



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

5º Encontro Técnico-Científico dos
Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP

**Um exemplo de
cooperação trilateral
potenciado pelo
Convénio**

João Candeias Portugal



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

5º Encontro Técnico-Científico dos
Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP

**Barragens de Aterro
Avaliação da Segurança**



Administração Regional de Águas do Sul



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



CONSULTEC
Consultoria e Engenharia, Lda

Organização

- O LNEC na avaliação de segurança
- Avaliação da segurança estrutural
- O exemplo ARA-Sul
- Considerações finais

Organização

- O LNEC na avaliação de segurança
- Avaliação da segurança estrutural
- O exemplo ARA-Sul
- Considerações finais

O LNEC na avaliação de segurança

Segurança Estrutural – Departamento de Geotecnia e Departamento de Barragens.

Segurança Hidráulico-Operacional – Departamento de Hidráulica e Ambiente.

Segurança Ambiental – Departamento de Hidráulica e Ambiente.

Organização

- O LNEC na avaliação de segurança
- Avaliação da segurança estrutural
- O exemplo ARA-Sul
- Considerações finais

Avaliação de segurança

Inspeções - Fazer inspeções minuciosas das barragens em todas as suas componentes de segurança, nomeadamente a estrutural, a hidráulica e operacional e a ambiental.

Avaliação da segurança estrutural

Verificação do estado dos equipamentos - Para cada barragem, verificar e avaliar o estado dos equipamentos de observação e propôr planos de reparações, substituições e de novas aquisições a ser implementado a curto, médio e longo prazo.

Avaliação da segurança estrutural

Recomendações urgentes - Com base nas constatações resultantes das inspeções, recomendar as medidas urgentes que devem ser tomadas para corrigir as anomalias detectadas.

Avaliação da segurança estrutural

Validação dos dados de Observação - Analisar, processar, interpretar e validar os dados observados durante a vida das obras, emitindo um juízo especializado sobre os mesmos.

Avaliação da segurança estrutural

Ensaios - Sempre que se revelar necessário, realizar análises laboratoriais dos materiais da barragem, com o objetivo de aferir o seu estado de conservação e determinar as medidas corretivas necessárias.

Avaliação da segurança estrutural

Revisão de planos de observação - Verificar e avaliar: os planos de observação e controlo de segurança, registo e arquivo de documentação e leituras, os relatórios e as rotinas de observação e inspeções visuais das barragens, com vista a apurar a sua eficácia para o contexto actual. Propôr os ajustamentos necessários.

Avaliação da segurança estrutural

Recomendações médio/longo prazo -

Propôr medidas concretas para melhorar a segurança das barragens, elaborando planos de ação a ser implementados a curto, médio e longo prazo. A estes planos são agregadas estimativas de custos das medidas propostas.

Avaliação da segurança estrutural

Modelação do comportamento - Preparar modelos matemáticos – estatísticos – para prever o comportamento futuro das barragens, tendo por base os resultados da observação passada.

Avaliação da segurança estrutural

Plataforma na Internet – Construir página na Internet para carregar e consultar em tempo real dados da observação, características da obra, relatórios, etc..

Avaliação da segurança estrutural

Manual de procedimentos - Preparar manuais de procedimentos básicos para a supervisão, controle e o acompanhamento do comportamento das barragens, com base nos dados obtidos dos instrumentos de auscultação.

Avaliação da segurança estrutural

Avaliação dos quadros de pessoal - Avaliar os quadros de pessoal técnico envolvidos nos trabalhos de observação e manutenção das barragens. Propôr o quadro mínimo e ideal de especialidades e perfil de especialistas/técnicos necessários para uma boa gestão, que garanta a segurança das barragens.

Avaliação da segurança estrutural

Programas de formação - Preparar programas de capacitação e formação complementar de gestores e técnicos ligados à gestão, observação e acompanhamento de barragens. Os programas incluem, cursos de curta duração nos aspectos da recolha, análise, processamento e interpretação dos dados da observação, prática in loco, visitas técnicas e estágios a outras barragens com características similares.

Organização

- O LNEC na avaliação de segurança
- Avaliação da segurança estrutural
- O exemplo ARA-Sul
- Considerações finais

O exemplo ARA - Sul

Segurança das Barragens de:

Massingir

Corumana

Pequenos Libombos

Macarretane

O exemplo ARA - Sul

Programa de formação:

Estágio dos Chefes de Serviço das barragens de Massingir, Corumana e Pequenos Libombos no LNEC.

Visitas de inspeção a barragens portuguesas.

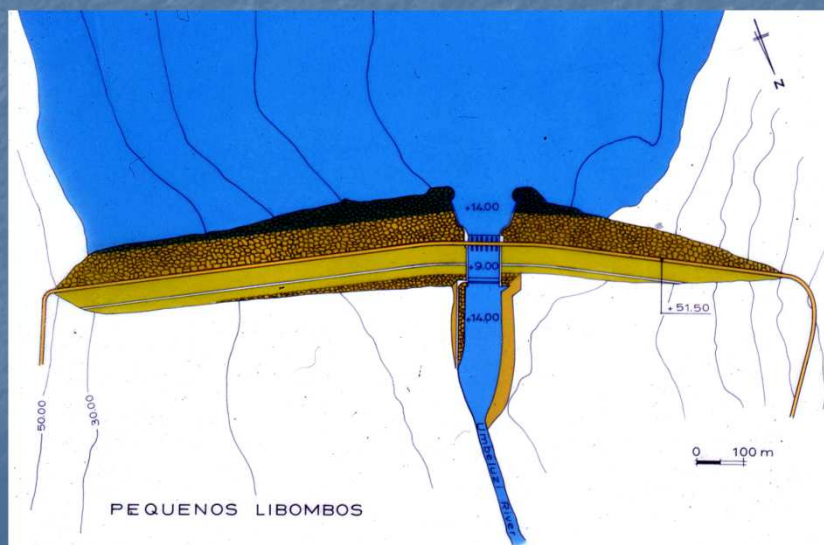
Barragem dos Pequenos Libombos



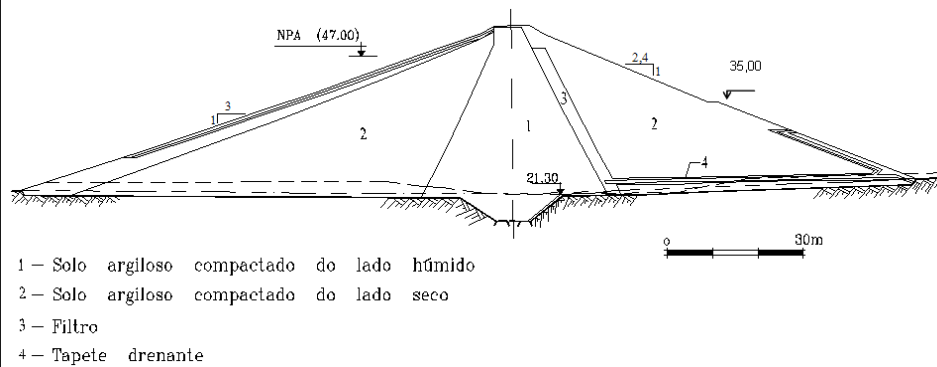
Características da barragem

- **Altura:** 46 m
- **Comprimento:** 1540 m
- **Largura do coroamento:** 8 m
- **Cota do coroamento:** 51,00 m
- **NPA:** 47,00 m
- **NMC:** 49,55 m
- Rio Umbeluzi

Barragem dos Pequenos Libombos



Barragem dos Pequenos Libombos



Perfil transversal tipo dos trechos em aterro

Descarregador de cheias

Principal: 5600 m³/s

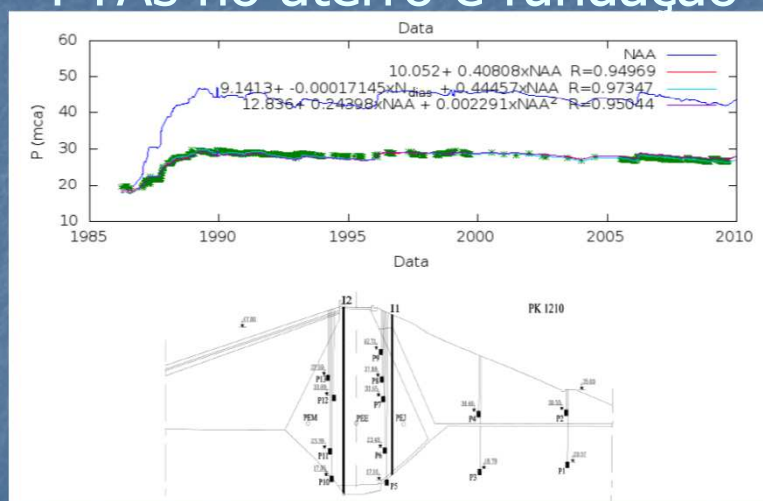
Emergência: 515 m³/s



Barragem dos Pequenos Libombos

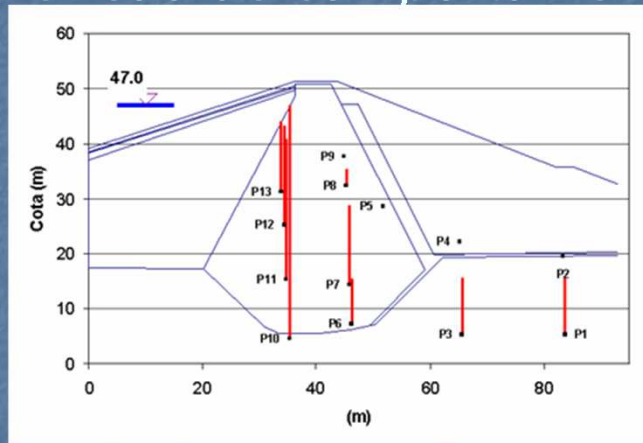
- Inspeção visual de especialidade entre 7 e 9 de Abril de 2010
- Características ([Anexo I](#))
- Inspeção ([Anexo II](#), [Anexo III](#))
- Modelação do comportamento
- Site Internet

PTAs no aterro e fundação



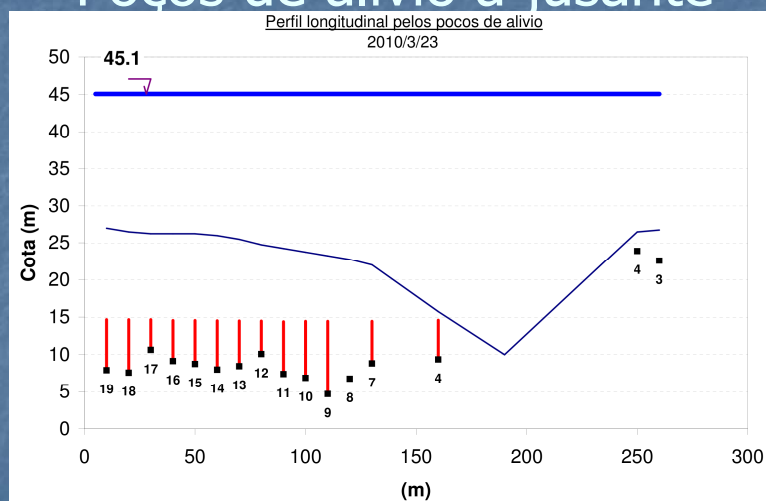
Exemplo de modelo de PTA (P03-1210)

Previsão de comportamento



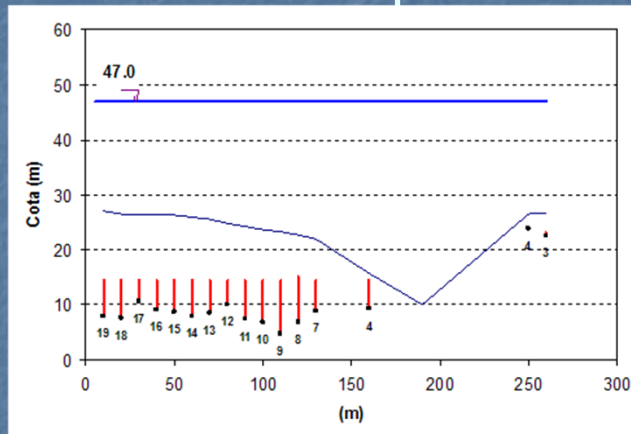
Previsão do nível de água nos piezómetros de tubo aberto do perfil 490 (NAA=NPA)

Poços de alívio a jusante



Nível de água nos poços em Março de 2010 (NAA = 46,75 m)

Previsão de comportamento



Previsão do nível de água nos poços de alívio para
NAA = NPA

Previsão de comportamento

Foi também possível estabelecer regras para
definir níveis de atenção e alerta para cada
aparelho, em função do desvio das leituras em
relação aos modelos.

Previsão de comportamento

Nível	Definição	Descrição	Ação recomendada
Verde	$E \leq 2\sigma$	Comportamento normal: as leituras estão de acordo com o modelo estatístico baseado nas leituras anteriores. Cerca de 95% das leituras anteriores enquadram-se neste intervalo.	Nenhuma
Amarelo	$2\sigma \leq E \leq 5\sigma$	Há uma discrepância relevante entre os resultados do modelo e as leituras obtidas.	a) verificar boletins de registo b) repetir leituras c) verificar historial d) verificar necessidade de recalibração do modelo
Vermelho	$E > 5\sigma$	Há uma discrepância grosseira entre os resultados do modelo e as leituras obtidas.	a) verificar boletins de registo b) repetir leituras c) verificar historial d) verificar ocorrências noutros aparelhos e) notificar responsável pela análise de segurança
Níveis de atenção e alerta em função do desvio aos modelos			

Conclusões

Em resultado da análise do comportamento da barragem dos Pequenos Libombos é possível inferir sobre o **bom comportamento geral da obra**.

Apesar de haver algumas lacunas na informação resultante da observação instrumental, **não existem indícios de fenómenos lesivos da segurança**, para as condições de exploração actuais.

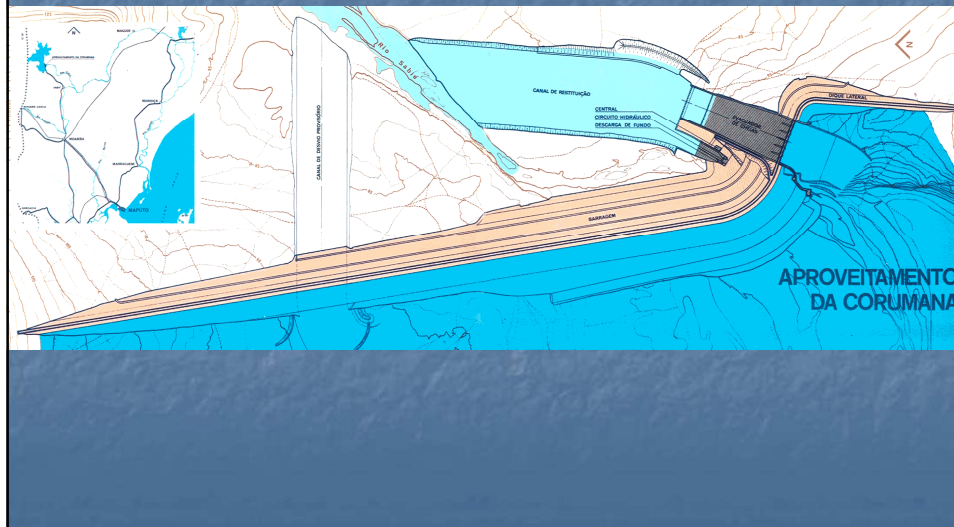
Barragem da Corumana



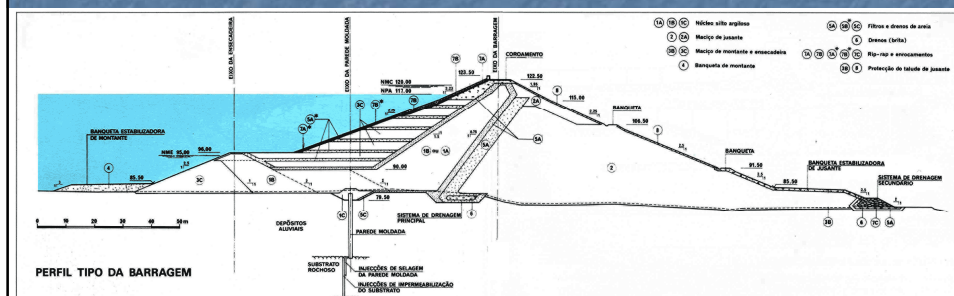
Características da barragem

- **Altura:** 46 m
- **Comprimento:** 3048 m
- **Largura do coroamento:** 8 m
- **Cota do coroamento:** 122,50 m
- **NPA:** 117,00 m
- **NMC:** 120,00 m
- Rio Sabié

Barragem da Corumana



Barragem da Corumana



Perfil transversal tipo dos trechos em aterro

Descarregador de cheias

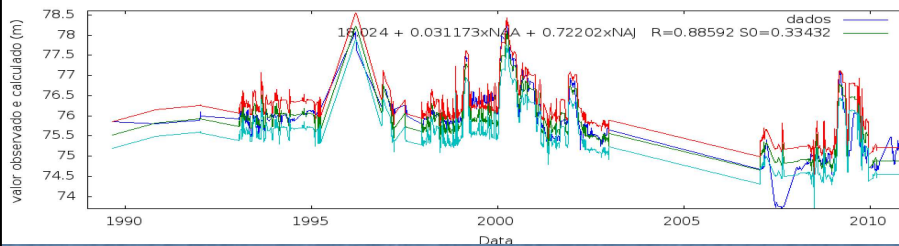
108 m; 6300 m³/s



Barragem da Corumana

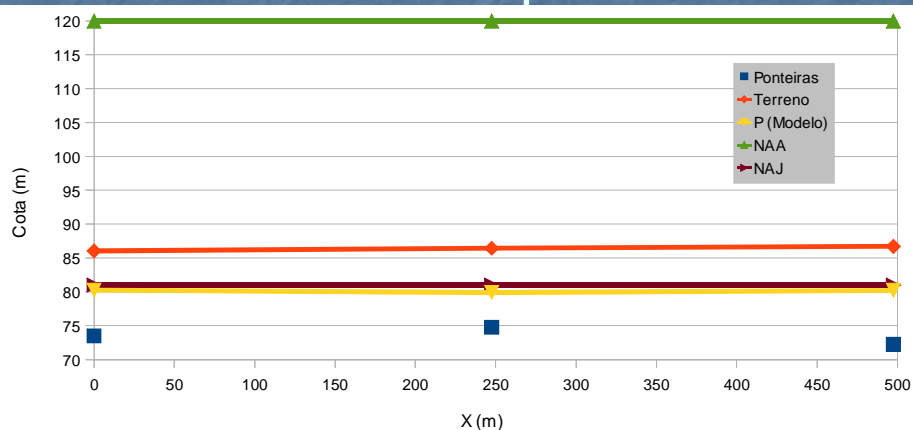
- Inspeção visual de especialidade entre 10 e 13 de Abril de 2010
- Características ([Anexo I](#))
- Inspeção ([Anexo II](#), [Anexo III](#))
- Modelação do comportamento ([PTAs](#), [Caudais](#))
- Site Internet

PTAs no aterro e fundação



Exemplo do modelo, PTA09 - ajuste à expressão (3)

Previsão de comportamento



Previsão das pressões na fundação da barragem da Corumana quando o NAA = NMC = 120 m

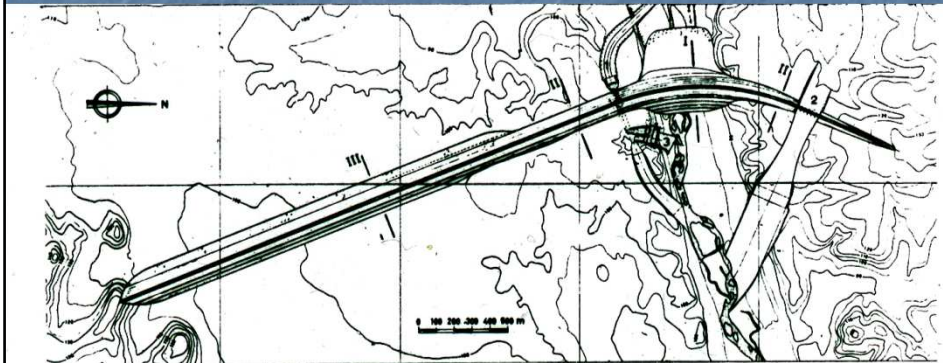
Barragem de Massingir



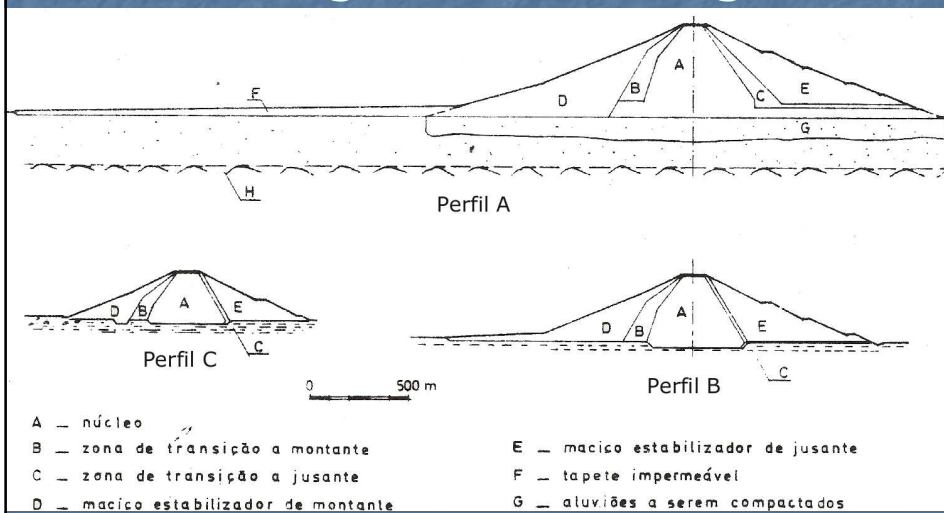
Características da barragem

- **Altura:** 47 m
- **Comprimento:** 4630 m
- **Largura do coroamento:** 12 m
- **Cota do coroamento:** 131,00 m
- **NPA:** 125,00 m
- **NMC:** 128,50 m
- Rio dos Elefantes (afluente do Limpopo)

Barragem de Massingir



Barragem de Massingir



Perfil transversal tipo dos trechos em aterro

Barragem de Massingir



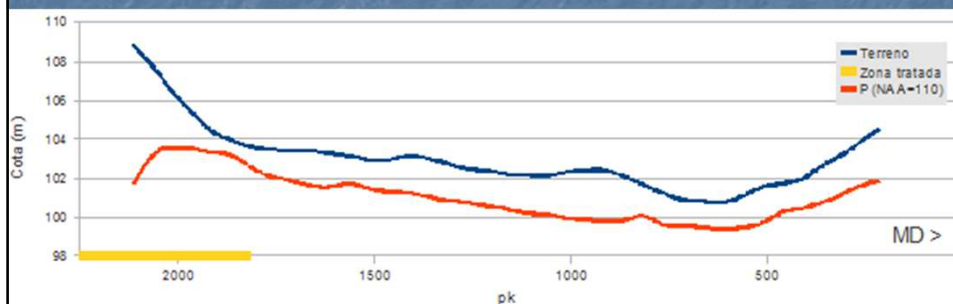
Arquivo pessoal do Professor Álvaro Carmo Vaz



Barragem de Massingir

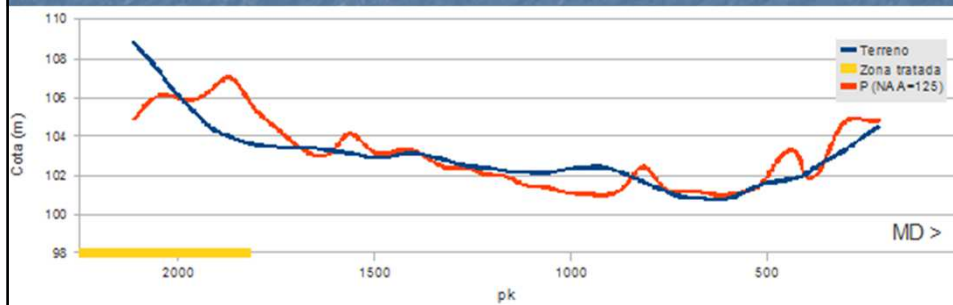
- Inspeção visual de especialidade entre 15 e 17 de Abril de 2010
- Características ([Anexo I](#))
- Inspeção ([Anexo II](#), [Anexo III](#))
- Modelação do comportamento
- Site Internet ([Entrada](#), [Dados](#))

Previsão de comportamento



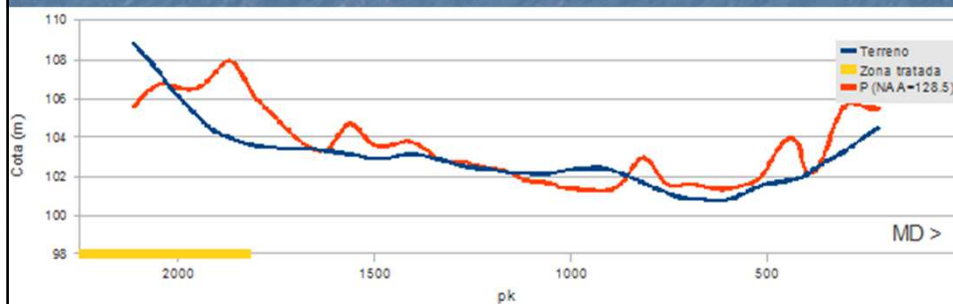
Previsão das pressões na fundação do dique da
MD quando o NAA = 110 m

Previsão de comportamento



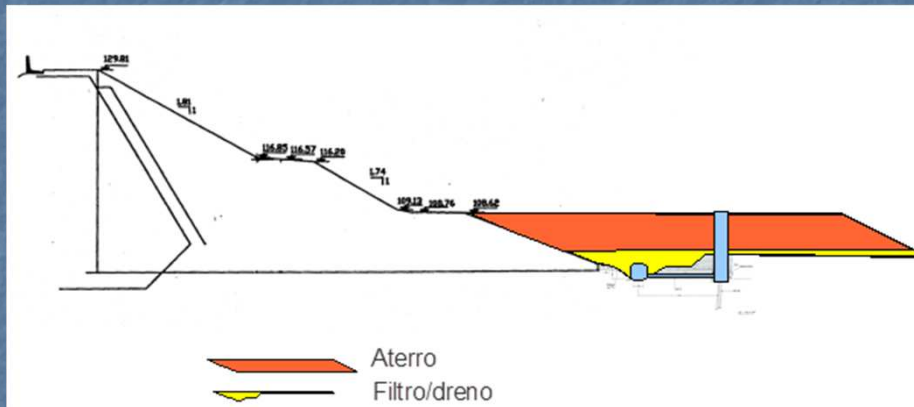
Previsão das pressões na fundação do dique da MD quando o NAA = NPA = 125 m

Previsão de comportamento



Previsão das pressões na fundação do dique da MD quando o NAA = NMC = 128,5 m

Conclusões



Solução de estabilização recomendada para o dique da MD da barragem de Massingir

Organização

- O LNEC na avaliação de segurança
- Avaliação da segurança estrutural
- O exemplo ARA-Sul
- Considerações finais

Considerações finais

A cooperação que o LNEC está actualmente a desenvolver no âmbito da **segurança de barragens**, com Donos de Obra Moçambicanos, **afigura-se aplicável a outros países dos PALOP**.

De facto, por um lado, os problemas neste domínio são similares aos de outros PALOP, por outro, a realidade das obras Moçambicanas é muito semelhante à de outros países africanos.

Considerações finais

Acresce, que **do ponto de vista do LNEC, a cooperação com os PALOP é actualmente considerada prioritária**, permitindo o desenvolvimento e avanço dos conhecimentos no domínio da segurança de barragens.

Considerações finais

Do trabalho realizado com a ARA-Sul, recolhemos, da nossa parte, a facilidade de relacionamento com os nossos colegas Moçambicanos.

O facto de partilharmos a mesma língua, termos tantas afinidades ao nível da cultura, tradições, organização administrativa, etc., torna o trabalho conjunto fácil – **como se estivéssemos em casa** - e muito gratificante – **porque não estamos**.

como se estivéssemos em casa...



como se estivéssemos em casa...



mas de facto não estamos...



