



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Risco a jusante de barragens: da perceção pública à gestão de emergência

**António Tavares de Castro
Carlos Oliveira Costa
Delta Silva
João Marcelino
João Palma
João Palha Fernandes
Sílvia Amaral
Teresa Viseu**

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

© LNEC 2006

Risco a jusante de barragens

Sistema integrado de planeamento de emergência



Estudos de percepção do risco

Desenvolvimento de estratégias de comunicação ao público



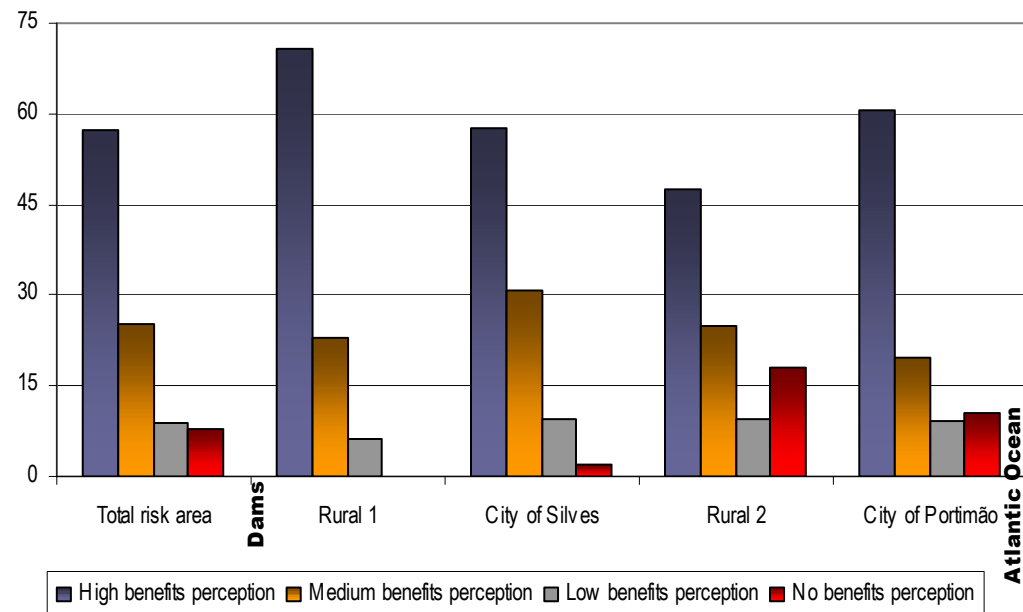
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> **Método:**

- > *Inquéritos sistemáticos a indivíduos no vale a jusante das barragens do Funcho e do Arade*

> **Conclusões:**

- > *As barragens são consideradas estruturas fiáveis e de elevada segurança (risco de rotura classificado como de baixa probabilidade de ocorrência)*
- > *Fogos florestais, sismos e cheias naturais são percecionados como eventos mais prováveis*
- > *Elevada percepção dos benefícios das barragens*



Estudos de percepção do risco

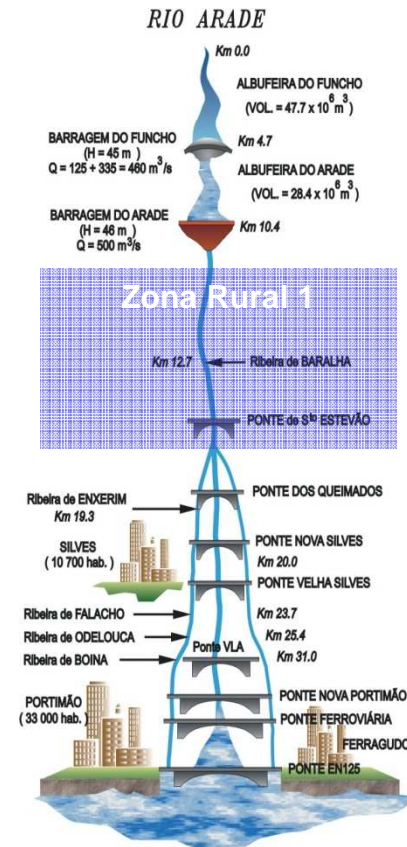
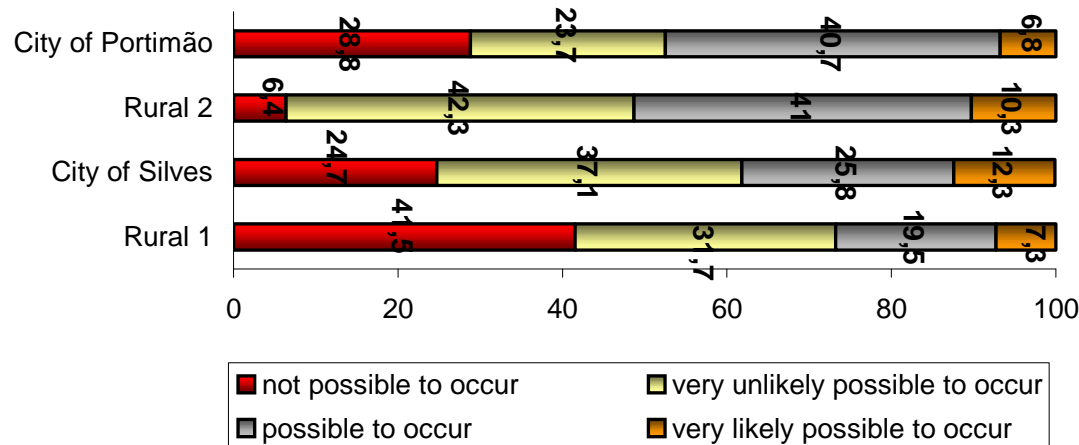
Desenvolvimento de estratégias de comunicação ao público



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

> Conclusões:

- > Residentes nas áreas mais próximas das barragens tem tendência a desqualificar o risco (41,5% os indivíduos na ZAS afirmaram que seria impossível ocorrer a rotura)
- > Estratégia de adaptação ao risco mas...
- > Número apreciável de indivíduos que "negam" o risco (pode gerar desatenção em caso de emergência)



Estudos de percepção do risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Desenvolvimento de estratégias de comunicação ao público

- > Quais os fundamentos de tal percepção de segurança?*
- > Idade da barragem [por ex., o Arade com mais de 60 anos de exploração já “provou” ser segura; este facto associado ao bom desempenho tende a induzir elevados níveis de confiança]*
- > Tipo de barragem: barragens de terra são consideradas mais seguras do que barragens de betão [por ex., percebe-se que se o Funcho romper, o Arade a jusante, conteria a cheia]*
- > Confiança na engenharia de barragens [a ideia de que as barragens estão sujeitas a adequada manutenção favorece o sentimento de segurança]*
- > A reação da população à implementação de medidas de proteção é positiva [mostrando que acreditam na eficácia das medidas de planeamento de emergência]*

Sistema integrado DamSafe

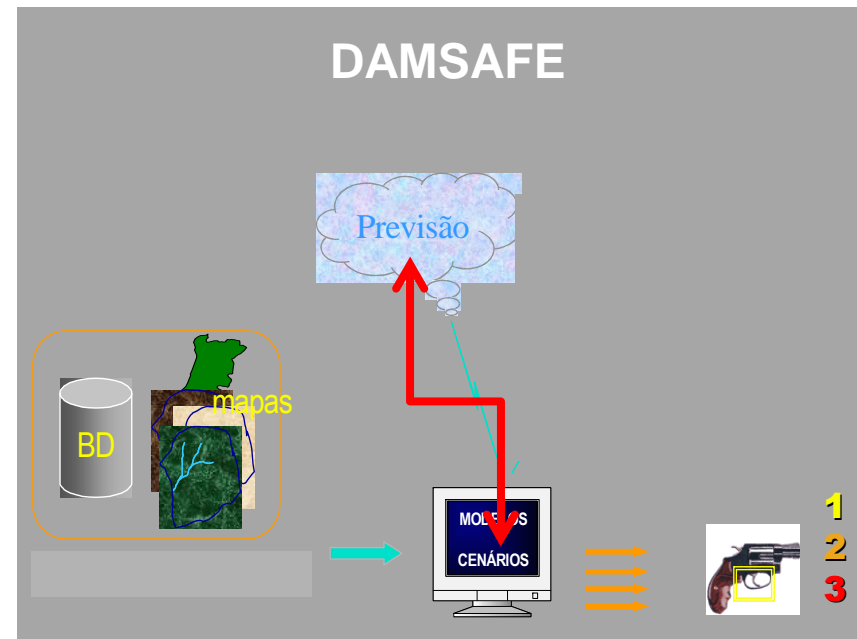
Apoio à emergência em rotura de barragens



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> **Objetivo**

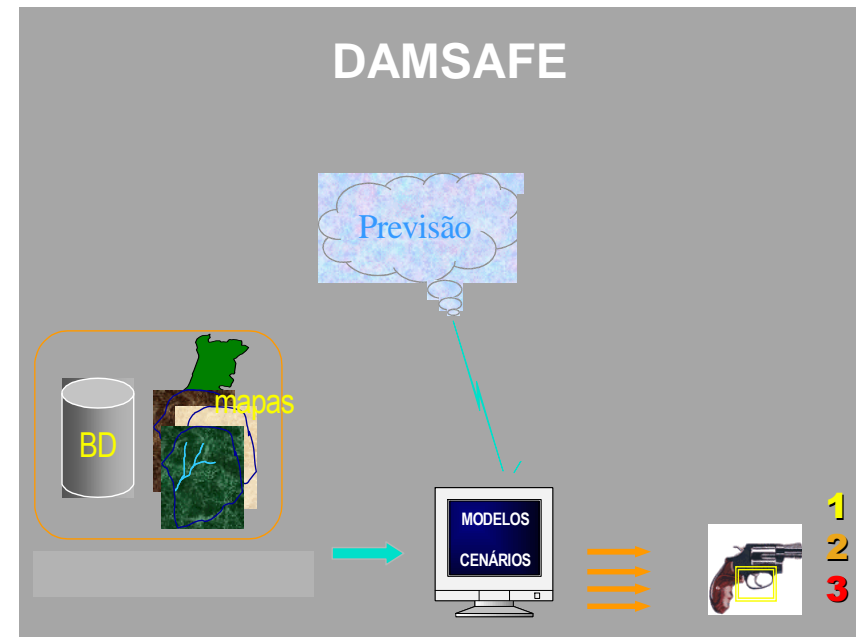
- > Tornar mais eficiente a gestão de emergência em barragens, beneficiando:
 - > do uso de informação em tempo real (dados medidos por sensores do sistema de observação) e a sua integração com ferramentas de diagnóstico do estado da barragem
 - > do uso de dados modelados em tempo real ******(por ex. previsão de áreas de inundação associadas à cheia de rotura)
 - > da realização de diagnósticos do nível de alerta na barragem e no vale a jusante complementada com o uso de sistemas de aviso e alerta



Sistema integrado DamSafe

Apoio à emergência em rotura de barragens

- > **Método:**
- > O sistema integrado DamSafe está dividido em 4 módulos:
 - > **Módulo 1 – Vale a jusante** (SIG e base de dados ocupação território)
 - > **Módulo 2 – Barragem** (Redes neuronais do comportamento da barragem associadas a sistemas de recolha automática de dados)
 - > **Módulo 3 – Cheia Induzida** (Modelos de simulação 1D e 2D e desenvolvimento de interfaces)
 - > **Módulo 4 – Sistema de Aviso e Alerta (SAA)** e plataforma PEI (Plano de Emergência Interno)



Módulo 1 – Vale a jusante

Caracterização sócio-económica

> **Objectivos**

- > *Caracterização da ocupação humana nas zonas inundáveis->Quem está em risco?*
- > *Estudo da perceção pública do risco (e benefícios)*

> **Método**

- > *Cruzamento dos mapas de inundação com mapas de ocupação do território:*
 - > *Cartas militares à escala 1:25000*
 - > *Imagens do Google Earth!*
 - > *Dados estatísticos do INE*
 - > *Ortofotomapas à escala 1:10 000*
 - > *Trabalho de campo (participação dos serviços municipais de proteção civil)*
 - > *Inquéritos*

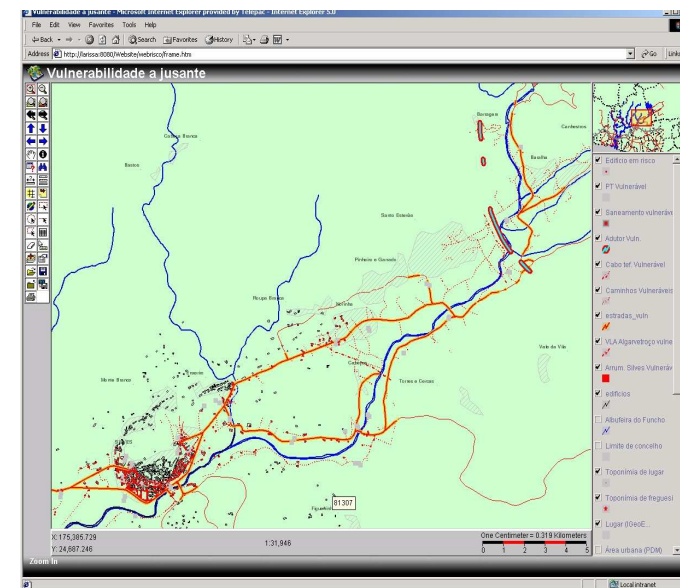
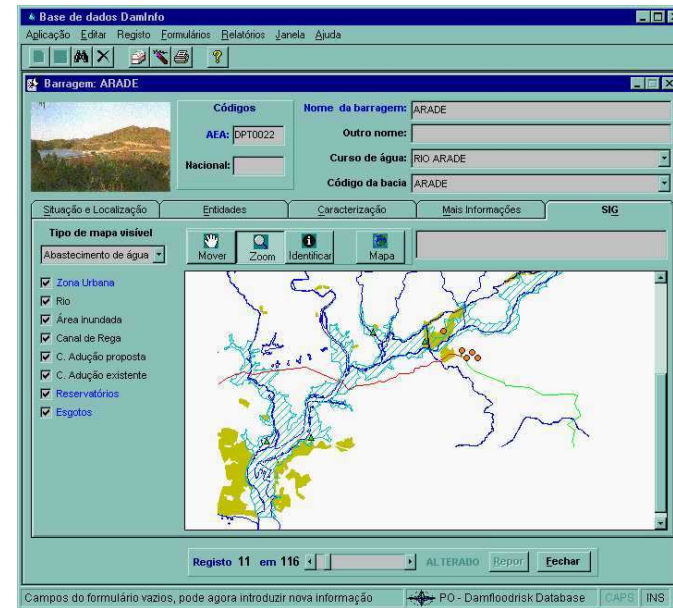


Módulo 1 – Vale a jusante

Desenvolvimento de bases de dados

> Resultados

- > Base de dados - integração eficaz de dados alfanuméricos e cartografia
- > SIG - mapas em formato digital das áreas de inundação e da ocupação do território (estradas, redes de abastecimento de água e de esgotos e edifícios de utilização pública, etc...)
- > Nova ferramenta para atividades dos sistemas de protecção civil municipais (Silves, Beja) e ANPC

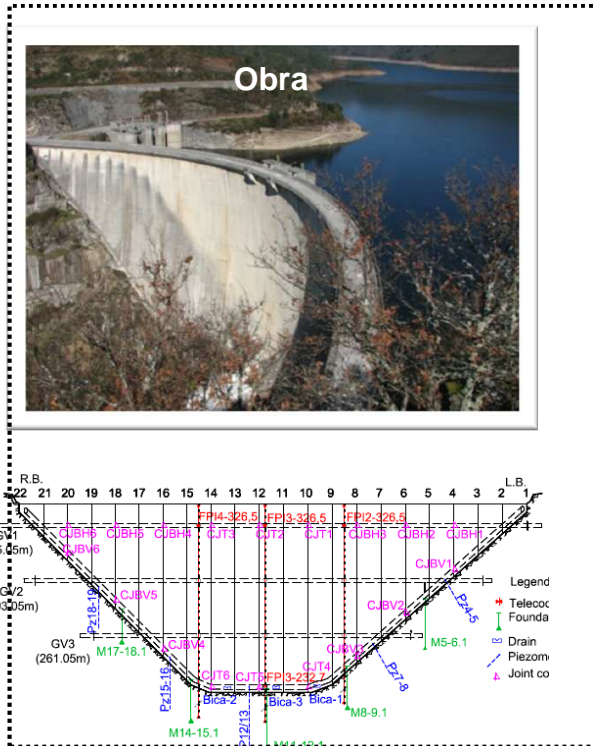


Módulo 2 – Barragem

Observação, interpretação do comportamento e avaliação das condições de segurança estrutural



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL



Sensores



Posto de Observação e comando (POC)



Modelos de análise do comportamento da barragem

- Medição de grandezas:
- Nível de água na albufeira
 - deslocamentos horizontais e verticais e deslocamentos relativos entre juntas
 - subpressões, caudais drenados e infiltrados



Unidades de aquisição de sinais



Sistema de aviso às populações!!

Módulo 2 – Barragem

Observação, interpretação do comportamento e avaliação da segurança estrutural



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> **Requisitos da abordagem**

- > *Sistema de informação e elementos relativos ao projeto, ao período construtivo, às propriedades dos materiais e à observação*
- > **Modelos de comportamento calibrados**
- > *Sistema de recolha automática de dados (recomendável), permite que os especialistas procedam a uma rápida análise de eventuais situações anómalas, maximizando o tempo disponível para possíveis medidas corretivas*
- > *Diagnóstico de eventuais anomalias e proposta de recomendações (alerta....aviso)*
- > *Abordagem que implica existência de equipas de observação e de especialistas mas pode ser complementada por outras ferramentas*

Módulo 2 – Barragem

Redes neurais e aplicações de apoio à avaliação da segurança estrutural (new!)



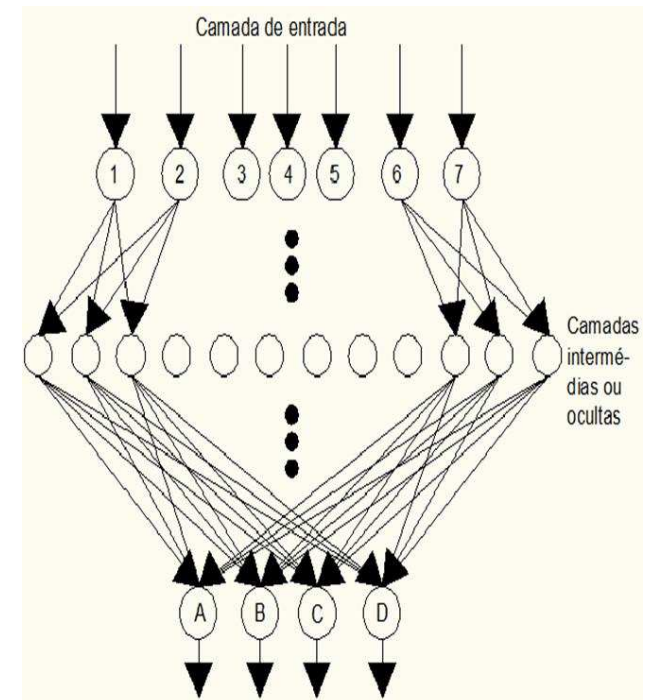
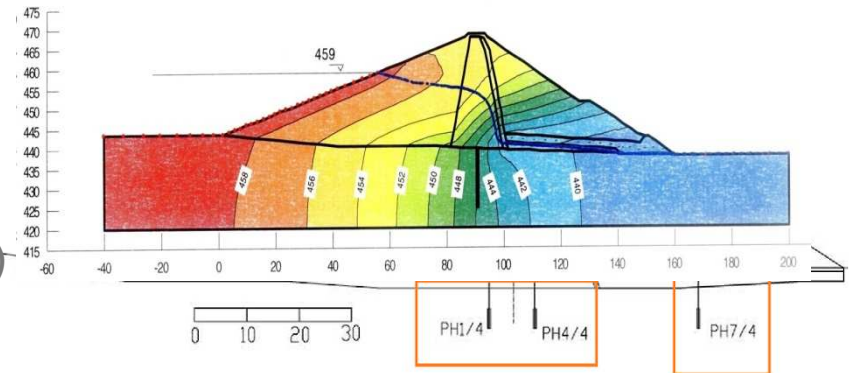
> Método

> Uso do **modelo de comportamento** da barragem (método dos elementos finitos) para “geração de dados de observação”: ações na barragem e verificação da resposta dos sensores

> Este passo define a camada de entrada da rede neuronal - nível da albufeira, cotas piezométricas, caudal total

> Uso da **experiência de especialistas** para, com base na resposta dos sensores, definir o diagnóstico do estado de segurança da barragem e do respetivo nível de alerta

> Este passo define a camada de saída da rede neuronal – Nível de alerta 0, 1, 2 e 3 (segundo os critérios da ANPC)



Módulo 2 – Barragem

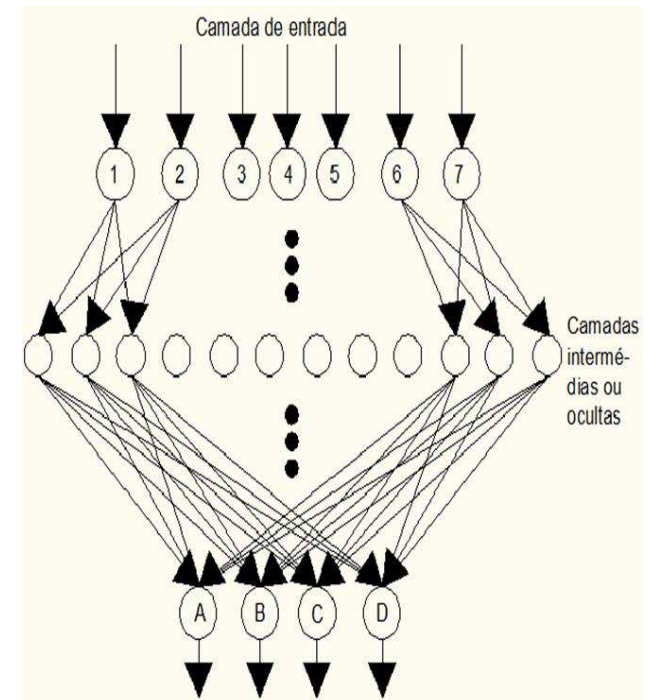
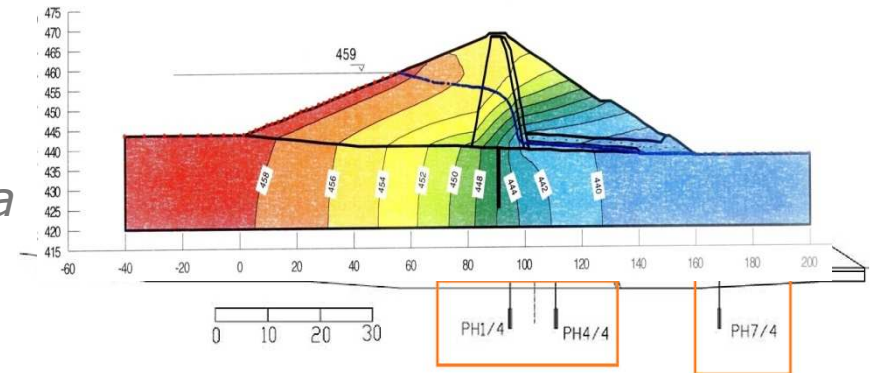
Redes neuronais e aplicações de apoio à avaliação da segurança estrutural (new!)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> Resultados

- > Geração de amostras extensas (ações na barragem, resposta dos sensores e do correspondente nível de alerta)
- > Treino da rede no cluster Medusa do LNEC
- > Aplicação à barragem de Valtorno/Mourão, permitindo identificar um estado de alerta elevado (correspondente a percolações elevadas pela fundação), bem como a respetiva redução após obras de reforço do sistema de impermeabilização
- > Nova ferramenta para apoio à deteção de sinais de alarme (AdTMAD – Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro)



Módulo 3 - Cheias induzidas

Modelação da propagação da cheia ao longo do vale a jusante

- > *Desenvolvimento de modelos numéricos 1D e 2D do "routing" das cheias*
- > *Calibração por comparação com resultados de roturas históricas de barragens e de instalações experimentais e de modelos físicos*



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

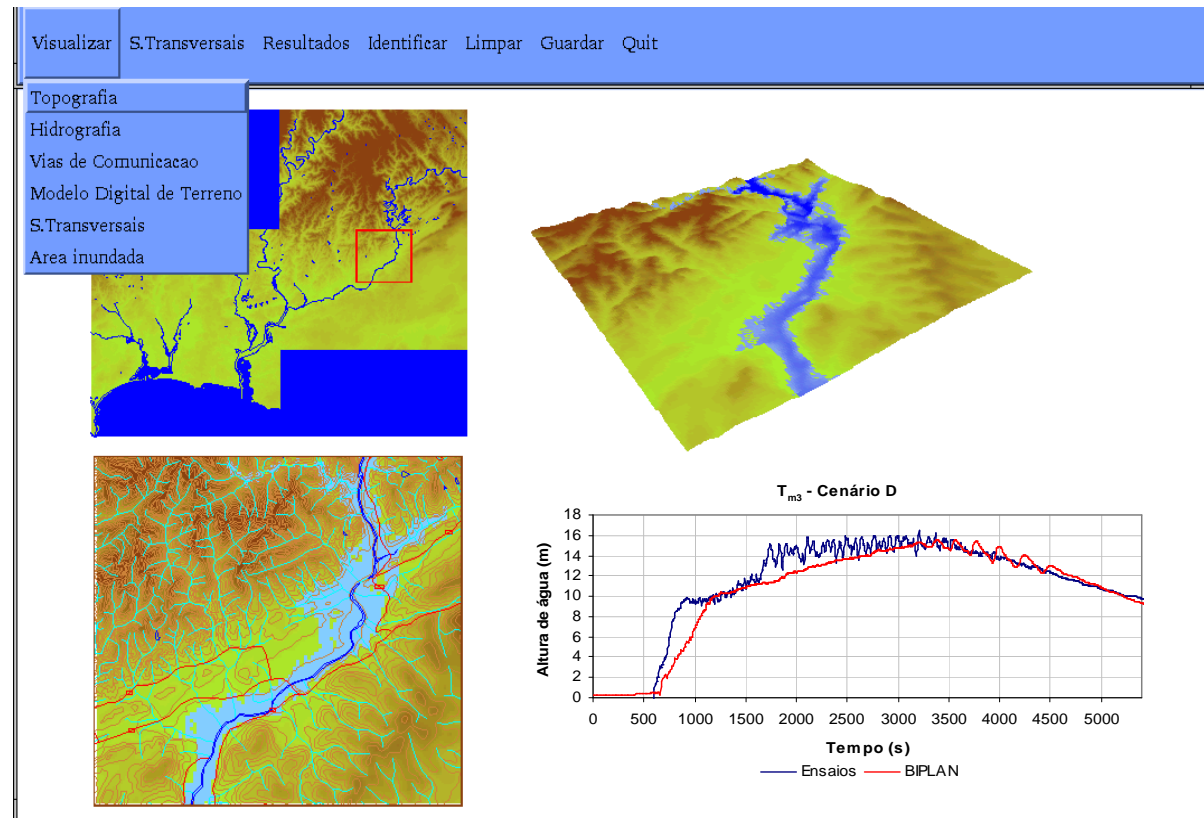


Barragem de Malpasset

Módulo 3 – Cheias induzidas

Desenvolvimento de interfaces e sistemas de informação geográfica

- > Modelos 2D obrigam à existência de um grande volume de dados (topográficos) e construção de MDT
- > Desenvolvimento de interfaces para o modelo
- > Desenvolvimento de SIG, como um instrumento eficaz para a gestão, visualização e análise de grande quantidade de informação fornecida **para e pelo** modelo

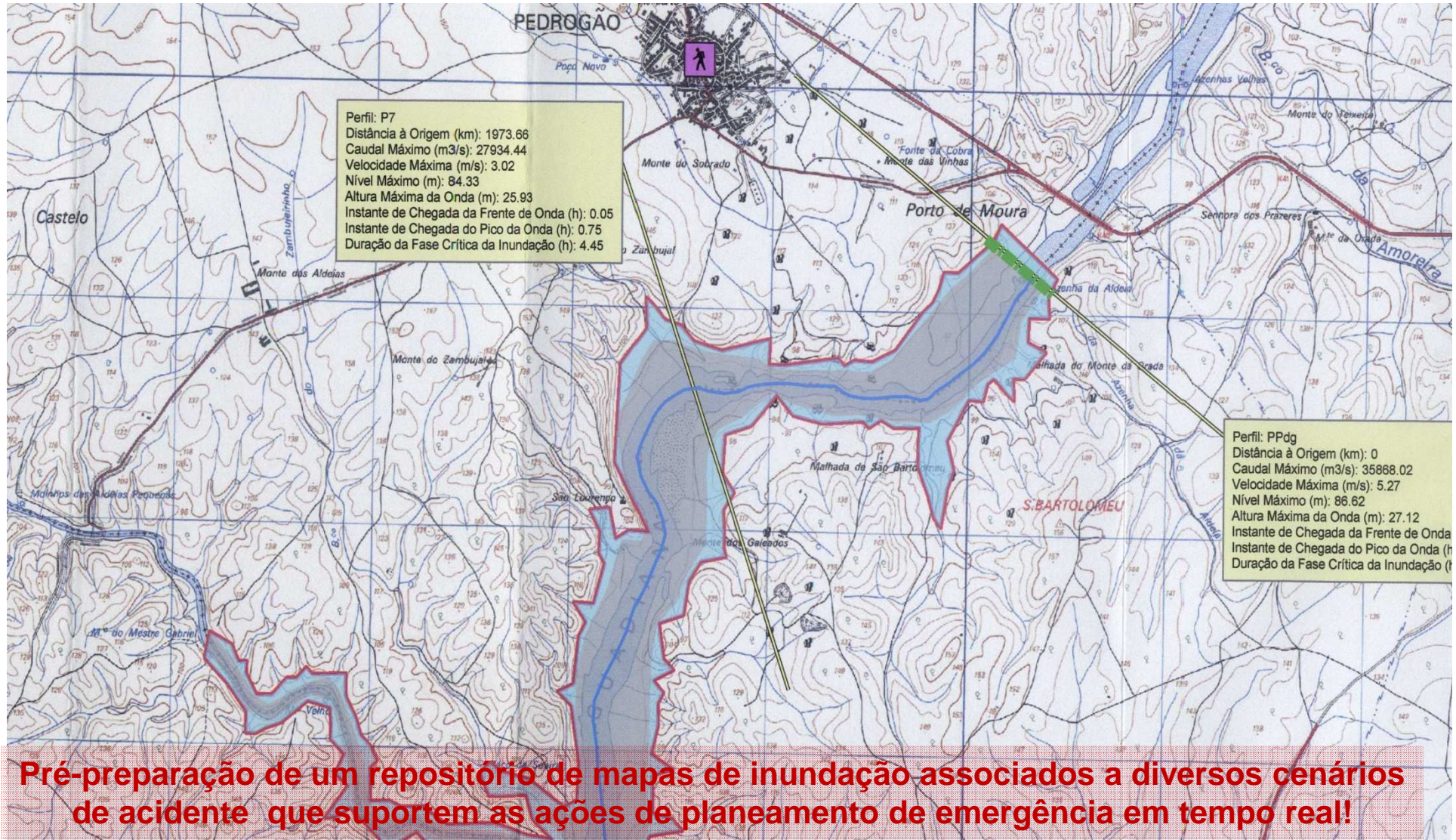


Modulo 3 - Cheias induzidas

SIG e Mapeamento de risco de apoio ao planeamento de emergência



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL



Pré-preparação de um repositório de mapas de inundação associados a diversos cenários de acidente que suportem as ações de planeamento de emergência em tempo real!

Módulo 3 - Cheias induzidas

Modelação da evolução da brecha e hidrograma na secção da barragem (new!)

- > Desenvolvimento e calibração de modelos numéricos que simulam a evolução temporal da brecha e do caudal escoado
- > Investigação experimental com base em ensaios sistemáticos de rotura de aterros representativos de barragens portuguesas

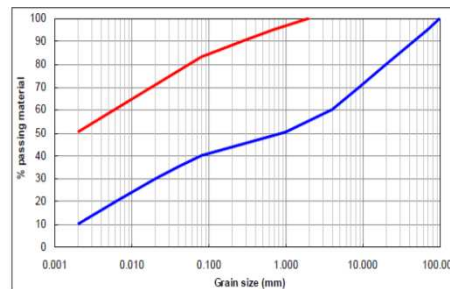
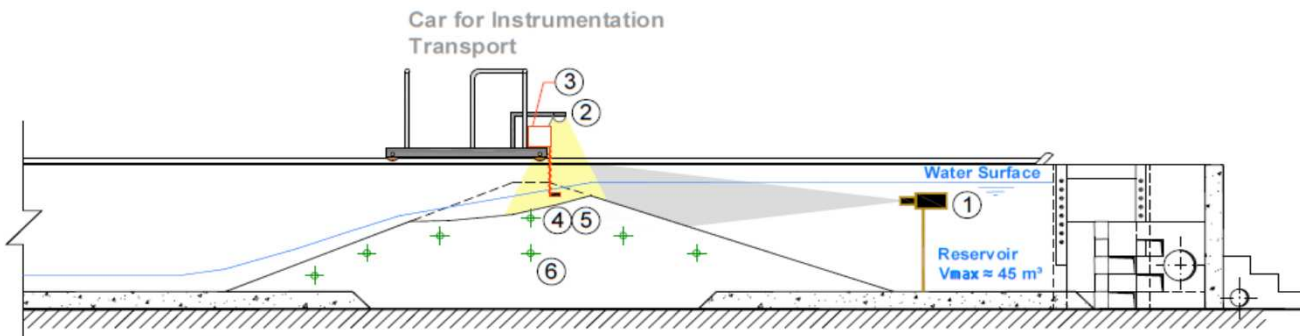


Fig. 4 – Reference Sieving curves for the failure tests of homogeneous earth dams
— Characteristic sieving curve of Portuguese earth dams;
— Characteristic sieving curve of Portuguese earth dams with maximum geotechnical reduction.

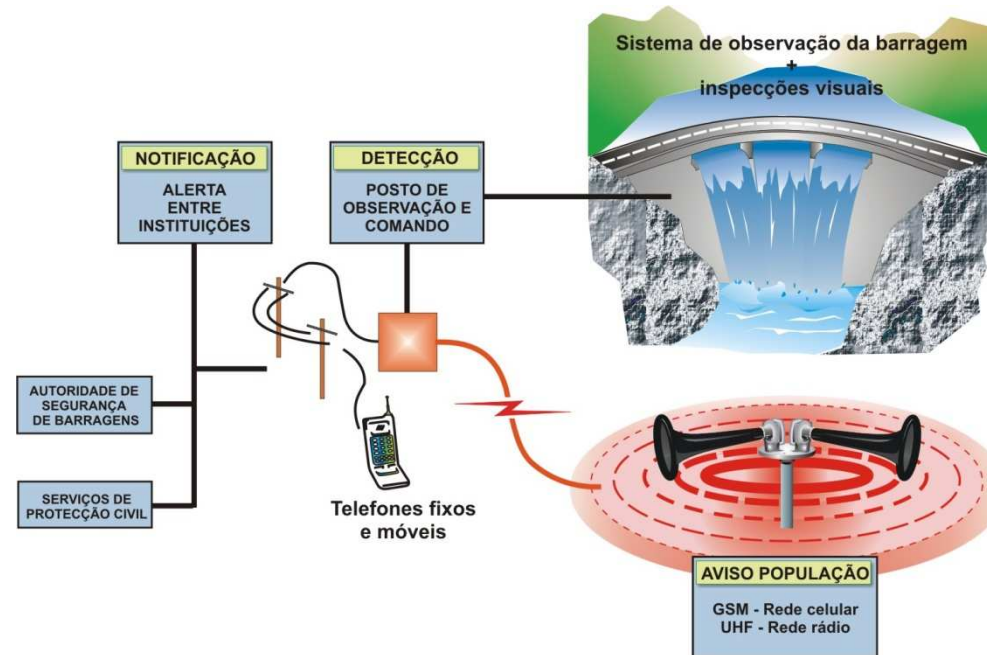


Módulo 4 - Sistemas de aviso e alerta

Apoio à emergência em rotura de barragens



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



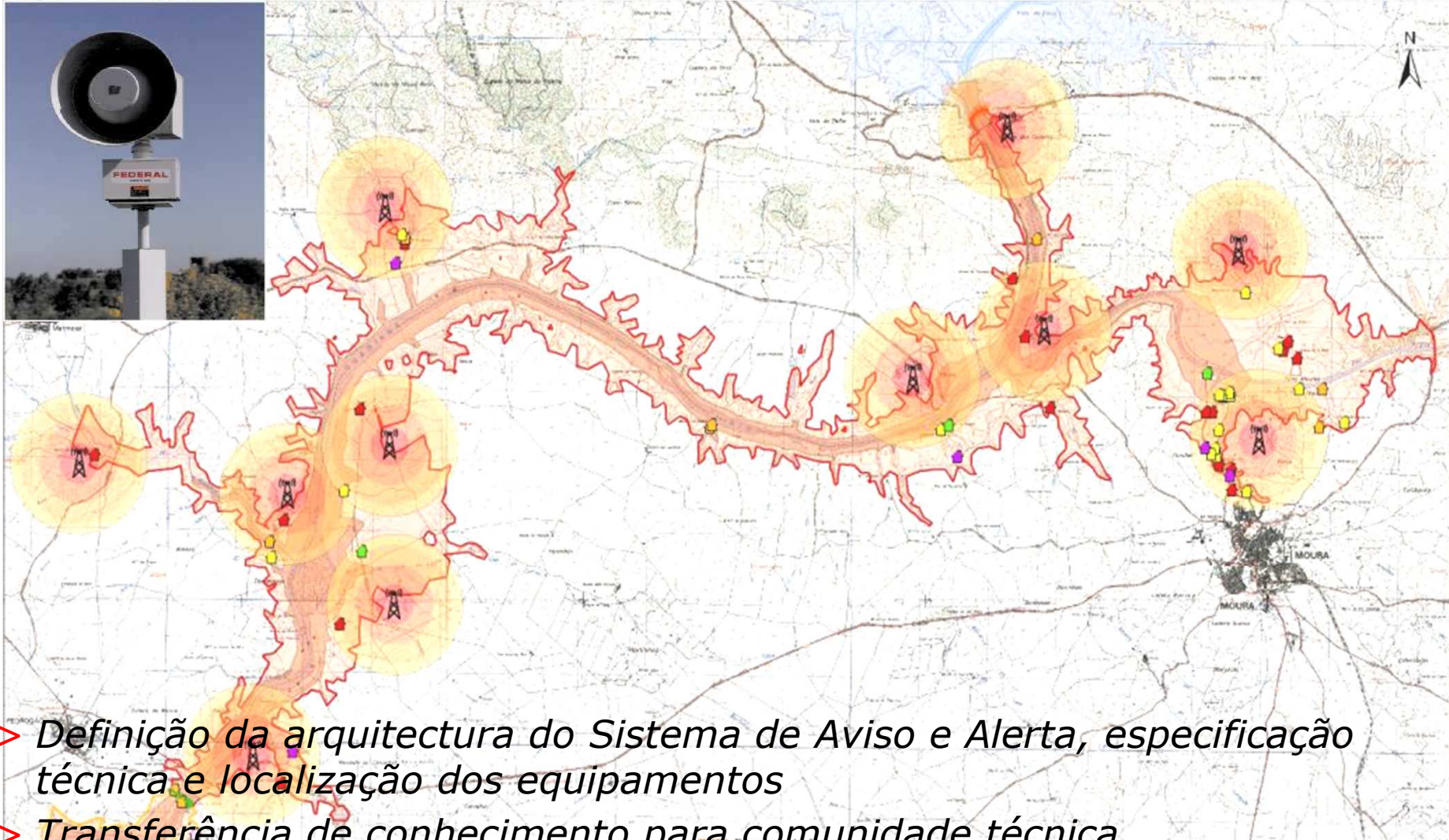
- > Detecção de situação anómala – Sistema de Observação e modelos comportamento da barragem
- > Notificação / alerta entre instituições – Sistema de Alerta
- > Aviso à população na ZAS – Sistema de Aviso

Módulo 4 - Sistemas de aviso e alerta



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

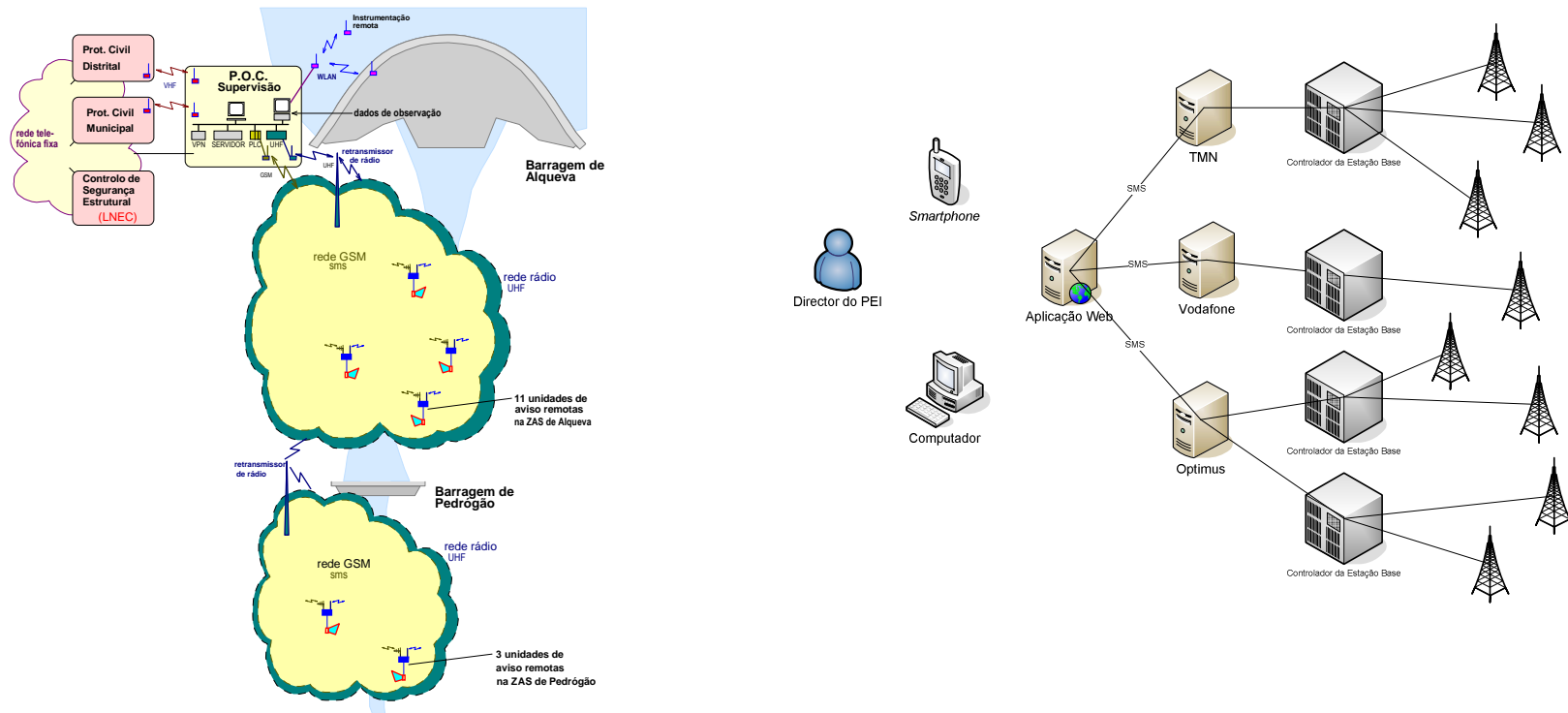
Desenvolvimento de SAA com base em avisos sonoros



- > *Definição da arquitectura do Sistema de Aviso e Alerta, especificação técnica e localização dos equipamentos*
- > *Transferência de conhecimento para comunidade técnica*

Módulo 4 - Sistemas de aviso e alerta

Desenvolvimento de SAA com base em SMS (new!)



- > Incorporação de sistemas integrados de aviso de diversas barragens (Ex. Sistema telemático de aviso das barragens de Alqueva e Pedrógão)
- > Incorporação de sistemas alternativos de aviso, dado resposta à obrigação regulamentar de sistemas de aviso e alerta redundantes
- > *Investimento nos Serviços de Mensagens de Texto: SMS (envio de mensagens para um utilizador) e Serviço de Difusão Celular (envio de mensagens para uma área geográfica)*

DAMSAFE - Sistema integrado de apoio ao planeamento de emergência

Plano de Emergência Interno



- > *Previsão das áreas de inundação a jusante, com base em cenários de acidente*
- > *Previsão em tempo real do nível de alerta na barragem*
- > *Definição de acções de resposta em tempo real*
- > *Activação do sistema de alerta*
- > *Activação do sistema de aviso à população*
- > *Acesso automático a contactos no sistema de alerta*
- > *Produção de relatórios internos periódicos do nível de alerta da barragem*

The image shows two overlapping browser windows from the DAMSAFE system. The left window displays a list of emergency alerts, and the right window shows a 'Briefing Periódico' form for a dam.

DDPCF-Situação de Emergência - Alerta Laranja - Microsoft Internet Explorer
Address: http://larissa.lnec.pt/pee/DDPCF/Alertas/VermelhoE1007405

Data do alerta: Mon Dec 03

- Activação/Reforço célula de resposta**
Elementos: Elemento 1, elemento 2, elemento 3
Hora da convocacao: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Activação de PDE**
Observações: Observacoes
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Activação de CDOEPC**
Observações: Observacoes
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Aviso à População em risco (evacuação imediata)**
Elementos: Aviso
Hora da convocacao: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Activação de Meios e Recursos**
Observações: Activacao
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Coordenação do Sistema de Protecção civil envolvido no**
Observações: Coordenacao
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Propôr Reforço de meios e recursos**
Observações: Reforco
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Envio de informação (Sistema de Protecção Civil/SNPC)**
Observações: Informacao enviada
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Envio de informação - Governador Civil**
Observações: Envio ao Governador
Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Geração de comunicado**
Comunicado do Tipo 3 - Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001
- Fim Nivel Vermelho - Data/Hora: Mon Dec 03 18:54:39 GMT+00:00 2001**

DDPCF Briefings Periódicos - Microsoft Internet Explorer
Address: http://larissa.lnec.pt/pee/DDPCF/briefingsDDPCF.jsp

Alertas | Actas | Mudança Nivel | Nivel Corrente

DDPCF Faro
Briefing Periódico
Rotura de Barragens

Localização: Sede da Delegação Distrital de Protecção Civil de Faro

- Participantes:
- Descrição da ocorrência (terminar)
Identificação
Evolução
Outras informações
Acções tomadas
- Caracterização do sistema de barragens


Nome Barragem	Funcho
Linha Água	Arade
Bacia Principal	Arade
Localização Geográfica	Foto Mapa
Entidade Exploradora	INAG
Dono da Barragem	INAG

Sistema integrado DAMSAFE

Conclusões

- > *Capacidade de diagnóstico (Barragem e monitorização por sensores do sistema de observação, nomeadamente recolha automática de dados)*
- > *Capacidade de prognóstico através de ferramentas de modelação (Vale a jusante, risco de inundação e modelação de cheias por modelos hidrodinâmicos 1D e 2D)*
- > *Capacidade de utilização de toda a informação disponível para suportar a gestão de emergências, mantendo canais eficazes de comunicação entre instituições (Alerta) e a população em risco (Aviso)*

- > Ferramenta eficaz para apoio às ações de controlo de segurança e emergência em barragens, otimizando recursos e custos
- > Instrumento de planeamento e ordenamento do território em sintonia com nova regulamentação de segurança de barragens (DL n.º 344/2007 – RSB) e de planeamento de emergência (DL n.º 27/2006 - Lei de Bases da Protecção Civil e DL n.º 134/2006 - Sistema integrado de operações de protecção e socorro)

An aerial photograph showing a long, curved dam structure spanning a wide river valley. The valley is filled with dense green vegetation, and the river flows through the center. The dam is a concrete structure with a series of buttresses. The surrounding landscape is hilly and forested.

Riscos a jusante de barragens: da perceção pública à gestão de emergência

**Os autores agradecem à participação de:
INAG, EDP, ANPC, EDIA, AdTMAD, Câmaras Municipais de Silves, Beja, Faro**