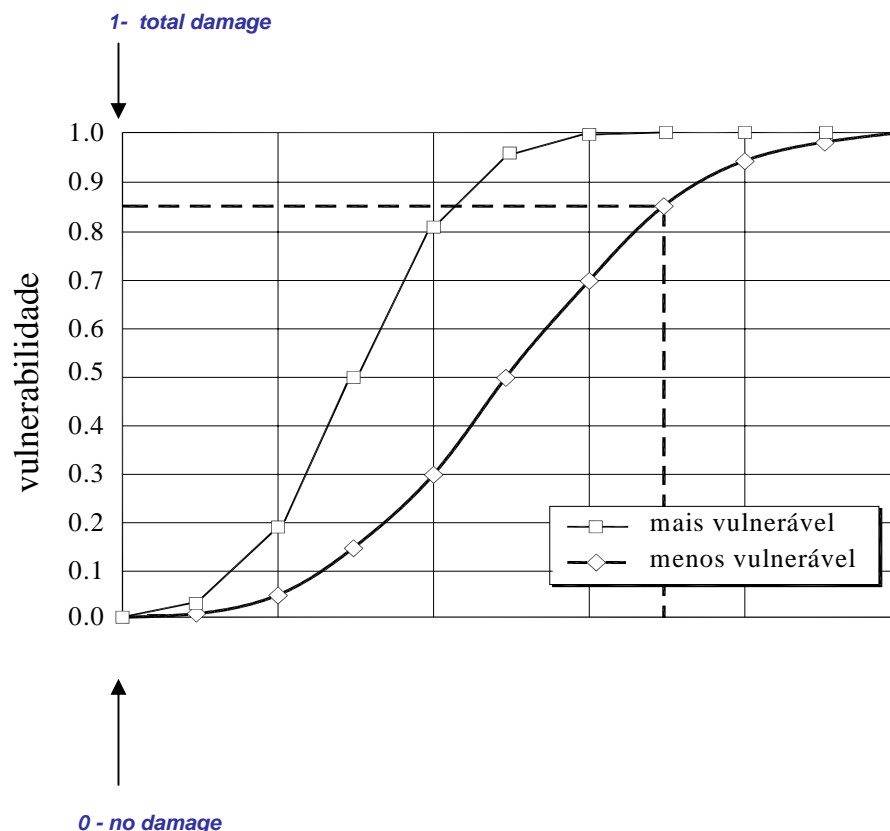
Susceptibilidade à “destruição” das estruturas e capacidade de sobrevivência dos indivíduos

EDIFÍCIOS: resistência e características dos materiais quando imersos

VIAS DE COMUNICAÇÃO: principal causa de dano é a erosão; elementos mais vulneráveis são as pontes e troços de estradas paralelos aos cursos do rio; danos podem comprometer a resposta durante a emergência

INFRA-ESTRUTURAS (abastecimento de água): danos em tomadas de água, estações de bombagens; efeitos secundários: contaminação

POPULAÇÃO: características sócio-económicas (grupos mais vulneráveis que devem ser identificados para efeitos de **planeamento de emergência**)



Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase IV - Vulnerabilidade dos elementos em risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Índice de vulnerabilidade

Por exemplo I_{edi} - Resistência do edificado construído (potencial para servir como “abrigo” para indivíduos que se encontram na área de risco durante a ocorrência da cheia)

Indicadores: material dos elementos resistentes, nº de pisos, por ex.



(normalização por classes e
agregação de indicadores)

$$I_{vu\ln} = \frac{100}{I_{\max}} (K_4 I_{edi} + K_5 I_{soc} + K_6 I_{eco2} + K_7 I_{prep})$$

Physical household vulnerability			
Indicator	Class	Indicator	Class
Percentage of buildings where concrete is the material of the resistant elements		Percentage of buildings with more than one floor	
concrete buildings > 80%	0	buildings + 1 floor > 80%	0
60% < concrete buildings ≤ 80%	1	60% < buildings + 1 floor ≤ 80%	1
40% < concrete buildings ≤ 60%	2	40% < buildings + 1 floor ≤ 60%	2
20% < concrete buildings ≤ 40%	3	20% < buildings + 1 floor ≤ 40%	3
concrete buildings ≤ 20%	4	buildings + 1 floor ≤ 20%	4

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase IV - Vulnerabilidade dos elementos em risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Quadro síntese da caracterização sócio-económica da população					
Variáveis	Indicadores	ZAS	ZIP	ZIS	Vale
Número	PAR	885	6 973	2 544	10 402
Estrutura etária	% indivíduos < 15 anos	11,9	18,9	19,8	18,5
	% indivíduos 15-64 anos	63,5	67,0	67,5	66,8
	% indivíduos > 65 anos	24,6	14,1	12,7	14,7
Escolaridade	% analfabetos	30,6	16,75	15,2	17,58
Actividade	% desempregados	7,8	5,4	6,4	6,5
Quadro síntese da caracterização do edificado					
Variáveis	Indicadores	ZAS	ZIP	ZIS	Vale
Volume		393	2231	626	3 250
Nº de pisos	% edifícios com 1 ou 2 pisos	99,75	95,04	88,8	94,41
Estrutura	% edifícios com elementos resistentes com betão	41,615	50,246	35,965	46,46
Quadro síntese de outros indicadores					
	Indicadores	ZAS	ZIP	ZIS	Vale
	Hospital/centro de saúde	Não	Sim	Sim	Sim
	Cooperação de bombeiros	Não	Sim	Sim	Sim
	Forças de segurança	Não	Sim	Sim	Sim

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase IV - Vulnerabilidade dos elementos em risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Indicador	Dados	Índice Ou sub-índice	Classes
% de edifícios com suporte em betão	46,46	I_{resist}	2
% de edifícios com 1-2 pisos	94,41	I_{npis}	4
% indivíduos com menos de 15 anos % indivíduos com mais de 65 anos	18,52 ^[1] 14,65	I_{mob}	2
Taxa de analfabetismo	17,58	I_{analf}	3
Taxa de desemprego no distrito	6,5	I_{desemp}	2
Existência de infra-estruturas de protecção civil e de equipamento social médico	Sim	I_{equi}	0
Preparação	Sim	I_{prep}	2

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase IV - Vulnerabilidade dos elementos em risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Vulnerabilidade			Indicador	Nome	Classe	Peso	
Meio físico			Elemento resistente	I_{resist}	2	K	0,5
I_{edi}	3	K_4	Número de pisos	I_{npis}	4	K	0,5
Social			Percentagem de crianças e de idosos	I_{mob}	2	K	0,5
I_{soc}	1	K_5	Número de infra-estruturas de protecção civil e de equipamentos sociais médicos	I_{equi}	0	K	0,5
Económica			Taxa de analfabetismo	I_{analf}	3	K	0,5
I_{eco2}	2,5	K_6	Taxa de desemprego	I_{desemp}	2	K	0,5
Preparação							
I_{prep}	2	K_7					
Índice de vulnerabilidade						I_{vuln}	56,3%

	Significado	Medidas
0-20%	Vulnerabilidade não importante	Não é importante o desenvolvimento de práticas de planeamento de emergência
20-40%	Vulnerabilidade de importância reduzida	O desenvolvimento de práticas de planeamento de emergência tem importância reduzida
40-60%	Vulnerabilidade de importância média	O desenvolvimento de práticas de planeamento de emergência tem importância média
60-80%	Vulnerabilidade importante	É importante o desenvolvimento de práticas de planeamento de emergência
80- 100%	Vulnerabilidade muito importante	É muito importante o desenvolvimento de práticas de planeamento de emergência

Análise do risco nos vales a jusante de barragens

Fase V - Estimativa das consequências



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Caracterização do vale a jusante

2. Vulnerabilidade do vale



Desastres de igual
magnitude com
consequências diversas

Vulnerabilidade	Muito importante	4			
	Importante	3			
	Média	2			
	Reduzida	1			
	Negligenciável	0			
Modelação da cheia induzida			ZIS	ZIP	ZAS
			Zonamento de risco Magnitude		



Risco elevado
Risco médio
Risco baixo

1. Perigosidade da cheia

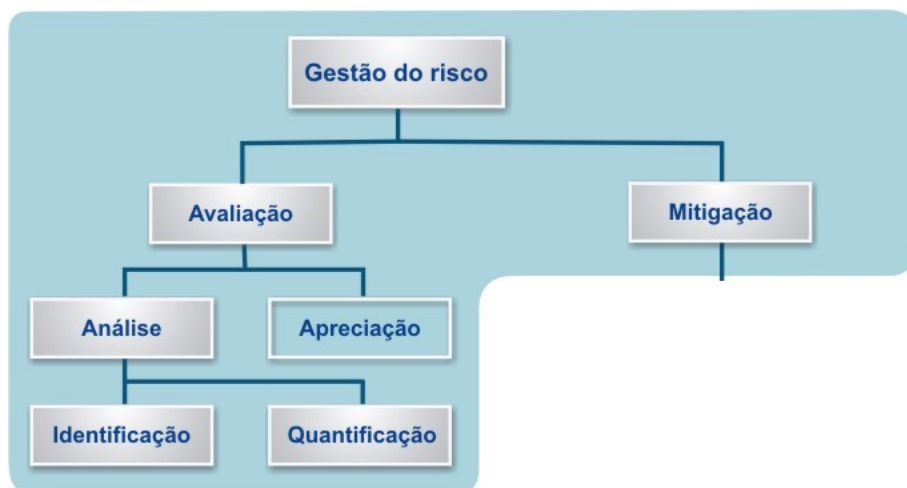


Metodologias de mitigação do risco

Gestão do risco vs gestão da emergência



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Metodologias de mitigação do risco

Planeamento de emergência



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



(Adaptado de USBR, 1998)

Filosofia: “avoid becoming a victim....”

PAR (pessoas em risco) vs **NEV** (número expectável de vítimas)

Metodologias de mitigação do risco

Aviso à população

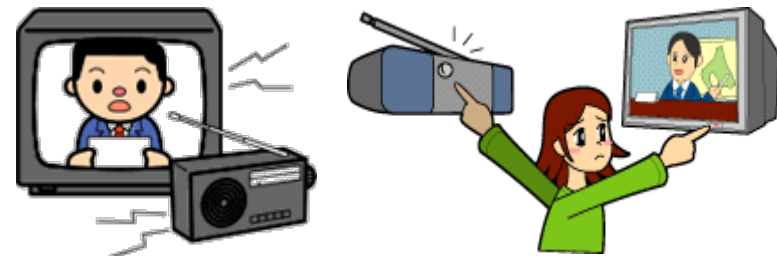


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Os sistemas de aviso (EWS - early warning systems) podem ser agrupados por 3 tipos:

- ✓ **Avisos Públicos** através de sinais sonoros (sirenes fixas e megafones em viaturas móveis)
- ✓ **Aviso pessoal:** contactos directos através dos telefones; uso de SMS para todos os utilizadores na área de inundação; aviso “porta a porta”
- ✓ **Aviso “misto” via meios de comunicação social:** mensagens ao público através de boletins de rádio e televisão

Nenhum sistema de aviso pode por si só e completamente resolver as necessidades de aviso. Cada sistema tem vantagens e fraquezas

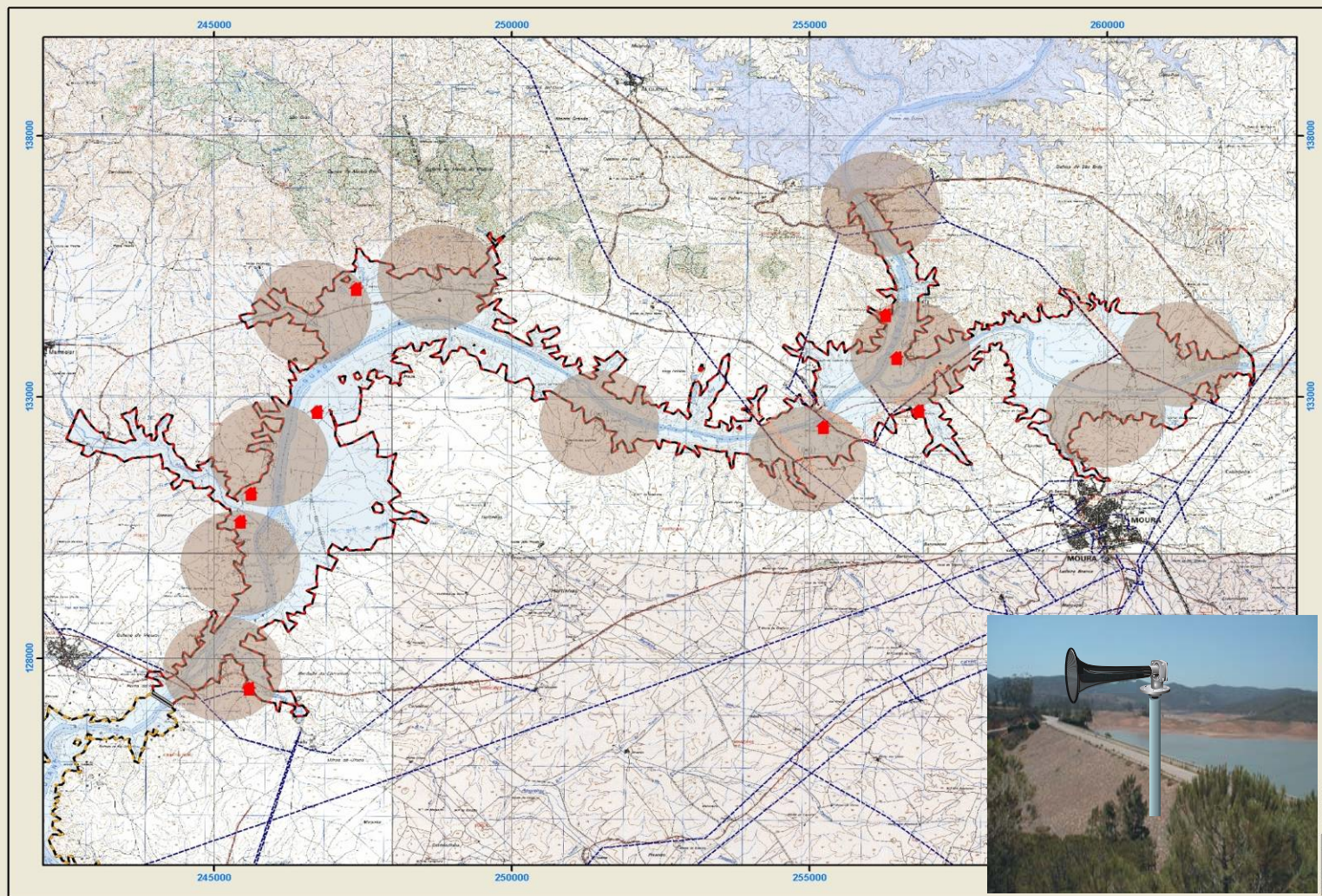


Metodologias de mitigação do risco

Como avisar? ... Exemplo da barragem de Alqueva



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Definição de :

1. Estradas e caminhos de evacuação
2. Vias a fechar ao trânsito
3. Refúgios, infra-estruturas e espaços para alojamento temporário de desalojados

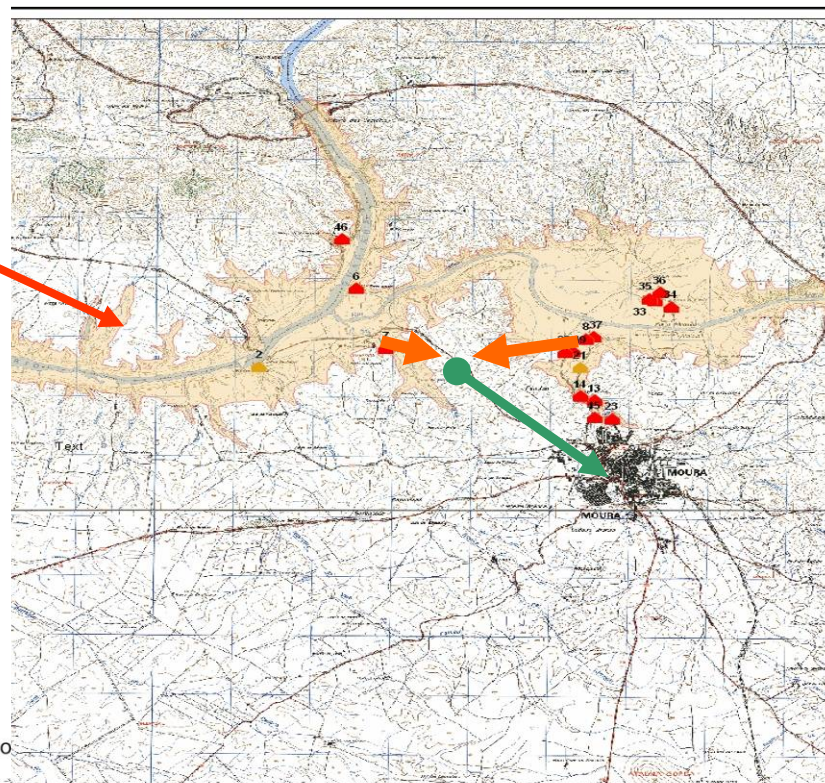
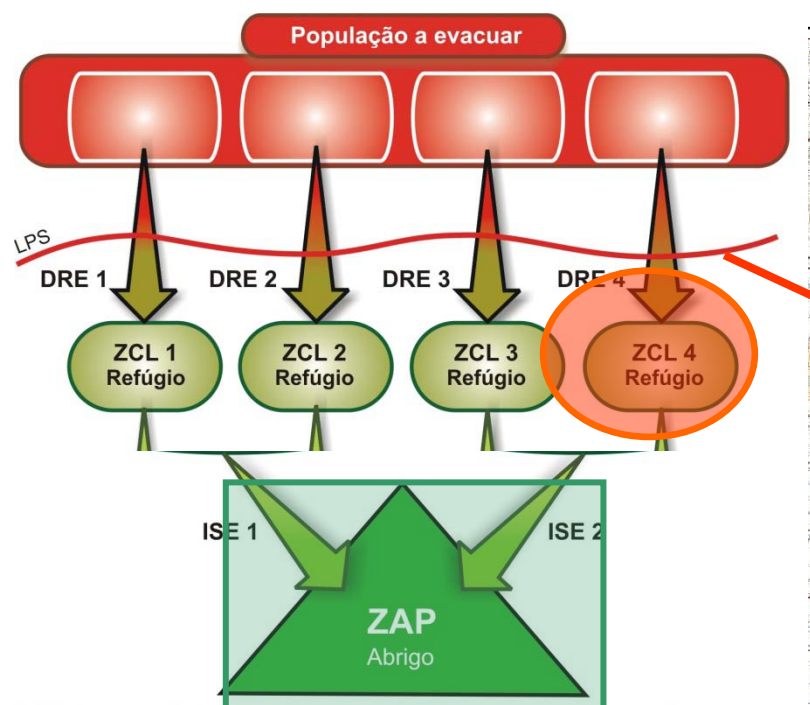


Metodologias de mitigação do risco

O que se passa após o aviso? ...Evacuação da população por Auto-salvamento na ZAS
Exemplo da barragem de Alqueva



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



LPS - Linha de Protecção e Segurança DRE - Direcção de Evacuação
ZCL - Zona de Concentração Local IPE - Itinerário Principal de Evacuação
ZRI - Zona de Reunião e Irradiação ISE - Itinerário Secundário de Evacuação
ZAP - Zona de Acolhimento Primário

Edifícios de ocupação:
● Primária
● Secundária
● Terciária
■ ZAS - Zona de Arribamento

Desenho 1 - Edificações na ZAS com população a avisar

0 1 2 Quilómetros

Gestão do risco nos vales a jusante de barragens



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

4 Observações importantes

- ✓ a probabilidade de rotura de barragens é muito reduzida

$$P_{\text{Rotura}} \approx 10^{-6}$$



- ✓ a protecção das populações deve ser o menos complexa possível. Na cidade suíça de Zurique, por exemplo, o elemento essencial do plano de evacuação é de um desdobrável contendo zonas de segurança e seus acessos. Fora da zona de risco maior, a medida prática de protecção consiste em deslocar as pessoas para andares superiores ao 3º piso dos edifícios



Transitar de imediato para
cotas elevadas

Gestão do risco nos vales a jusante de barragens

4 Observações importantes



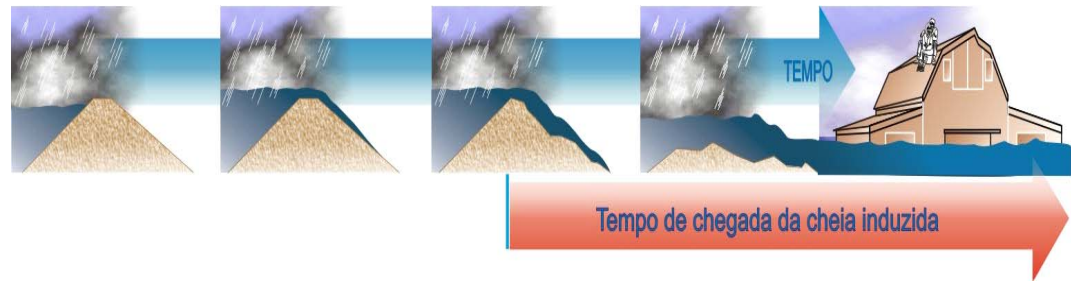
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- ✓ o número de vítimas mortais é influenciado pelo número de pessoas a residir em áreas de risco e muito essencialmente pela existência, ou não, de um sistema de aviso e alerta
- ✓ de uma forma geral a reacção da população à implementação de medidas de protecção é positiva, mostrando que acreditam na afirmação de que a probabilidade de rotura das barragens é muito pequena



Barragem de Zeyzoum, Síria

Junho de 2002



Maria Teresa Viseu, tviseu@lnec.pt

António Betâmio de Almeida, aba@civil.ist.utl.pt