

**OBSERVAÇÕES, REFLEXÕES E  
RECOMENDAÇÕES EM TORNO DA  
ESCOMBREIRA DO CABEÇO DO PIÃO,  
SILVARES, FUNDÃO**

**NUNO MIGUEL MARTINS DA SILVA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA DE MINAS E GEOAMBIENTE**

---

Orientador: Professor Doutor Alexandre Júlio Machado Leite

SETEMBRO DE 2010

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Tel. +351-22-508 1960

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia de Minas e Geoambiente - 2009/2010 - Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

## Agradecimentos

A todos quantos contribuíram para que este trabalho fosse possível, em especial,

Ao meu orientador:

Professor Doutor Alexandre Júlio Machado Leite, pela dedicação e acessibilidade que demonstrou nos momentos cruciais e sua dedicação ao término da minha formação neste curso, tendo sido a todos os níveis incansável.

Ao Professor Doutor Jorge Manuel Cabral Machado de Carvalho pelo apoio e dedicação prestada no capítulo da geofísica, bem como nos conselhos e recomendações sobre este mesmo capítulo.

Aos meus amigos:

Pela entajuda e pelo apoio que demonstram sempre.

À minha família:

Por todo o apoio que me deram na conclusão nesta etapa e pelo interesse e carinho sempre presente nas suas palavras, mesmo quando eram mais duras.



## RESUMO

A escombreyra do Cabeço do Pião, na freguesia de Silvares – Fundão, foi construída logo no início da actividade mineira extractiva, no complexo mineiro da Panasqueira, em 1927. As primeiras áreas exploradas foram o Vale das Freiras, Vale da Ermida e Panasqueira sendo construídas escombreyras entre 1890 até 1927. Desde 1996 que aqui deixaram de ser depositados estéreis da preparação de minérios. A sua proximidade ao rio Zêzere sempre constituiu um desafio em relação à gestão ambiental na região devido às suas dimensões e importância histórica na exploração mineira Portuguesa. A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto usa-a, recorrentemente, como cenário ilustrativo das diversas problemáticas associadas a este tipo de estruturas para a formação de futuros Engenheiros de Minas e Geoambiente.

Considerando que a legislação regulamentadora da indústria extractiva é cada vez mais exigente, as preocupações ambientais devem associar-se a essa exigência e evoluir também no sentido de minimizar o impacte desta indústria no meio ambiente. O interesse pessoal e preocupação por esta temática levou à realização do presente trabalho, centrado num estudo de aplicação prática, tentando contribuir para uma gestão ambiental mais eficaz na região.

Ao ver a dimensão da deposição de estéril que está a ser efectuada actualmente na Barroca Grande, o centro produtivo de volfrâmio da Mina da Panasqueira, e comparando com o passivo ambiental presente na escombreyra do Cabeço do Pião, associado a uma clara diminuição das operações de manutenção desde que as actividades de separação de minérios findaram neste lugar, compreende-se facilmente a pertinência do nosso estudo, mesmo que realizado a uma escala de menor dimensão.

O contributo, desta tese, passa por tentar conciliar as ideias de remediação ambiental que se foram construindo ao longo de uma série de visitas à Escombreyra do Rio e sua envolvente. O objectivo foi identificar os problemas de uma perspectiva global, envolvendo toda a área de deposição do Cabeço do Pião, bem como os problemas detectados em cada zona particular. Como soluções definidas, destacam-se aquelas que visam principalmente a estabilidade da barragem de lamas aí existente.

A globalidade da escombreyra do Cabeço do Pião foi o nosso ponto de partida, tendo centrado na fase final dos trabalhos realizados a nossa atenção nas anomalias de clara instabilidade linear nos taludes da barragem de lamas aí existente.

**Palavras-chave:** escombreyra, ravinamento, operações de manutenção, Mina da Panasqueira, Cabeço do Pião.



## ABSTRACT

The heap waste of Cabeça do Pião, in the civil parish of Silvares - Fundão, was constructed in the beginning of the mining activity in the Panasqueira mining complex in 1927. The first areas to be explored were Vale das Freiras, Vale da Ermida e Panasqueira being constructed tailings dams since 1890 to 1927. Deposition of waste rock and tailings in this heap waste was abandoned in 1996. Due to its proximity to the Zêzere River, it has always represented a challenge in the environmental management of the region. In view of its size and historical importance in Portuguese extractive operations, it is often used as a case study of the diverse problems associated with this kind of structure, in the Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto when teaching future Mining and Geo-Environmental Engineers.

Considering that the regulating legislation of the extractive industry is progressively becoming more demanding, environmental concerns should accompany this progress and also evolve in the direction that would minimize the impact of this industry in the environment. The interest and concerns over this theme led me to the development of this work, directed on a study of practical applications, in the effort to contribute to a better environmental management in this region.

The pertinence of this study, even though conducted at a small scale, can easily be understood by observing the size of the inerts deposition currently occurring in Barroca Grande, the wolfram productive center of the Panasqueira Mine, and comparing it to the environmental liability at the waste heap of Cabeça do Pião, which is associated with a clear reduction in the maintenance operations ever since the processing of minerals ceased in this place.

My contribution with this thesis is to try to conciliate the ideas of environmental remediation that were created during a series of visits to the Process Plant of Rio and its surroundings. Our goal is to identify the problems in a global perspective, considering the deposition area of Cabeço do Pião, and to allocate a solution to each problem detected in every zone that we defined. Emphasis being given to those that mainly regard the stability of the tailings dam at this location.

We started by considering the heap waste of Cabeça do Pião in its totality, in the final stages of our work we focused our attention in anomalies causing clear linear instability at the slope of the tailings dam.

**Key words:** tailings, sliding, maintenance, Mina da Panasqueira, Cabeço do Pião.



## ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
1º Capítulo - Localização, Enquadramento Mineiro e Geológico da Área. ....	1
1.1 Localização e diferentes contextos na evolução da mina.....	3
1.2 Justificação do local em estudo.....	4
1.3 Geologia.....	8
1.4 Mineralogia.....	9
1.5 Os métodos de exploração e a sua evolução.....	10
2º Capítulo - Métodos de construções de barragens de estéreis.....	15
2.1 Principais métodos de construção de barragens de estéreis.....	17
2.1.1 Upstream.....	17
2.1.2 Downstream.....	19
2.1.3 Barragem de Construção central.....	20
2.1.4 Barragem de Retenção.....	20
3º Capítulo - Problemas associados a este tipo de barragem.....	25
3.1 Lixiviados.....	27
3.2 Ravinamentos e as suas implicações.....	27
3.2.1 Tipos de ravinamentos.....	27
3.2.2 Como tratar os ravinamentos.....	27
3.2.3 Problemas associados à subida do nível do rio.....	28
4º Capítulo - Estudos prévios consultados para este estudo.....	29
5º Capítulo - Sectores e Subsectores em estudo.....	33
5.1 Sector 1 – Situação actual.....	37
5.2 Objectivos a atingir e acções a realizar na Sector 1.....	41
5.3 Sector 2 – Situação actual.....	43
5.4 Objectivos a atingir e acções a realizar na Sector 2.....	50
5.5 Sector 3 – Situação actual.....	51
6º Capítulo - Zona em estudo, Caracterização.....	61

6.1	Altura, declive, preenchimento, tratamento dos efluentes e precipitação.....	63
7º Capítulo - Geofísica .....		67
7.1	Perfis obtidos sobre o coroamento da barragem de lamas .....	74
7.2	Perfis do talude da barragem de lamas.....	78
8º Capítulo - Simulação efectuada com base em materiais da escombreira.....		81
8.1	Descrição do modelo.....	83
8.1.1	Materiais utilizados.....	83
8.2	Preparação, montagem e procedimento .....	84
8.3	Apresentação dos resultados e conclusões da experiência.....	89
9º Capítulo - Conclusões .....		93
9.1	Recomendações para trabalhos futuros .....	100
10º Capítulo - Bibliografia.....		101

#### Anexos

Anexo A – Muro do poço e muro de suporte.

Anexo B - Grangeia C., Ávila, P., Matias, M., Ferreira da Silva, E. (2010). *An integrated investigation of the Rio tailings - Panasqueira mine (Centre Portugal)*. Pag.6 – 12.

Anexo C - Precipitação diária máxima anual (mm) de Silvares.

Anexo D - VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu. (2010). Vila Velha de Ródão.

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da localização da Mina da Panasqueira. ....	3
Figura 2 - Esquema da cedência da Barragem de Aznalcóllar. ....	5
Figura 3 - Visualização do desastre de Aznalcóllar. ....	5
Figura 4 - Panorâmica da lavaria da Mina da Panasqueira. ....	7
Figura 5 - Pormenor da intrusão granítica. ....	8
Figura 6 - Filões Hidrotermais da Panasqueira. ....	10
Figura 7 - Pá carregadora em trabalho na mina da Panasqueira. ....	11
Figura 8 - Modelo esquemático do funcionamento da mina, bem como da sua profundidade. ....	11
Figura 9 - Esquematização do método de exploração da mina. ....	12
Figura 10 - Diagrama da Lavaria do Rio. ....	14
Figura 11 - Esquema da barragem Upstream (Fiúza 2009). ....	18
Figura 12 - Superfície freática (Fiúza 2009). ....	18
Figura 13 - Esquema de construção de uma barragem Downstream ( Fiúza 2009). ....	19
Figura 14 - Esquema de uma barragem de construção central (Fiúza 2009). ....	20
Figura 15 - Esquema de uma barragem de retenção. ....	21
Figura 16 - Imagem satélite tirada do Google com divisão em sectores de estudo. ....	35
Figura 17 - Pilha de sulfuretos. ....	37
Figura 18 – Canal de escoamento da pilha de sulfuretos. ....	38
Figura 19 - Escorregamentos na pilha de sulfuretos. ....	38
Figura 20 - Espaçamento entre a pilha de sulfuretos e a borda dos estéreis. ....	39
Figura 21 - Ravinamentos lineares na parte lateral da escombrelra, adjacente à pilha de sulfuretos. ....	39
Figura 22 - Canal preferencial para as escorrências (linha de água). ....	40
Figura 23 - Foto do sector 1 e do reflorestamento natural existente. ....	41
Figura 24 - Valeta trapezoidal. ....	42
Figura 25 - Interior do tanque de neutralização com vista da descarga de lixiviado. ....	43
Figura 26 - Bordo do tanque de neutralização e estrutura obsoleta de mistura. ....	43
Figura 27 - Máquina de mistura da cal com água potável e o medidor de pH existente. ....	44
Figura 28 - Canal de descarga da água neutralizada. ....	44
Figura 29 - Antiga lavaria do Cabeço do Pião em reabilitação. ....	45
Figura 30 - Visualização da erosão acentuada no talude e da vegetação que precede esta zona recobrando a encosta. ....	45
Figura 31 - Caminho de acesso à barragem de lamas. ....	46
Figura 32 - Fotografia do caminho estreito, com a visualização da tubagem. ....	47

Figura 33 - Degradação do caminho de circulação automóvel. ....	47
Figura 34 - Estreitamento e má conservação da via de circulação.....	48
Figura 35 - Degradação da berma da via de circulação. ....	49
Figura 36 - Desmoronamento do talude na estrada de acesso à barragem de lamas.....	49
Figura 37 - Contentores de recolha de lixo industrial. ....	50
Figura 38 - Fotografia da zona em estudo com a delimitação em extensão.....	51
Figura 39 - Parte inicial da barragem de lamas (Área A).....	52
Figura 40 - Parte superior e a evidente erosão existente. ....	52
Figura 41 - Vista da Área B com a visualização dos três primeiros cachimbos. ....	53
Figura 42 - Vista da segunda lagoa, com realce do cachimbo a vermelho. ....	54
Figura 43 - Esquema de construção e drenagem da barragem de lamas, do arquivo da empresa Beralt.....	55
Figura 44 - Vista da última lagoa (Área C).....	56
Figura 45 - Vista da última lagoa com realce da linha de água (a amarelo) através da vegetação natural.....	56
Figura 46 - Vista frontal do talude da barragem de lamas. ....	57
Figura 47 - Vista da base do talude da barragem de lamas. ....	58
Figura 48 - Estado do talude inferior da barragem e a sua proximidade ao rio. ....	59
Figura 49 - Central de bombagem de lixiviados. ....	59
Figura 50 - Registo de medição do pH de escorrências junto à bomba dos lixiviados da resteva. ....	60
Figura 51 - Esquema de dimensões da barragem de lamas.....	63
Figura 52 - Secções longitudinais das seis sondagens efectuadas na barragem de lamas.....	65
Figura 53 - Perfil da secção 6 da barragem de lamas, com percolação de água pelo interior da estrutura.....	66
Figura 54 - Radar de solos.....	69
Figura 55 - Radar de solos emite um impulso electromagnético de energia. ....	72
Figura 56 - Emissão efectuada em forma de cone. ....	72
Figura 57 - Perfil n.º 1.....	74
Figura 58 - Perfil n.º 2.....	74
Figura 59 - Perfil n.º 3.....	75
Figura 60 - Perfil n.º 4.....	75
Figura 61 - Perfil n.º 5.....	76
Figura 62 - Perfil n.º 6.....	76
Figura 63 - Operação de amostragem de um perfil ao longo do coroamento. ....	77
Figura 64 - Perfis n.º 7, 8 e 9.....	78
Figura 65 - Preparação de um perfil do talude.....	79

Figura 66 - Visualização da segurança necessária para proceder ao ensaio. ....	80
Figura 67 - Visualização da descida do talude com o radar de solos.....	80
Figura 68 - Caixaote perfurado.....	84
Figura 69 - Caixaote com os tubos de drenagem colocados e colados.....	85
Figura 70 - Vista do caixaote perfurado com os cachimbos e a gravilha.....	85
Figura 71 - Pormenor da vedação das pás do empilhador.....	86
Figura 72 - Deposição final das lamas.....	87
Figura 73 - Fim da montagem da experiência.....	88
Figura 74 - Início da experiência laboratorial.....	90
Figura 75 - Experiência número 3 com vista dos cachimbos a drenar a água em excesso na parte superior.....	90
Figura 76 - Experiência número 4 com canal de drenagem à retaguarda e cachimbos operacionais.....	91
Figura 77 - Foto de assentamento na Barragem de Lamas.....	96
Figura 78 - Esquema da caleira trapezoidal com impermeabilização através de geomembrana.....	97
Figura 79 - Perspectiva 3D e aérea da barragem de lamas (Grangeia, 2010).....	98
Figura 80 - Vista da Aldeia de São Francisco de Assis com as escombreyras da Mina da Panasqueira como fundo.....	100



## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Quadro resumo das características das barragens de estéreis.....	22
Tabela 2 - Características geométricas da valeta trapezoidal. ....	42
Tabela 3 – Quadro de frequências, profundidades de penetração e aplicações das antenas. ....	70
Tabela 4 - Quadro resumo dos tempos do ensaio laboratorial.....	89



# 1º Capítulo

Localização, Enquadramento Mineiro e Geológico da Área.



# 1 Localização, Enquadramento Mineiro e Geológico da Área.

## 1.1 Localização e diferentes contextos na evolução da mina.

As minas da Panasqueira encontram-se situadas entre a Serra da Gardunha e a Serra do Açor, concelhos da Covilhã e Fundão (distrito de Castelo Branco, Figura 1). Chegados à cidade do Fundão, segue-se em direcção a Silvares que acolhe as aldeias de Cabeço do Pião e Barroca Grande. Foi nestas duas localidades que se desenvolveram as actividades mineiras que perduram desde 1895, principalmente, para a extracção de volfrâmite.

No seu início, a exploração era feita em pequenos filões à superfície com uma lavaria muito rudimentar empregando cerca de 100 pessoas. Em 1898 era autorizada a concessão em *Diário do Governo à Sociedade de Minas de Volfram em Portugal*. Em 1911 a mina foi vendida a uma companhia inglesa.

Com esta nova empresa foi dado um impulso no método de funcionamento da mina sendo



Figura 1 - Mapa da localização da Mina da Panasqueira.

construído um cabo aéreo com 5.1km, ligando os lugares da Barroca Grande, Rebordões, Barroco Fundo e Panasqueira. Este facto teve uma grande importância pois a falta de estradas fazia com que o transporte fosse muito demorado e, consequentemente, dispendioso.

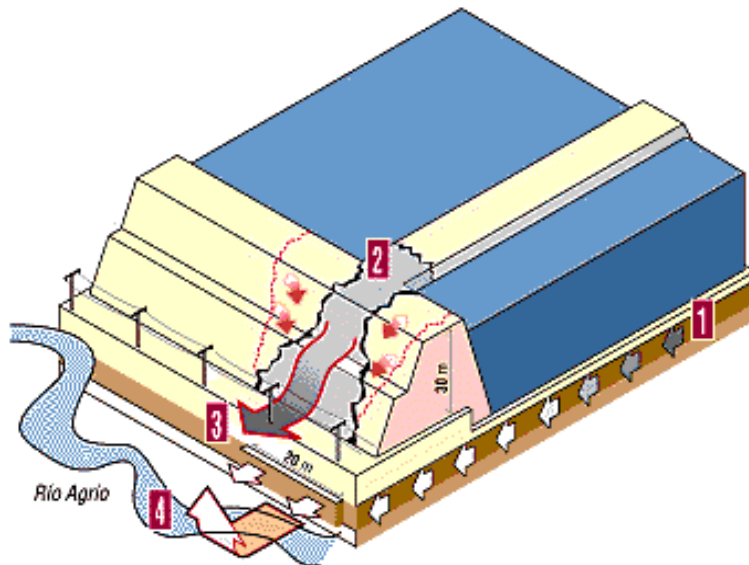
Com a I Grande Guerra a procura de volfrâmio aumentou, como tal, foi necessária uma ampliação da lavaria. Neste período de guerra chegaram a trabalhar mais de 1800 pessoas na mina, directa ou indirectamente.

A encosta oposta ao local em estudo é um bom exemplo dessa intensa actividade na qual se denotam várias cortas onde as pessoas que trabalhavam por conta própria na área de exploração, vendiam o minério à mina (actividade conhecida por “kilo”), sendo que nesta altura estes trabalhadores eram cerca de 1000.

Com o fim da guerra as cotações oscilavam muito, mas com uma subida mais sustentada das mesmas entram novos accionistas e a companhia passou a designar-se *Beralt Tin & Wolfram Limited*.

## 1.2 Justificação do local em estudo

Entre 1928 e 1934 prolonga-se o cabo aéreo, passando este a ligar também o Vale das Freiras, Barroca, Alvoroso e Cabeço do Pião. Este último lugar passa a ser visto como local estratégico pois é banhado pelo Rio Zêzere, aproveitando-se assim as suas águas para a construção da primeira lavaria. Deste modo, esta passa a chamar-se “Lavaria do Rio” onde se passou a depositar todo o material estéril rejeitado na lavaria procedendo-se à construção de uma escombreira. As escombreiras são o maior legado negativo de uma mina, quer para a população circundante, quer para o país onde estas se encontram, pois necessitam de uma manutenção vitalícia.



**Figura 2 - Esquema da cedência da Barragem de Aznalcóllar.**

O desleixo verificado foi, de facto, o que chamou a atenção para um estudo de soluções que possam minimizar o seu impacto no meio e garantir que não ocorrem, ou pelo menos minimizar os riscos de ocorrer um desastre ambiental como aconteceu em Espanha com a barragem de Aznalcóllar (Figura 2 e 3) ou em Buffalo Creek, West Virginia nos Estados Unidos da América. No caso espanhol “*houve um deslocamento do solo inferior à barragem a pequena profundidade que teve força para suportar a barragem, ocorrendo assim movimentos ao longo de um plano de cedência, o que pode originar uma derrocada parcial ou completa da barragem.*

*Quando há um colapso da barragem de estéreis, uma grande parte dos resíduos*



**Figura 3 - Visualização do desastre de Aznalcóllar.**

*armazenados podem ser libertados numa forma de onda de lamas, originando destruições catastróficas. Tipicamente estas ondas de polpa podem viajar a velocidades tão elevadas como 8 a 40 km/h. A extensão e velocidade do deslizamento dependem do volume e da altura da barragem, das propriedades dos resíduos armazenados e do declive do terreno, entre outros.” (Fiúza, 2009)*

O apogeu das minas da Panasqueira deu-se durante a II Grande Guerra onde estas se tornaram numas das maiores minas de volfrâmio do Mundo, gerando uma actividade sem precedentes nas três principais concessões: Panasqueira, Barroca Grande (ambas concelho da Covilhã) e Cabeço do Pião (concelho do Fundão).

Nesta altura, o número de operários escala sem precedentes, atingindo mais de dez mil pessoas com emprego directo ou indirecto.

A volframite, cassiterite e calcopirite são os minerais principais da paragénese da Panasqueira, tendo-se focado neles a exploração económica desta mina. O volfrâmio é o principal produto de exploração. Foram os americanos que descobriram as suas potencialidades, ou seja, o tungsténio quando associado ao aço confere-lhe alta resistência. A partir daí as suas aplicações foram várias, desde o filamento das lâmpadas, às lâminas das máquinas de grande abrasão, às brocas, à electrónica e ao material cirúrgico.

Com características de dureza semelhantes às do diamante, possui também uma alta densidade, no entanto, é possível ser trabalhado em pó e é também resistente a temperaturas de fusão muito elevadas. O uso do volfrâmio, um dos últimos metais a ser descoberto pelo homem, nunca se tornou de fácil acesso devido ao seu preço.

É de referir que o volfrâmio era procurado devido à sua utilidade na indústria metalúrgica como endurecedor de ligas metálicas, em particular, para a construção de armas.

Na década de 60, devido à baixa cotação atingida pelo minério, as Minas da Panasqueira começam a produzir outro tipo de concentrados, que ajudam a diminuir os prejuízos e a aumentar a sustentabilidade da exploração, nomeadamente a cassiterite.

A história da exploração de estanho nesta região é bastante mais antiga. Conhecido desde, pelo menos, a idade do Bronze, este elemento químico é extraído da cassiterite e é utilizado em conjugação com o cobre para formar o bronze (liga de cobre e estanho).

A Panasqueira e Neves-Corvo são actualmente as duas produtoras de concentrados de cassiterite em Portugal. A Panasqueira é segunda no ranking de produção de volfrâmio atrás apenas da china e a líder na produção de tungsténio.

Com o 25 de Abril de 1974, a mão-de-obra encareceu e a solução foi, então tal como hoje em dia, cortar nos operários e proceder-se a uma massiva mecanização das operações subterrâneas. Mesmo assim, os altos e baixos das cotações condicionaram as explorações mineiras, tendo as minas encerrado entre 1994 e 1995.



**Figura 4 - Panorâmica da lavaria da Mina da Panasqueira.**

Em 1995 com um novo investidor a designação da empresa muda para *Beralt Tin & Wolfram*, a qual alargou a exploração subterrânea e concentrou na Barroca Grande a totalidade do trabalho de apuramento com uma nova lavaria (Figura 4) que persiste até aos dias de hoje.

A instabilidade e a concorrência da China, onde a exportação é muito mais barata, fazem deste país o líder mundial do mercado com uma cota de 80%. Assim, a produção que chegou a ser de 300 toneladas por mês passou para cerca de 100.

### 1.3 Geologia

A exploração da mina da Panasqueira incide sobre um jazigo composto por uma sequência de filões de quartzo hidrotermais e sub-horizontais que se encontram encaixados em xistos da Beira. As fases iniciais da Orogenia Hercínica manifestaram-se sobre o complexo xistoso das beiras através de metamorfismo de baixa intensidade dando origem, numa primeira fase, a grandes dobras orientadas segundo um eixo NNE e ENE e, posteriormente numa segunda fase, considerada a principal, produziu a xistosidade. Os sedimentos sofreram alteração por metamorfismo regional dando origem a xistos e as unidades mais arenosas resultaram em quartzitos de grão fino. (Corrêa de Sá, et al., 1999)

Campanhas de sondagem mostraram que por baixo da mina se encontra uma massa granítica (Figura 5) da qual faz parte a Serra da Estrela, o que seria de prever, uma vez

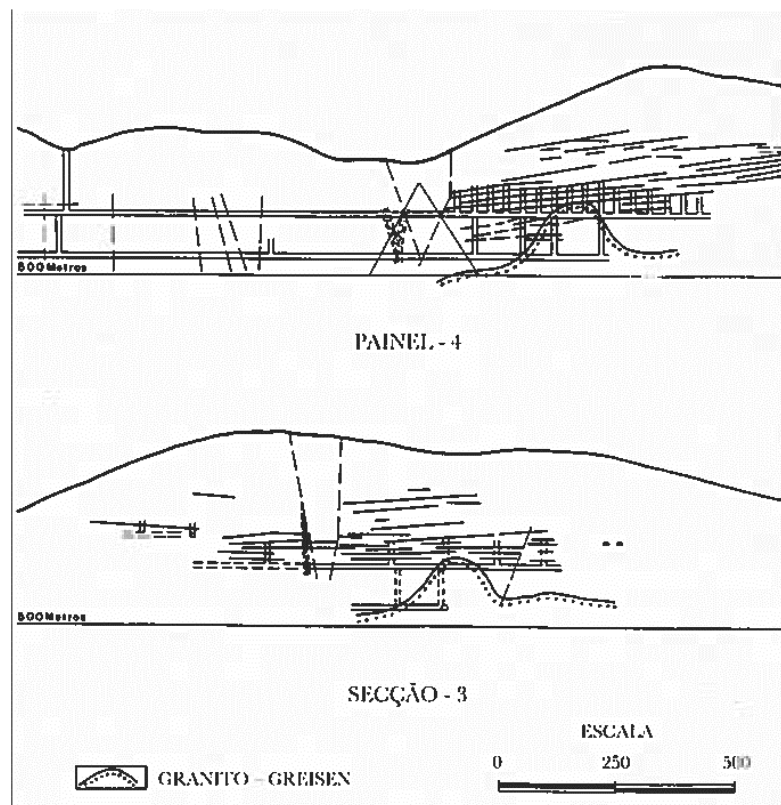


Figura 5 - Pormenor da intrusão granítica.

que há uma zona de contacto entre o Complexo Xistoso das Beiras e o Complexo Granítico Hercínico do norte de Portugal, sendo que a mina está próximo do limite sul deste último. Após ser detectada uma cúpula de granito greisenizado, esta foi estudada na tentativa de perceber se seria a fonte principal de fluídos mineralizadores que deram origem aos filões economicamente exploráveis.

A cúpula apresenta cerca de 150 m de diâmetro e ergue-se cerca de 120 m, sendo que no tecto as rochas variam desde granito fortemente greisenizado até um greisen com muscovite e quartzo. O greisen contém arsenopirite, calcopirite, blenda e um pouco de cassiterite.

Ainda na zona de trabalhos é também possível encontrar diques de dolerito que podem ocupar falhas pré-existentes, apresentando-se geralmente verticais ou sub-verticais. A rocha apresenta grão fino composta essencialmente de labradorite e piroxena anfibolitizada. A sua presença não tem qualquer interferência na mineralização.

As falhas que atravessam a mina são uma constante em toda a zona de trabalho, apresentando-se quase verticais no sentido norte e nordeste. Pensa-se que estas tiveram o seu início com a Orogenia Hercínica e que foram reactivadas na Orogenia Alpina. As falhas que se distribuem pela mina dão origem a dois sistemas, um N-S e outro ENE-WSW. (Corrêa de Sá, et al., 1999)

Tal como já foi dito, o jazigo da Panasqueira é constituído por um elevado número de filões quartzo que contêm um grande número de minerais como é o caso da volframite, calcopirite e cassiterite, que além de apresentarem interesse económico também se encontram em quantidade suficiente para que a sua exploração seja rentável. Admite-se que estes filões se tenham formado devido à abertura vertical do conjunto de diaclases sub-horizontais pré-existentes. A origem destas diaclases é ainda um assunto pendente e sem uma explicação definitiva.

## **1.4 Mineralogia**

A qualidade e tamanho dos cristais, tornaram a Mina da Panasqueira mundialmente conhecida, porque, de facto, encontram-se algumas raridades nas cavidades que se formam dentro dos filões hidrotermais. Dizem-se uma raridade uma vez que são dificilmente encontrados noutras ocorrências de estanho/tungsténio. Os cristais de

apaptite e volframite são únicos, e os cristais de quartzo, cassiterite, arsenopirite e siderite destacam-se pela sua dimensão e qualidade. Desde o seu início, na mina da Panasqueira já foram identificados mais de 64 minerais diferentes, alguns dos quais apareceram apenas uma vez. (Corrêa de Sá, et al., 1999)



**Figura 6 - Filões Hidrotermais da Panasqueira.**

De certa forma, a paragénesis dos filões hidrotermais da Panasqueira diz-se complexa, mas aceita-se a teoria de que esta se deu em 4 fases. Numa fase inicial instalaram-se os óxidos/silicatos como o quartzo, a volframite e cassiterite. Na segunda fase, seguem-se os principais sulfuretos como a pirite, arsenopirite e pirrotite. A alteração deste último dá origem à terceira fase. A última fase é a designada fase tardia dos carbonatos como a dolomite e calcite. (Corrêa de Sá, et al., 1999)

### 1.5 Os métodos de exploração e a sua evolução

A exploração da Mina da Panasqueira não foi sempre realizada tal como hoje a conhecemos. Durante 100 anos de exploração mineira, muitas foram as alterações, quer no método de exploração, quer nos equipamentos e condições de trabalho.

Desde o início e durante aproximadamente 40 anos a exploração era feita manualmente, posteriormente, surge a primeira grande alteração, a introdução do ar comprimido e do martelo pneumático ligeiro manual com injeção de água para furar. Os desmontes

tinham cerca de 1,5 metros e a cada 16 metros de frente havia um corredor onde circulavam as vagonetas feitas de madeira que eram carregadas com minério manualmente. O minério era despejado em chaminés até ao piso de rolagem onde, posteriormente era transportado por mulas até à superfície (Figura 8). Utilizava-se a



Figura 7 - Pá carregadora em trabalho na mina da Panasqueira.

rocha encaixante para preencher as cavidades escavadas, pois os finos que resultavam das pegas de fogo eram totalmente perdidos.

Após terminar a Segunda Guerra Mundial, o tungsténio desceu drasticamente o seu valor no mercado o que obrigou a mina a melhorar os métodos de trabalho.

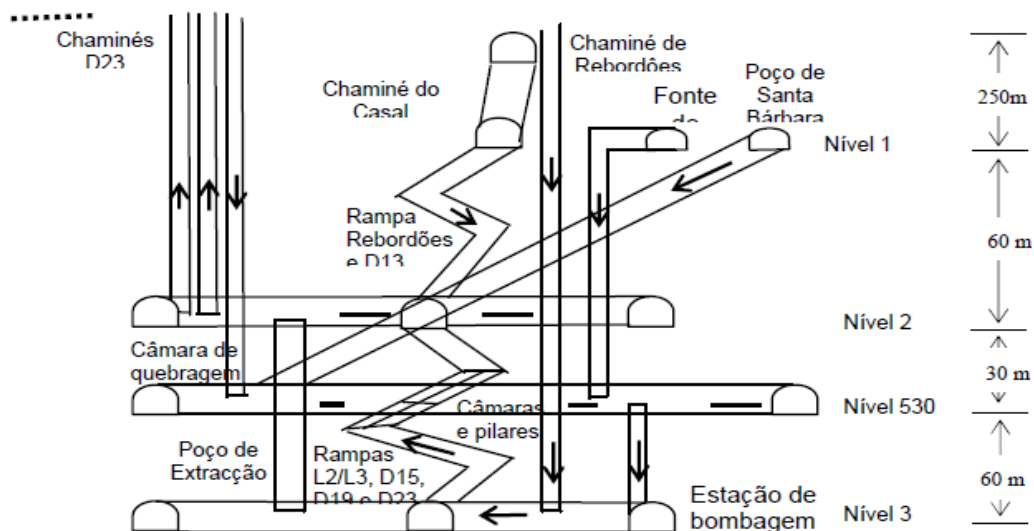


Figura 8 - Modelo esquemático do funcionamento da mina, bem como da sua profundidade.

Implementou-se o método de frentes corridas, ao mesmo tempo que as galerias principais de rolagem foram equipadas com carris. Nas frentes de desmonte, a limpeza passa a ser feita mecanicamente com recurso a arrastadeiras (figura 7).

Actualmente, a cada 50 metros de galeria abrem-se chaminés que ligam aos vários níveis e que servem tanto para escoamento do minério como para aceder aos filões. Posto isto, abrem-se inclinados que sempre que possível interligam com as chaminés em quatro direcções distintas. Os inclinados são as futuras frentes de desmonte.

A exploração actualmente é feita através do método de câmaras e pilares e remonta à década de 70 onde se adoptou por completo este método de desmonte.

Primeiro é traçada uma rampa de acesso ao nível ou sub-nível que vai ser explorado. Seguidamente são efectuados travessas num quadriculado de 11 por 11 metros. Cada travessa tem 5 metros de largura por 2 de altura. Nesta primeira fase ficam pilares de 11 por 11 metros. Depois caso os teores do minério sejam adequados, cada pilar destes é

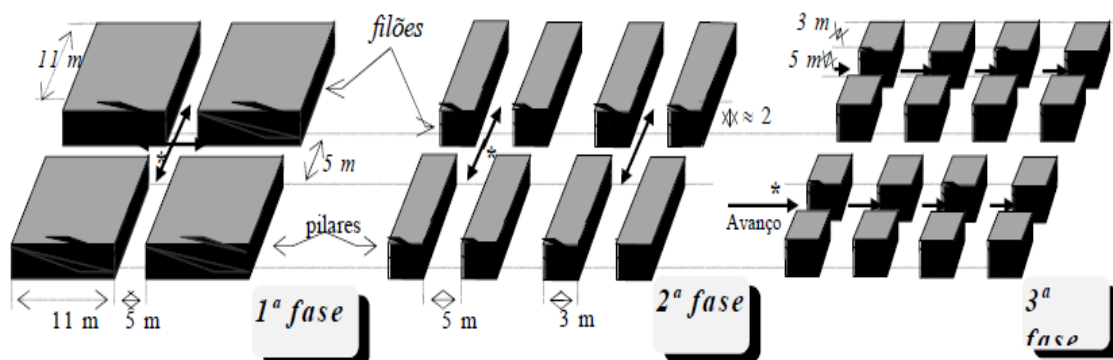


Figura 9 - Esquemática do método de exploração da mina.

cortado por uma nova travessa de 5 por 2 metros. Restando no final pilares de 3 por 3 metros (figura 9).

O minério é carregado por pás carregadoras até poços de descarga que servem também de silos. Estes poços têm a sua saída num piso de rolagem, onde vagonetas levam o minério até a um poço e através de um elevador segue para o piso onde existe uma câmara de fragmentação. Desta câmara, o minério segue por uma rampa até à superfície, onde é tratado na lavaria da Barroca Grande (local onde os minérios são concentrados actualmente).

A configuração do tratamento de minérios nem sempre foi a existente, como mostram os excertos do Boletim Minas do Serviço de Fomento Mineiro, 1973.

“As minas da Panasqueira possuem duas lavarias: uma de desgrossamento, situada à boca da mina (lavaria da Barroca Grande) e uma instalação de concentração e apuramento, a cerca de 4 Km (lavaria do Cabeço do Pião), ligada à primeira através de um cabo aéreo.” (Moreira, 1973).

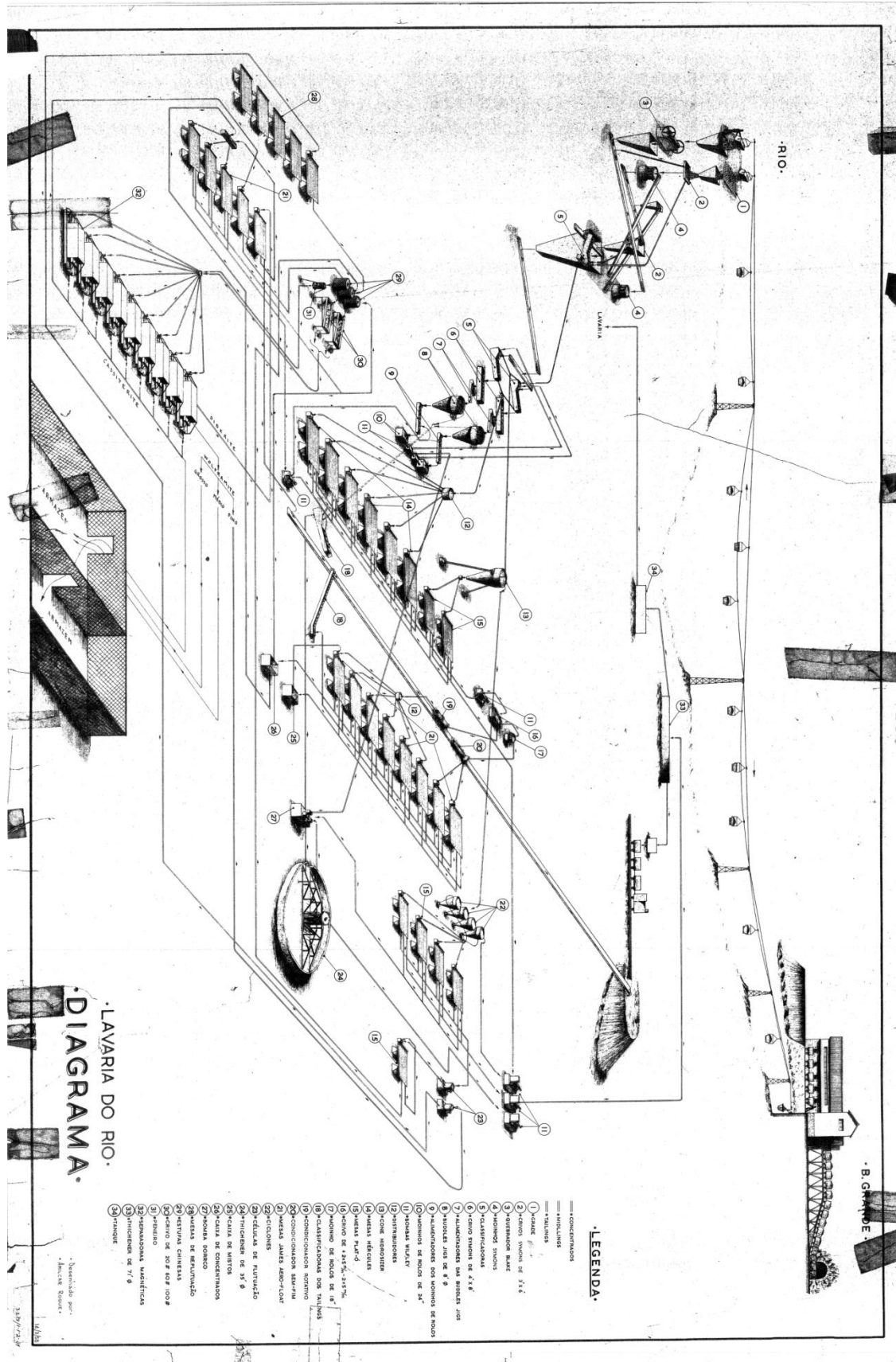
“Tanto uma como outra são bastante antigas mas a da Barroca Grande sofreu após 1970 transformações profundas com a montagem de um complexo processo de desgrossamento por ciclonação em meios densos.” (Moreira, 1973), conseguindo eliminar 96,6% de estéril.

“A eliminação de estéréis, logo à boca da mina tem muita importância nas condições de tratamento desta exploração mineira, pois origina, além de uma redução do custo global do beneficiamento, um aumento da capacidade de tratamento. Efectivamente essa capacidade está condicionada às possibilidades de transporte do cabo aéreo que liga as duas instalações.” (Moreira, 1973).

“Por outro lado, o diagrama da lavaria do Cabeço do Pião simplifica-se substancialmente, sempre que o desgrossamento seja realizado exclusivamente por ciclonação em meios densos. Efectivamente, este processo entrega pré-concentrados mais ricos e a calibre inferior a 4 milímetros, o que permitirá eliminar as secções de fragmentação e jigagem actualmente ainda existentes no Cabeço do Pião. O tratamento nesta última instalação limitar-se-á a operações de lavagem em mesas, mesas de flutuação e em espumas, além de separação electromagnética de alta intensidade de campo, esta já no apuramento final dos concentrados.” (Moreira, 1973).

Da separação inicial em crivos, resultavam os estéréis depositados na área circundante à lavaria, tendo sido aproveitados para a construção da barragem de lamas. As lamas eram oriundas da separação a calibres finos das várias mesas e células de flutuação como mostra o seguinte esquema (Figura 10).

Figura 10 – Diagrama da Lavaria do Rio



# 2º Capítulo

Métodos de construções de barragens de estéreis



## **2 Métodos de construções de barragens de estéreis**

Os estéreis são constituídos pelos resíduos do processo de moagem que é utilizado para libertar os metais de interesse económico do minério extraído da mina.

Durante este processo, o minério é moído muito finamente e, conseqüentemente, tratado numa estação hidrometalúrgica. Como só uma pequena parte do metal extraído é aproveitado, a maior parte acaba por ficar como um fino resíduo.

Os estéreis contêm todos os outros constituintes do minério excepto o metal extraído, entre eles metais pesados e outras substâncias tóxicas. Para além disso, os estéreis são contaminados com químicos adicionados durante a fase de tratamento. A sua estabilidade mecânica é muito mais baixa devido ao pequeno tamanho do grão e à humidade residual, e como resultado da moagem, estes materiais tornam-se mais reactivos à alteação e lixiviação com chuva contribuindo para o aumento do teor de metais pesados.

Os finos produzidos são depositados numa grande superfície, construída para o efeito, onde ficam armazenados, à qual se dá o nome de Barragens de Estéreis.

O objectivo de uma barragem é armazenar polpas de resíduos e permitir a reciclagem da água para a estação de tratamento, uma vez que a fracção arenosa do resíduo nunca é impermeável, logo, o seu gradiente hidráulico também nunca o será. Assim, haverá sempre água a percolar a estrutura de armazenamento.

### **2.1 Principais métodos de construção de barragens de estéreis**

#### **2.1.1 Upstream**

No método de construção Upstream, o processo inicia-se partindo de um dique que fará a base, situado na parte mais a jusante da deposição a realizar e a partir do qual se vai depositando estéril de dimensões graúdas, construindo assim consecutivos e sucessivos diques. À medida que estes vão sendo depositados, crescem para montante fazendo com que o dique mais exposto e mais importante seja o inicial.

Conforme a barragem aumenta, os diques vão sendo sucessivamente apoiados nos finos depositados no seu interior. Para que exista estabilidade o dique inicial tem de ser bastante permeável (Figura 11).



Figura 11 - Esquema da barragem Upstream (Fiúza 2009).

À medida que a barragem vai crescendo em altura, a superfície de fractura potencial faz-se através da zona das lamias, cada vez mais afastada da superfície da parede de jusante, o que fará com que contribua cada vez menos para a estabilidade da barragem.

Este método de construção não é muito utilizado em barragens de grande altura ou em zonas sísmicas, não obstante é o método mais antigo e o mais economicista.

A estabilidade deste tipo de barragens é bastante particular devido ao seu método de construção.



Figura 12 - Superfície freática (Fiúza 2009).

Pode ocorrer uma ruptura se a distância que separa a bordadura da escombrelra e a retaguarda, onde ocorre a decantação, for ou se tornar demasiado pequena. Isto pode originar uma subida do nível freático, o que por sua vez denota uma superfície freática demasiado alta, provocando a erosão interna da barragem na parte mais sensível e que já anteriormente mencionámos, ou seja, o dique principal ou primário. Este fenómeno pode ocorrer por uma inundação, por exemplo (Fiúza, 2009).

Outro factor que deve ser considerado é a velocidade de elevação da barragem, pois se esta for demasiada pode criar excesso de pressão nos poros do armazenamento, tendo como consequência a diminuição da estabilidade do talude. Como tal, a elevação da barragem não deve ultrapassar os 15 metros por ano.

### 2.1.2 Downstream

No método de construção Downstream (Figura 13) a linha central dos sucessivos diques cresce no sentido contrário ao da deposição das lamas. Neste método, temos também no início um dique que é muito importante na manutenção da barragem através das suas características, que não permite a percolação da água ou lixiviados.

As sucessivas camadas adicionadas devem ser compactadas ou impermeabilizadas, e contêm na superfície a montante um canal de escoamento que acompanha a inclinação da barragem, a fim de se poder recolher todo o lixiviado ou água na parte de contacto com o material e na inferior, onde se constrói um caminho preferencial para posterior tratamento dos efluentes. Assim sendo, a construção do canal é faseada, sendo que a compactação dos diques não afecta o material já depositado nem é afectada pela deposição do mesmo (Fiúza, 2009).

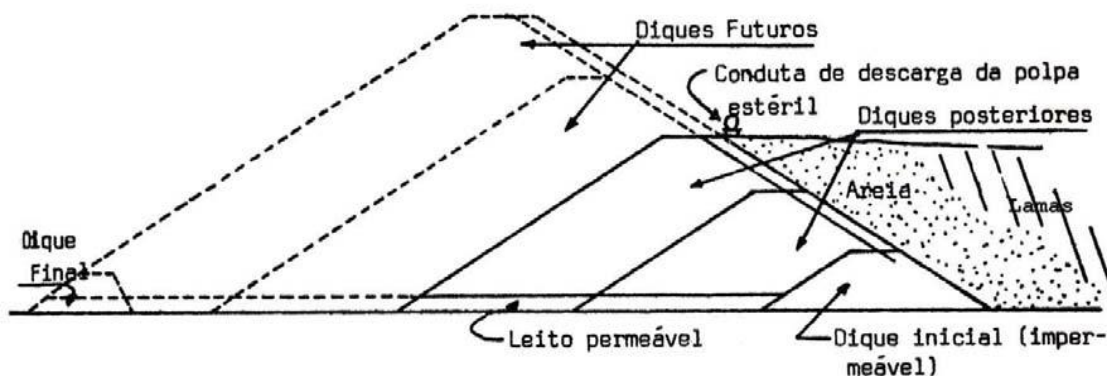


Figura 13 - Esquema de construção de uma barragem Downstream (Fiúza 2009).

Este método permite construir barragens de maiores dimensões e capacidade de armazenamento do que o método anteriormente descrito e é, pelo tipo de construção, mais sólido, logo, mais seguro.

### 2.1.3 Barragem de Construção central

No método de construção central, a parte superior da barragem (“crista”) é sempre horizontal e vai progredindo verticalmente. O dique inicial, tal como no método anterior, é impermeável e seguindo este as camadas subsequentes são compactadas mas agora dos dois lados. Na sua vertical é construído um canal de drenagem que a ajuda numa situação excepcional de cheia não deixando que a água ultrapasse a zona superior da barragem.

Este tipo de barragens é aconselhado para barragens altas com bastante capacidade e situadas em zonas sísmicas activas.

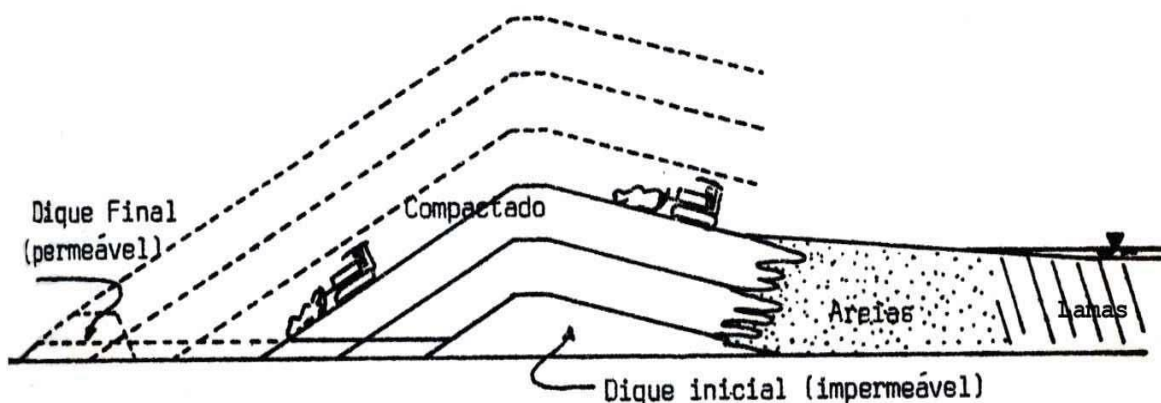
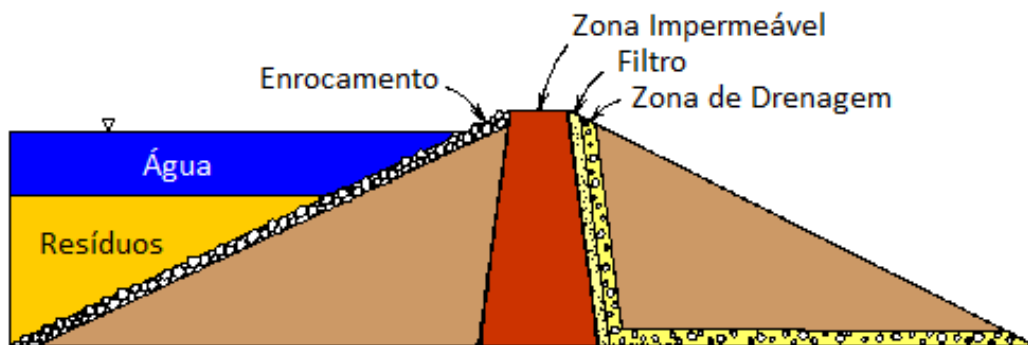


Figura 14 - Esquema de uma barragem de construção central (Fiúza, 2009).

### 2.1.4 Barragem de Retenção

Uma das premissas da construção de uma barragem de retenção é que na zona de armazenamento esta deve ter continuamente uma quantidade de lamas considerável entre barragem e a superfície de água limpa. Os resíduos depositados actuam como uma membrana impermeável que reduz a percolação através da parede de percolação forçada da barragem, logo, *“Quanto mais extensa for a deposição de lamas, mais baixa será a linha de percolação através da barragem e menor será o fluxo de água de infiltração e consequentemente o risco de rotura da estrutura”* (Fiúza, 2009).

## Barragem de Retenção



after: Vick 1983

**Figura 15 - Esquema de uma barragem de retenção.**

Esta barragem origina a decantação da polpa e a clarificação da água. Como a água fica à superfície, a mesma é recolhida e reutilizada pela lavaria. Esta remoção é levada a cabo por bombas dispostas em dispositivos flutuadores, por transbordo na tubagem central ou por um canal de descarga lateral que existe para prevenir o transbordo em alturas de maior afluência de caudal devido a chuvas, a descargas da lavaria, ou ambas.

O método de construção utilizado na área em estudo foi o método de construção Upstream.

Na tabela 1, podemos ver uma comparação entre todos os métodos enunciados.

**Tabela 1 - Quadro resumo das características das barragens de estêreis.**

	Barragem de Retenção	Upstream	Downstream	Construção Central
Características dos Resíduos	Adaptável a qualquer tipo de resíduo	Pelo menos 40-60% areia nos resíduos totais. Desejável uma baixa densidade de polpa para promover a segregação dos calibres	Adaptável a qualquer tipo de resíduo	Areias ou lodos de baixa plasticidade
Necessidades na Descarga	Qualquer processo de descarga é apropriado	Descarga periférica e um bom controlo da praia	Varia de acordo com os detalhes do projecto	Descarga periférica
Adequabilidade do Armazenamento de Água	Bom	Não é apropriado para um armazenamento de água significativo	Bom	Não é recomendável para armazenamento permanente.
Resistência Sísmica	Bom	Mau para zonas de risco sísmico	Bom	Aceitável
Restrições à velocidade de elevação	A barragem de contenção é construída previamente	Preferencialmente inferiores a 4,5 - 9 m/ano. Perigo quando superiores a 15 m/ano	Nenhuma	Restrições à altura de acordo com as velocidades
Características do Enchimento da Barragem	Solo natural de Empréstimo	Solo natural, resíduos arenosos ou escombros	Resíduos arenosos ou escombros quando as produções são suficientes ou solo natural	Resíduos arenosos ou escombros se as velocidades de produção forem suficientes ou solo natural
Custo Relativo da Barragem	Elevado	Baixo	Elevado	Moderado

Como se pode constatar pela tabela 1, o método Upstream, que foi utilizado na construção da Barragem de estéreis do Rio, tem uma vantagem para a qual ninguém mas principalmente as empresas mineiras são alheias, isto é, o facto de o custo de construção ser o mais baixo. Como em tudo, a relação custo/benefício é importante, todavia há que ter muito cuidado na construção deste tipo de barragens, pois pelo menos 40% a 60 % dos resíduos têm de ser areia e a polpa tem de ter uma baixa densidade, assim como a descarga tem de ser periférica e, acima de tudo, não convém ter muita água armazenada no seu interior.

Não obstante aos cuidados anteriores, a zona de implantação não pode ser sísmica devido ao seu método de construção, uma vez que não aguenta com choques transversais ou longitudinais. Para concluir, o seu ritmo de elevação óptimo não deve exceder os 4,5 a 9 metros por ano.



# 3º Capítulo

Problemas associados à barragem Upstream



## 3 Problemas associados à barragem Upstream

### 3.1 Lixiviados

As barragens de lamas contêm materiais rejeitados do processo de concentração de minério, com teores elevados em metais pesados e que estão expostos às condições atmosféricas. A percolação de águas superficiais lixivia estes materiais, formando uma água com pH extremamente baixo e elevada concentração em metais.

Está em curso, no Departamento de Minas e GeoAmbiente, a execução da Tese de uma colega de curso, Sílvia Antunes, onde se discute a geoquímica dos materiais da barragem e a hidrogeoquímica da envolvente da escombreyra do Rio. (Antunes, 2010).

### 3.2 Ravinamentos e as suas implicações

Os ravimentos são um problema constante para a manutenção dos taludes. Estes podem remediar-se ou serem deixados ao abandono.

#### 3.2.1 Tipos de ravimentos

Existem dois tipos de ravimentos: os ravimentos lentos e os ravimentos rápidos. Os primeiros surgem devidos à erosão causada pela natureza, como por exemplo o vento, ao material constituinte do talude, etc. Os segundos são originados pelas águas e chuvas que tendem a baixar o atrito interno das partículas, a dissolve-las ou corroê-las, de modo a começar a aparecer as primeiras brechas.

#### 3.2.2 Como tratar os ravimentos

Os ravimentos são tratáveis através de diversas soluções de engenharia que cada vez mais evoluem, desde as presas/gaviões, às malhas ou à deposição de material.

Este último método é o que mais nos interessa no caso das barragens de estéreis devido à sua composição, não sendo por isso um método mais fácil que os outros, pois envolve uma manutenção permanente e um cuidado especial na sua remediação.

Não é qualquer material que serve para fazer uma deposição sobre um ravimento. De preferência deverá ser o mesmo material, que no nosso caso é bastante fácil de arranjar,

e não um com uma dimensão desmesurada, como é o caso dos calhaus, ou entulho, quando o material que existe é um material mais fino. Uma qualquer medida pode piorar ainda mais, pois um material diferente não se irá segurar, isto é, “agarrar” ao talude como o material nativo e irá efectuar escorregamentos perigosos quando o que se pretendia era o oposto.

### 3.2.3 Problemas associados à subida do nível do rio

Geralmente as barragens estão associadas às lavarias das minas que por sua vez se encontram normalmente perto de cursos de água para reduzir custos. Este facto leva a que as barragens que não são construídas com contemplação da subida do nível do rio tenham problemas de erosão precoce na base, pois com as épocas de maiores cheias ou as cheias sazonais, o nível do rio ultrapassa o nível da base da barragem. Tal não pode acontecer sob pena de, com a erosão provocada pelo arrastamento dos materiais, o equilíbrio seja afectado, havendo um desmoronamento e a consequente queda das lamas arrastadas pelo rio, como foi já referido nos casos dos acidentes citados.

# 4º Capítulo

Estudos prévios consultados para este trabalho



## 4 Estudos prévios consultados para este trabalho

Apesar de existirem diversos estudos efectuados na escombreyra do Cabeço do Pião, área na qual se centra esta Tese, foi dada maior relevância apenas a três trabalhos, uma vez que estes, se enquadravam melhor e com mais informação sobre o local.

O primeiro relatório a ser abordado foi sobre a subida do rio, o relatório de “Protecção da Base da Escombreyra do Cabeço do Pião, Logística Aplicada ao Planeamento Mineiro”, de Carlos Martins, Nuno Sousa, Ricardo Pereira e Tânia Rocha, de 2007, elaborado didacticamente na Faculdade de Engenharia do Porto. Neste relatório são abordados assuntos como a inclinação dos taludes, a drenagem da água da chuva, o tratamento das águas, o funcionamento dos cachimbos e a erosão da base da escombreyra. O trabalho foca-se na erosão da base da escombreyra bem como no desvio do rio (cf. Bibliografia).

O segundo trabalho, aborda mais concretamente estes assuntos e denomina-se “Estabilidade das escombreyras do Cabeço do Pião – Minas da Panasqueira”, por André Santos e Vasco Duarte (2007) (cf. Bibliografia), elaborado didacticamente na Faculdade de Engenharia do Porto, no qual estes colegas proporcionam uma nova solução, mais credível e sustentada sobre como resolver o problema do nível freático recorrendo a um muro especial da sua autoria (cf. Anexo A), bem como o tratamento dos lixiviados com novas centrais de bombagem e recolha das águas pluviais na parte anterior da barragem.

Por sua vez, o terceiro estudo, denominado “An integrated investigation of the Rio tailings - Panasqueira mine (Centre Portugal)”, C. Grangeia, P. Ávila, M. Matias, E. Ferreira da Silva, de 2010 (cf. Anexo B), dá uma nova perspectiva sobre a barragem de lamas do Cabeço do Pião, juntando trabalhos de caracterização geoquímica e geofísica, fazendo novas abordagens com maior tecnologia no local, assim como uma caracterização mais detalhada dos metais dispersos e a sua forma de dispersão. Usaram também um radar de solos para permitir “visualizar” o que se encontra no interior da barragem e como se encontra.



# 5º Capítulo

Sectores e Subsectores em estudo



## 5 Sectores e Subsectores em estudo

O local em estudo envolve uma vasta área (figura 16), e como tal houve a necessidade prática de a dividir em sectores. Assim, toda a área foi sub-dividida em três sectores, que passaremos analisar nos próximos subcapítulos tendo recaído, em particular, a nossa atenção no sector 3, precisamente aquele onde se situa a Barragem de Lamas.



**Figura 16 - Imagem satélite tirada do Google com divisão em sectores de estudo.**

Coincidente com o início do sector 1, existe uma linha de água que se estende desde a estrada municipal até ao rio Zêzere. Seguindo em direcção à antiga lavaria existe um extenso talude com vegetação, observam-se vestígios da antiga central de bombagem. No final quase junto à antiga lavaria do rio, encontramos uma central de transformação de energia bem cuidada ao lado da pilha de sulfuretos. A antiga lavaria, que estava a ser recuperada ao abrigo do Projecto Rio, encontra-se meia “despida” e desprotegida pois nem a cobertura chegou a ser completada. O Projecto Rio é um projecto elaborado pela câmara municipal do Fundão, e tem como objectivo a recuperação da Lavaria e da escombreira como parte integrante de um museu mineiro e centro lúdico. Ela é o marco de divisão escolhida para fim do Sector 1 e início do Sector 2.

Este segundo sector, tem como principal preocupação, tal como o anterior, o talude e a sua manutenção mas o que o caracteriza é a central de neutralização dos afluentes recolhidos na base da barragem. Estes afluentes, chamados de lixiviados, são recolhidos

visto possuÍrem um pH muito baixo e se fossem descarregados directamente para o rio iriam contaminar a Água com metais pesados, nomeadamente arsénio. Assim no plano mais elevado existe esta central que fica ao nível do caminho que permite o acesso à barragem de lamas, e por questões logÍsticas, o sector delimitado para a zona que estamos a descrever interrompe-se a meio deste acesso.

Ao longo do percurso, há um talude inferior que necessita, inevitavelmente, de manutenção bem como o caminho que é trilhado em cima do estéril e que na parte inferior vai diminuindo, encontrando-se já muito estreito e muitas vezes entupido com escorregamentos do talude superior.

Ao longo destes dois sectores, anteriormente descritos, circulam veículos pela estrada camarária onde também há vestÍgios de material que escorregou do talude, ficando as caieiras de escoamento das Águas pluviais entupidas com escombros.

Seguindo o caminho degradado que vai dar à barragem de lamas reparamos nos restos de materiais de apoio como a torre do cabo de transporte do material ou uma locomotiva antiga que ainda permanece em cima de uns carris. Este é o último ponto de referência do Sector 2 e início do seguinte.

No Sector 3, existem duas zonas distintas, uma superior que alberga uma pilha de estereis e uma central que alberga as lamas zonadas nas Áreas A, B e C. A parte superior é apenas um depósito de escombros mais graúdo que tem escorregamentos que terminam na parte posterior da barragem de lamas, tendo na parte terminal desta, uma linha de escoamento preferencial. Os escorregamentos encontram-se, como em todas as áreas descritas, por remediar e sem muito cuidado, principalmente junto à linha de escoamento preferencial.

A barragem de lamas apresenta um pobre e insuficiente cuidado com o coroamento. No início da barragem a diferença de altura entre o topo do coroamento e as lamas chega a 2,5 metros e a meio, onde se encontra uma passagem feita com estéril que recobre as lamas, é de 1,5 metros chegando no fim desta a ser de 0,5 metros. No entanto, o deficiente cuidado com a barragem não se cinge só à altura da bacia, que tem como objectivo o encaixe de água em excesso, não deixando esta ultrapassar o topo do coroamento, verifica-se ainda que o talude tem vindo a sofrer erosão e a sua manutenção é ineficiente e escassa.

Na base do talude da barragem de lamas acumulam-se os estéreis provenientes dos escorregamentos e ravinamentos ocorridos, sendo quase intransitável o percurso inferior que é um caminho pedestre assinalado para turismo. A central de bombagem que opera nesta zona está operacional mas a sua manutenção tem sido difícil e muitas vezes tem estado inoperacional. Outro aspecto que condiciona o seu funcionamento são os canais de recolha que existem em torno da barragem e que se encontram entupidos, degradados, ou tapados com estéril.

### **5.1 Sector 1 - Situação actual**

No sector 1, já foi efectuada a selagem do depósito de resíduos de arsenopirite da antiga Lavaria do Rio (figura 17). Foi revegetada com resultados positivos, mas o problema surge quando não existe manutenção, como se pode verificar nas figuras 18 e 19. Ausência de limpeza dos canais de escoamento (figura 18) e escorregamentos de terras não reparados (figura 19).



**Figura 17 – Pilha de sulfuretos.**



**Figura 18 - Canal de escoamento da pilha de sulfuretos.**



**Figura 19 - Escorregamentos na pilha de sulfuretos.**



**Figura 20 - Espaçamento entre a pilha de sulfuretos e a borda dos estêreis.**

Não obstante aos problemas anteriores, a pilha foi perigosamente construída junto do talude da escombreira que, como é visível nas figuras 20 e 21, apresenta zonas com grandes ravinamentos.



**Figura 21 - Ravinamentos lineares na parte lateral da escombreira, adjacente à pilha de sulfuretos.**

Neste sector existe também uma linha de água que tem vindo a arrastar os estéreis até ao rio e que nunca sofreu intervenção, por forma a prevenir a sua erosão (Figura 22).



**Figura 22 - Canal preferencial para as escorrências (linha de água).**

Foram referidas as duas principais “ameaças” nesta área, situando-se uma no início e a outra no seu término. Entre estas duas zonas, existe o problema comum a todos os sectores, a falta de redes de drenagem e os ravinamentos. Neste sector não são tão

graves os ravinamentos, pois com o decorrer do tempo a natureza tomou aquilo que lhe pertencia, reflorestando maioritariamente o talude (figura 23).



**Figura 23 - Foto do sector 1 e do reflorestamento natural existente.**

## 5.2 Objectivos a atingir e acções a realizar no Sector 1

Neste sector urgia a intervenção efectuada no depósito de resíduos de arsenopirite. No entanto, a manutenção da obra é de uma importância vital de modo a evitar episódios de escorregamentos de material e entupimento das valas de escoamento.

Para tal, basta repor material na zona em concreto, assim como se fez uns metros mais à frente da pilha de arsenopirite e com resultados visíveis na manutenção do talude. No entanto, para efectivar a reposição de material será necessário recolher, na parte inferior, o material caído que está em excesso e que se vai repor na parte superior. Isto é uma das coisas mais importantes, pois não basta a deposição de material por si só, mas a sua deposição com um fim tem que ter regras.

Localizada a oeste do Sector 1 encontra-se uma linha de água, pertencente ao talude natural, que há muito é objecto de erosão. Esta linha de água deverá ser canalizada por forma a evitar-se o transporte de material da escombreyra para o rio. A canalização deveria ser feita, por exemplo, recorrendo a canais pré-fabricados como os seguintes:

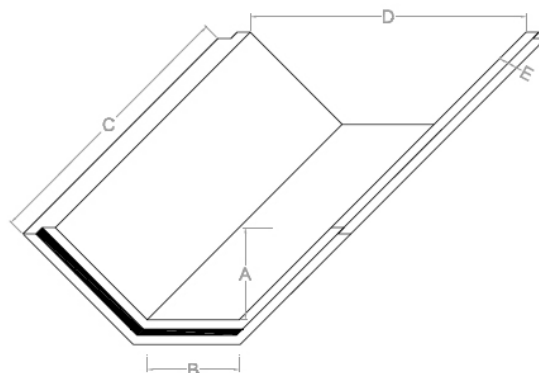


Figura 24 - Valeta trapezoidal.

Características Geométricas:

Tabela 2 - Características geométricas da valeta trapezoidal.

Código	Designação	Peso (Kg/m)	Medidas (cm)				
			A	B	C	D	E
VT1,5X0,5	Valeta Trapezoidal A1,5B0,5	500	50	50	150	150	10
VT1,2X0,4	Valeta Trapezoidal A1,2B0,4	420	40	40	200	120	10
VT2,4X0,8	Valeta Trapezoidal A2,4B0,8 (3 Peças)	810	80	80	200	240	12
VT3X1	Valeta Trapezoidal A3,0B1,0 (3 Peças)	1000	100	100	200	300	12

As mais aconselháveis para a zona seriam as de maior capacidade, ou seja, o artigo com o código VT3X1, pois será a de maior secção de encaixe.

Para finalizar as acções a efectuar, devem ser encaminhados todos os lixiviados produzidos para a estação de bombagem e dever-se-ia arranjar as caleiras de recolha de água com a devida substituição se não for possível a remediação e a respectiva limpeza.

### 5.3 Sector 2 - Situação actual

O Sector 2 é de extrema importância, pois é lá que reside a estação de neutralização dos lixiviados. Encontra-se num estado de conservação deplorável como se evidencia nas figuras 25, 26, 27 e 28.



Figura 25 - Interior do tanque de neutralização com vista da descarga de lixiviado.



Figura 26 - Bordo do tanque de neutralização e estrutura obsoleta de mistura.



Figura 27 - Máquina de mistura da cal com água potável e o medidor de pH existente.



Figura 28 - Canal de descarga da água neutralizada.

A estação de tratamento situa-se num local elevado e bem estabilizado, que não é exposto como os outros à erosão do talude dos estéreis que ficam mais abaixo depois da Estrada Nacional 512.



Figura 29 - Antiga lavaria do Cabeço do Pião em reabilitação.

Mesmo assim, esta zona só tem um problema de ravinamento elevado, situado logo a



Figura 30 - Visualização da erosão acentuada no talude e da vegetação que precede esta zona recobrindo a encosta.

seguir à pilha de sulfuretos onde se encontram a decorrer (estando de momento parados) trabalhos de recuperação da antiga lavaria para a transformação do espaço em museu.

Nesta zona do talude não existem grandes perigos pois está instalada uma grande quantidade de vegetação, o que a protege e fixa os materiais, não permitindo assim que a erosão provoque deslizos dos escombros aí acumulados.

Como se verifica na figura 30, o canal de recolha de lixiviados que existe nesta zona está completamente coberto de estéreis e fora de funcionamento, sendo visíveis vestígios da enxurrada de material na borda do rio Zêzere. Nesta figura é também possível ver a sucata na margem do rio (figura 30).

Prosseguindo em direcção ao limite final do Sector 2, deparamo-nos com um cenário



**Figura 31 - Caminho de acesso à barragem de lamas.**

desolador (figura 31), pois o caminho que nos leva à barragem das lamas começa aí.



**Figura 32 - Fotografia do caminho estreito, com a visualização da tubagem.**

A estação de neutralização é alimentada pelas águas ácidas que são recolhidas na base do talude e enviadas para a estação de neutralização, onde se faz a separação das fases líquida e dos sólidos suspensos. A água é neutralizada com cal e descarregada no rio sendo que a polpa é enviada para a barragem de lamas, havendo uma retroalimentação constante da barragem de lamas.



**Figura 33 - Degradação do caminho de circulação automóvel.**

Este retorno é feito recorrendo a uma tubaria em ferro, visível nas figuras 31 e 32, pendurada e quase coberta pelo ravinamento do talude superior.

O caminho que permite o acesso à barragem de lamas está bastante degradado e perigoso (figuras 33, 34 e 35), e apenas só veículos 4X4 é que conseguem ultrapassar os ravinamentos na estrada e, mesmo assim, têm particular dificuldade devido à largura da via.



**Figura 34 - Estreitamento e má conservação da via de circulação.**



**Figura 35 - Degradação da berma da via de circulação.**



**Figura 36 - Desmoronamento do talude na estrada de acesso à barragem de lamas.**

## 5.4 Objectivos a atingir e acções a realizar no Sector 2

Pelas condições acima descritas do Sector 2, verifica-se que existem três principais objectivos a realizar a curto, senão a muito curto prazo.

O primeiro, prende-se com a estabilização do talude que se encontra em mau estado junto à lavaria antiga.



**Figura 37 - Contentores de recolha de lixo industrial.**

O segundo, numa intervenção urgente no tanque de neutralização e se o custo da mesma for demasiado elevado procurar soluções de substituição por um novo tanque em inox que dará maior flexibilidade no tratamento e na recolha dos lixiviados para que o retorno para a barragem de lamas dos resíduos cesse. Para tal, usar-se-iam contentores onde seriam armazenadas as lamas provenientes da neutralização (figura 37) e, posteriormente, depositas na Barroca Grande onde a Empresa Beralt tem activo um centro de deposição de lamas. Ao eliminar o retorno efectuado pelo tanque, o tubo que se encontra ao longo do caminho deixa de fazer sentido, sendo este removido.

O terceiro objectivo, mas não menos importante, é uma intervenção no caminho de circulação, para que em caso de necessidade e/ou manutenção, se possa chegar com a máxima segurança à barragem de lamas. Assim, é necessário remover o excesso de material no talude superior à estrada e corrigir o talude inferior, tapando as fissuras bem visíveis nas figuras 35 e 36.

## 5.5 Sector 3 - Situação actual

O Sector 3, como podemos ver na figura 38, é bastante vasto e a parte frontal suporta uma enorme quantidade de lamas contaminadas com arsénio provenientes dos rejeitados da lavaria do Rio e também da central de neutralização como vimos anteriormente.



Figura 38 - Fotografia da zona em estudo com a delimitação em extensão.

Por si só, este facto, já seria de interesse suficiente para que fossem feitos estudos sobre a forma da barragem, tamanho e sustentabilidade ao longo do tempo. Existem já vários estudos sobre a extensão da poluição gerada e a degradação dos taludes.

Aquando da abordagem a este local, a falta de manutenção que se tem vindo a pronunciar, bem como o espírito desinteressado por parte de todas as entidades envolvidas foi por demais evidente.

Neste projecto abordaremos todos os factores que tenham influência na degradação da escombreyra, bem como o sistema usado para a recolha dos lixiviados gerados pelas chuvas sazonais.



**Figura 39 - Parte inicial da barragem de lamas (Área A).**



**Figura 40 - Parte superior e a evidente erosão existente.**

No início desta zona podemos ver que existem pequenas áreas de encaixe de pluviosidade em excesso, chamadas sucessivamente de Área A, B e C, formadas por lamas e divididas por estéril colocado propositadamente e escorregamentos menos graves de um plano mais elevado que existe na parte superior da barragem, como consta na figura 40.

Nesta mesma figura, pode também visualizar-se o tubo de descarga da central de neutralização, bem como a forma de o manter fixo à parte posterior, com estacas de madeira.



**Figura 41 - Vista da Área B com a visualização dos três primeiros cachimbos com realce a vermelho.**

No Sector 3, o nível do coroamento não é o melhor mas pode-se circular de uma ponta à outra sem problemas como se verifica na figura 41 e nas figuras seguintes.

A partir desta pequena zona inicial, começamos a circular ao lado da maior área de encaixe, a Área B, na qual existem cachimbos de drenagem de água que deveriam funcionar caso o nível freático se torne excedentário, drenando a zona através de descargas directas, não permitindo o galgamento do coroamento, que caso aconteça levará ao desmoronamento da estrutura.



**Figura 42 - Vista da segunda lagoa, com realce do cachimbo a vermelho.**

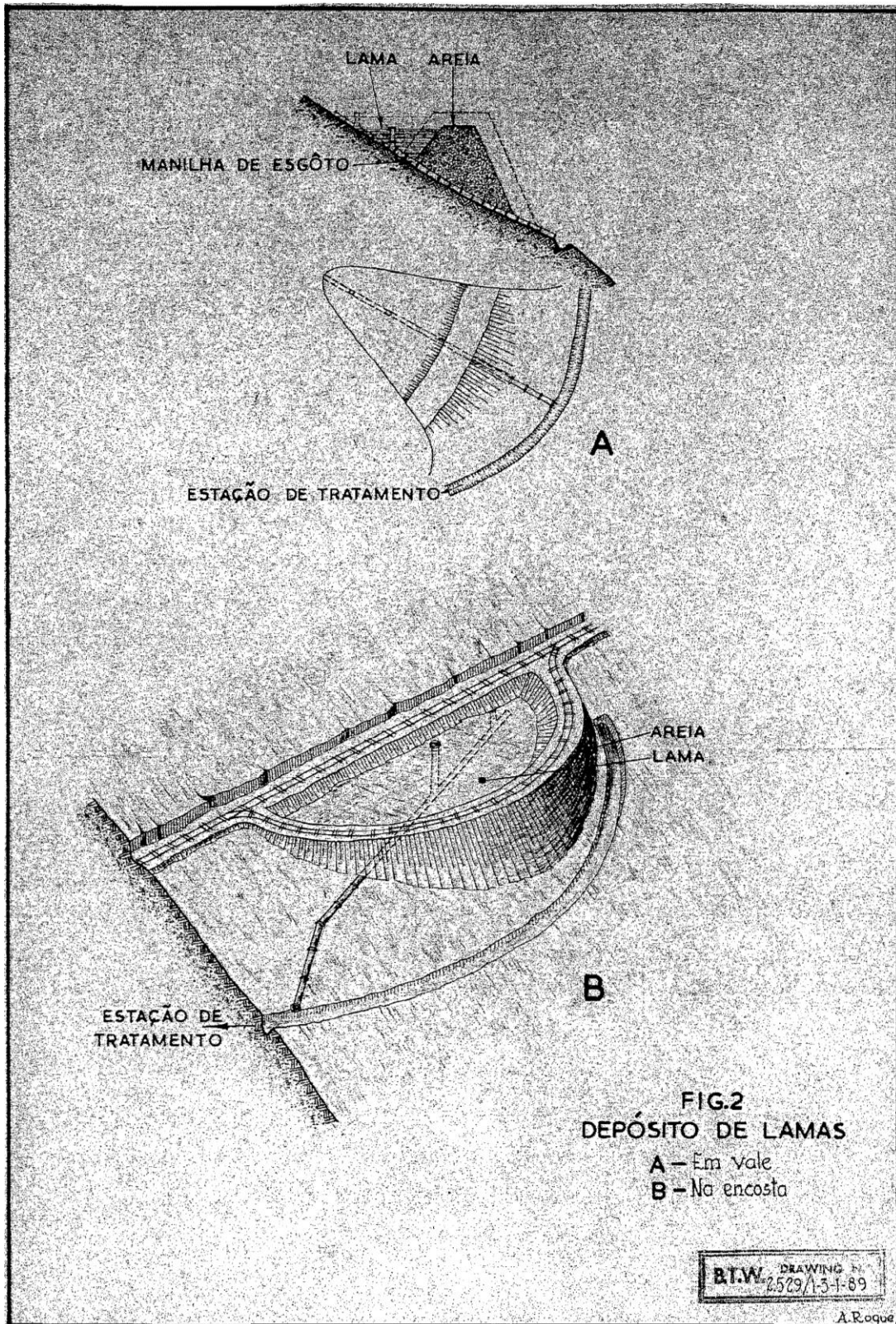


Figura 43 - Esquema de construção e drenagem da barragem de lamas, do arquivo da empresa Beralt.

À medida que avançamos ao longo da barragem, como se pode verificar na figura 44, o nível de acumulação das lamas aumenta, mesmo tendo o último cachimbo (figura 42) 10cm de altura das lamas, enquanto os outros têm 80 a 100cm. Podemos também verificar a degradação da tubaria e o término da lagoa com uma barreira sobreposta à lama de estéreis, separando, deste modo, a Área B da C.



**Figura 44 - Vista da última lagoa (Área C).**

A Área C está completamente preenchida, uma vez que o desnível entre o coroamento e a superfície das lamas é inferior a 1 metro. Nesta, já se verificam assentamentos devido à percolação existente.

Aqui, existe uma linha de água do talude natural (figura 45) que, mesmo com a deposição de resíduos, continua a existir. Esta também é a causa de uma maior



**Figura 45 - Vista da última lagoa com realce da linha de água (a amarelo) através da vegetação natural.**

infiltração que se verifica nesta última zona.

Na figura 45, realça-se o escombroy que está depositado a montante da barragem. Anteriormente já foi referido como sendo pouco importante na quantidade de material erodido e que desliza até à parte traseira da barragem de lamas, mas na zona da linha de água esse material não existe apenas em pequenas quantidades, aliás a sua quantidade é substancial e deve ser repostoy o seu nível na parte superior, como acontece no Sector 1, pois o fissuramento é por demais evidente. A vegetação instalada naturalmente ajuda a manter uma boa parte da barragem sem excedentes de estéreis mas é preciso mais do que isso para que todo o sistema esteja organizado e funcione.

Todos os assuntos abordados até agora, já tiveram as mais diversas atenções por parte de outros estudos efectuados através de universidades e instituições com a maior das credibilidades, como tal, vamos recorrer neste estudo a esses relatórios na medida em que for necessário.

Na figura seguinte (figura 46), podemos verificar a nossa maior preocupação neste estudo, a mancha branca (dentro do circulo amarelo), dando um realce a uma anomalia (a vermelho) que se verifica em toda a extensão da barragem, mas com particular incidência na zona da mancha. Ao longo deste alinhamento há um processo erosivo com



**Figura 46 - Vista frontal do talude da barragem de lamas.**

cerca de 40 a 50 cm, o qual faz surgir um degrau bem visível na escombreyra do talude da barragem de lamas.

A erosão tem como efeito o desaparecimento de material, que vai parar, por gravidade, à zona de menor potencial cinético, ou seja, à parte inferior da escombreyra que se situa na margem esquerda do rio Zêzere.

O abandono existente nesta zona é evidente e tem uma ajuda, o próprio rio. Quando este sobe de nível, arrasta o material e vai desgastando a base do dique inicial que, conseqüentemente, suporta toda a escombreyra e barragem.

A figura 47 corrobora o que anteriormente foi descrito, dando uma ideia sobre a dimensão que a escombreyra tem, visto que só estamos a visualizar uma pequena parte desta e o tamanho do veículo motor, funcionando como escala, parece diminuto. O jipe deveria encontrar-se em plano horizontal ou próximo disso, mas a inclinação é de 10% com uma estrada em muito mau estado, pois não existe manutenção e o acesso é muito limitado, mesmo sendo este acesso considerado um caminho romano pedestre.



**Figura 47 - Vista da base do talude da barragem de lamas.**

À parte destas considerações sobre o caminho e a sua proximidade evidente do rio (que se encontra com um desnível de apenas 3 metros) o canal dos lixiviados circula na parte inferior deste, a meio caminho do desnível para o rio. Facilmente podemos perceber que quando o nível sobe não há lixiviado, pois o canal fica submerso e não chegam à estação de bombagem que se situa mais à frente.



**Figura 48 - Estado do talude inferior da barragem e a sua proximidade ao rio.**

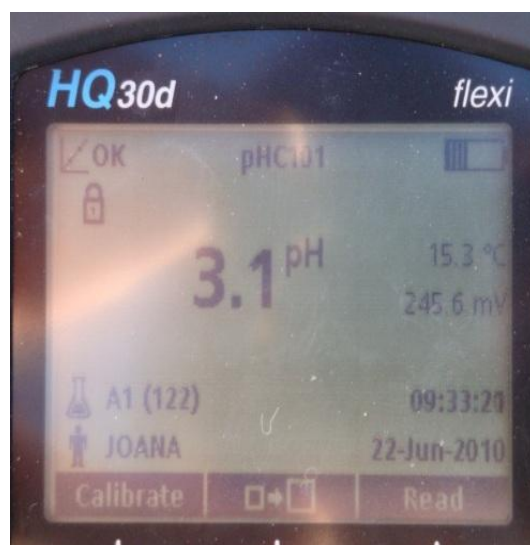
Na central de bombagem (figura 49) deparamo-nos com o problema do caudal do rio mas também o problema dos estéreis, que devido à desagregação dos muros de suporte



**Figura 49 - Central de bombagem de lixiviados.**

estão a ceder e a deixar cair material no caminho, como já tínhamos visto anteriormente, entupindo o canal de transporte.

Quando isso acontece a descarga é feita directamente para o rio originando um pH de 3.1, como é visível na figura 50.



**Figura 50 - Registo de medição do pH de escorrências junto à bomba dos lixiviados da Resteva.**

# 6º Capítulo

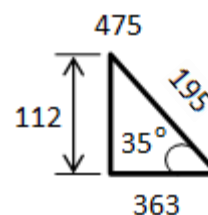
Zona em estudo, Caracterização



## 6 Zona em estudo, Caracterização

### 6.1 Altura, declive, preenchimento, tratamento dos efluentes e precipitação.

A barragem de lamas, em que doravante nos vamos focar, tem uma altitude máxima de 475 metros no topo do coroamento e mínima de 363 metros junto ao rio. Estes dados foram obtidos com recurso ao GPS da Garmin Etrex, do departamento de Minas e Geoambiente, que inclui um altímetro. Facilmente se retém da figura 50 que a inclinação do talude é de aproximadamente  $35^\circ$  e o seu comprimento são 195 metros.



**Figura 51 - Esquema de dimensões da barragem de lamas.**

Com um outro GPS mais preciso, o Trimble GeoXM, recolhemos o perímetro total de 1154,07 metros, o que perfaz uma área de  $212 \times 10^3 \text{ m}^2$ .

O preenchimento da barragem é feito com dois tipos de materiais, um mais grosseiro com uma granulometria inferior a 0,150 milímetros e outro inferior a 0,025 milímetros.

O tratamento dos efluentes é feito no tanque de decantação, que anteriormente já foi referido, sendo o resíduo neutralizado com cal até atingir um pH entre 7 a 10 e, posteriormente despejado para o rio.

A observação da precipitação tem como objectivo fornecer o máximo de informação sobre a quantidade de precipitação ocorrida num dado intervalo de tempo, sendo necessário determinar a sua distribuição no tempo e no espaço.

A quantidade de precipitação mede-se pela altura efectiva que atinge o solo horizontal num dado intervalo de tempo sem perdas quer por infiltração, quer por evaporação ou escoamento.

O objectivo de um qualquer método de medição da precipitação é obter uma amostra representativa da região a que se refere a medição sendo esta medida em milímetros.

Na zona de Silvares, e recorrendo ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, obtiveram-se os dados da precipitação diária máxima anual (cf. Anexo C). A máxima precipitação diária anual desde 1932 até 2003 foi obtida dia 20 de Novembro de 1959 com 195,9 milímetros. Com estes dados podemos calcular uma área de encaixe de 41530,8 metros cúbicos o que corresponde a 41530800 litros (41,5 milhões de litros aproximadamente), num dia.



Com a caracterização fornecida pelos perfis das secções 0 a 9, podemos ficar com a imagem dada pela figura 53. Nesta, confirmamos um modelo interpretativo daquilo que achamos ser o modo de circulação da água precipitada sobre a superfície da Barragem de Lamas. Neste modelo, realçamos a eventual ressurgência de água na superfície do talude da Barragem, a uma distância do coroamento desta de cerca de 40 metros. Esta poderá ser responsável pelo processo erosivo referido atrás e resultará de um fluxo de lixiviado na interface Lama/BedRock.

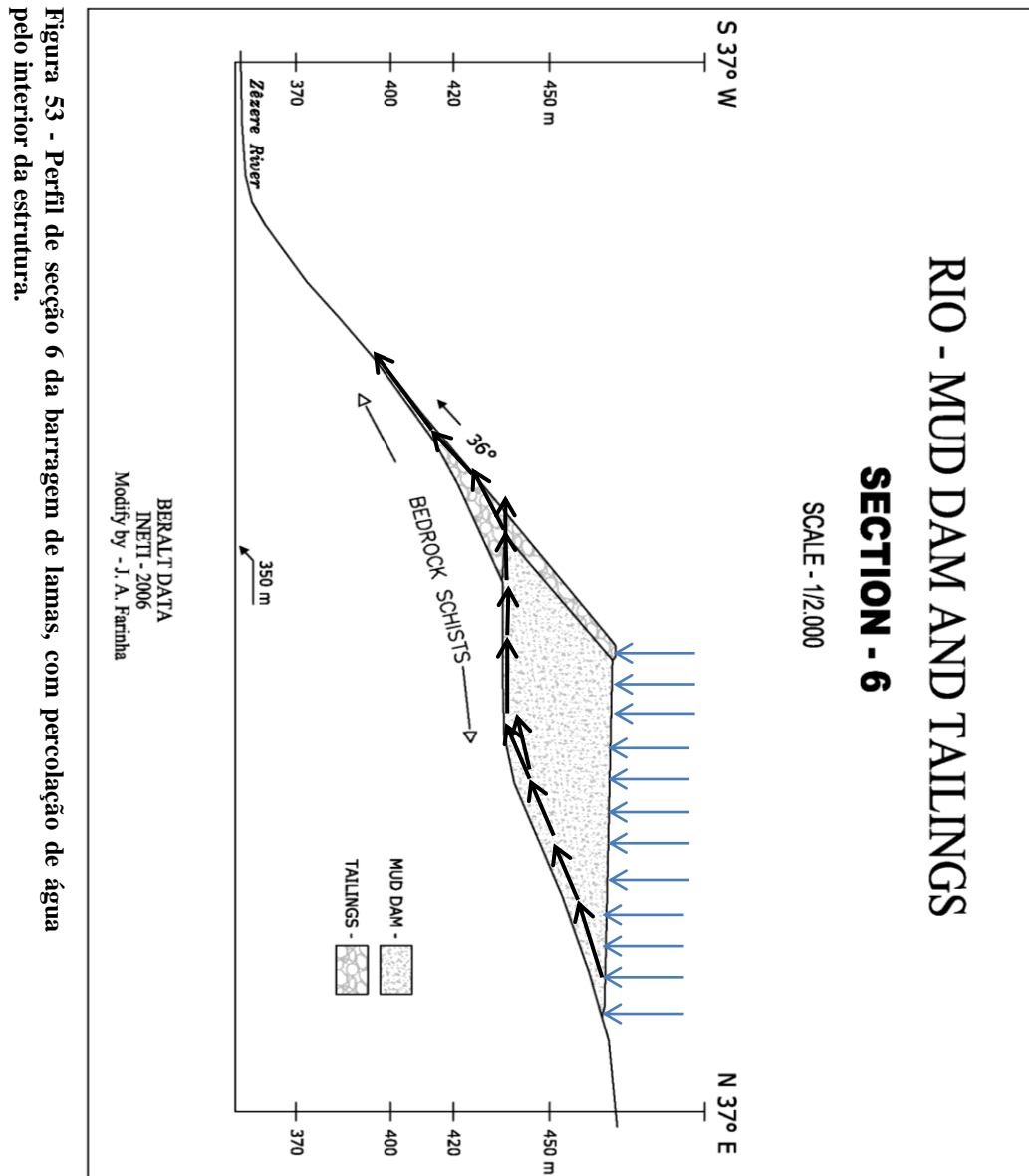


Figura 53 - Perfil de secção 6 da barragem de lamas, com percolação de água pelo interior da estrutura.

Não obstante ao trabalho realizado no âmbito deste estudo, resolvemos proceder a um levantamento geofísico com os meios disponíveis no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a fim de confirmar ou refutar os dados oriundos do trabalho do INETI de 2002.

# 7º Capítulo

Geofísica



## 7 Geofísica<sup>1</sup>

O sistema do radar de solos é composto por três elementos principais, sendo estes: uma unidade de Controlo (computador), uma antena e uma fonte de energia, como demonstra a figura 54.

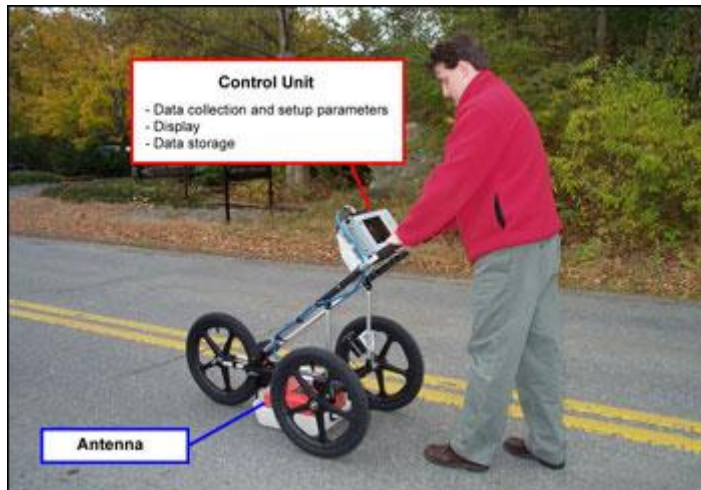


Figura 54- Radar de Solos.

A unidade de controlo contém os circuitos electrónicos enviando um impulso electromagnético que, por sua vez, a antena envia para o solo. Esta dispõe de um computador interno com disco rígido e memória digital destinada a guardar os dados adquiridos no campo, para exame posterior. Alguns sistemas, são controlados por um computador com sistema operativo Windows, pré-programado com *software* de controlo. Este sistema permite o processamento e a interpretação dos dados de campo sem que seja necessário fazer o *download* dos arquivos do sinal de radar para outro computador rapidamente.

A antena recebe o impulso electromagnético gerado pela unidade de controlo, amplifica-o e transmite-o ao solo ou a qualquer meio, numa determinada frequência. A frequência da antena é o principal factor vinculado à profundidade de penetração. Quanto mais alta a frequência, menor será a penetração no meio. Por outro lado, uma antena de frequência mais alta permite que se identifiquem alvos mais pequenos.

---

<sup>1</sup> [http://www.alphageofisica.com.br/gssi/gpr\\_conceito.htm](http://www.alphageofisica.com.br/gssi/gpr_conceito.htm)

A escolha da antena é um dos factores primordiais no planeamento de uma pesquisa. A tabela 3 mostra a relação entre a frequência das antenas, a penetração que pode ser esperada e a aplicação mais indicada.

**Tabela 3 - Quadro de frequências, profundidades de penetração e aplicações das antenas.**

<b>Frequência central</b>	<b>Profundidade de penetração * (Aproximada)</b>	<b>Aplicações</b>
2600 MHz	0 - 0.3 m	Inspecções em Concreto
1600 MHz	0 - 0.5 m	Inspecções em Concreto
900 MHz	0 - 1 m	Inspecções em Concreto, Identificação de Vazios
400 Mhz	0 - 4 m	Engenharia, Meio Ambiente, Identificação de Vazios
270 MHz	0 - 6 m	Geologia, Engenharia, Meio ambiente, Arqueologia
200 MHz	0 - 9 m	Geologia, Engenharia, Mineração, Meio ambiente, Arqueologia
100 MHz	0 - 15 m	Geologia, Meio ambiente, Mineração, Arqueologia
16-80 MHz	0 - 50 m	Geologia

*\*A profundidade de penetração pode variar, dependendo das condições do solo.*

O funcionamento do radar de solos é baseado no envio de um impulso electromagnético mínimo de energia para o interior do material, seguido pela gravação da potência com que esse impulso electromagnético retorna e do tempo requerido para a recepção de reflexos do impulso electromagnético enviado. Uma série impulso electromagnético distribuídos ao longo de uma determinada área é o que se denomina por varredura (scan).

Os reflexos são produzidos sempre que o impulso electromagnético de energia penetra num meio com propriedades de condutividade eléctrica ou permissibilidade dieléctrica diferente das do meio anterior. A potência, ou amplitude, do reflexo é determinada pelo contraste entre a condutividade e as constantes dieléctricas dos dois meios.

Embora parte da energia do pulso seja reflectida de volta para a antena, o impulso electromagnético continua a penetrar no meio até que se dissipe/atenua ou que a unidade de controlo do radar de solos tenha fechado a sua janela de tempo (figura 55). A razão de atenuação do sinal varia muito e depende das propriedades do material sendo atravessado pelo impulso electromagnético.

A condutividade eléctrica, permitividade dieléctrica e permeabilidade magnética, condicionam, em larga medida, a atenuação e a velocidade de propagação dos impulsos electromagnéticos. A frequência central da antena emissora e o teor em água dos solos são factores determinantes na resolução conseguida e na profundidade atingida.

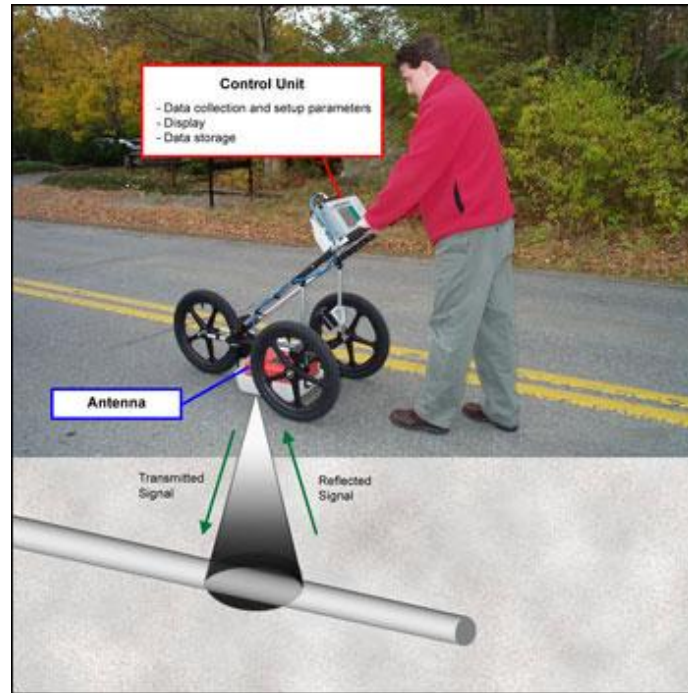


Figura 55: Radar de solos emite um impulso electromagnético de energia.

Materiais de alta permissibilidade dielétrica travam a onda do radar, que não consegue uma penetração profunda. Materiais de alta condutividade também atenuam rapidamente o sinal. A saturação hidráulica eleva dramaticamente a constante dielétrica do material, por isso a área a ser levantada deve ser previamente examinada para que se identifique uma possível penetração de água.

A antena não emite a energia do radar em linha recta. A emissão tem a forma de um cone (figura 56). O tempo de ida e retorno da energia que chega à base do cone é maior do que a da energia dissipada na região mais próxima à antena. Isso acontece porque a base do cone representa a hipotenusa de um triângulo recto.

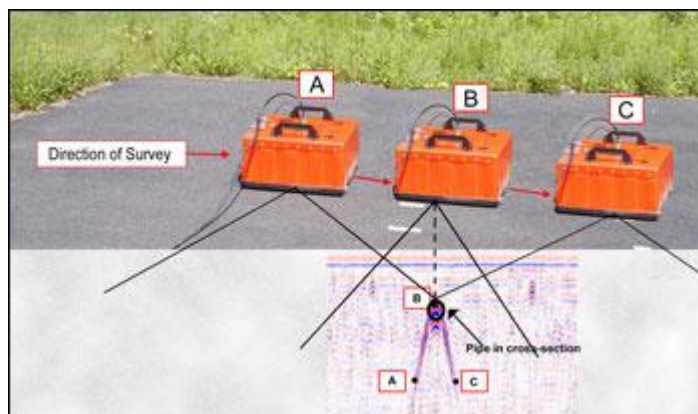


Figura 56: Emissão efectuada em forma de cone.

Como leva mais tempo para aquela energia ser recebida, ela é gravada mais à frente no perfil. Quando se move a antena sobre um alvo, a distância entre eles diminui até que a antena esteja sobre o alvo e, a partir daí, volta a aumentar quando a antena se afasta do alvo. Por essa razão, cada alvo singular aparece nos dados como uma hipérbole, ou um U invertido. O alvo está, na realidade, na amplitude de pico da onda positiva, ou seja, no alto da hipérbole.

A medição do tempo total de percurso dos impulsos electromagnéticos, transmissões e reflexões, e o conhecimento/suposição das respectivas velocidades de propagação, permite estimar a profundidade das estruturas/interfaces detectadas.

Os trens de ondas electromagnéticas reflectidas e recebidas na antena receptora ao longo dos perfis/linhas de aquisição de dados, são digitalizados e registados sob a forma de sequências 2D de traços, *scans*, individuais, designados radargramas. A subsequente interpretação poderá ser realizada a partir dos radargramas tal e qual e/ou após aplicação de diversas técnicas de visualização e/ou processamento.

## **Equipamento e software de processamento de dados do radar de solos**

Para o trabalho de aquisição de dados foi utilizado equipamento e *software* geofísico da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto-Departamento de Engenharia de Minas e GeoAmbiente, nomeadamente:

- Antena blindada com frequência central de 270 MHz;
- Sistema sir-3000, da GSSI;
- Carrinho de transporte do equipamento com leitura automática de distâncias.
- Software reflexw de k. J. Sandmeier, para visualização e processamento dos dados.

## 7.1 Perfis obtidos sobre o coroamento da barragem de lamas.

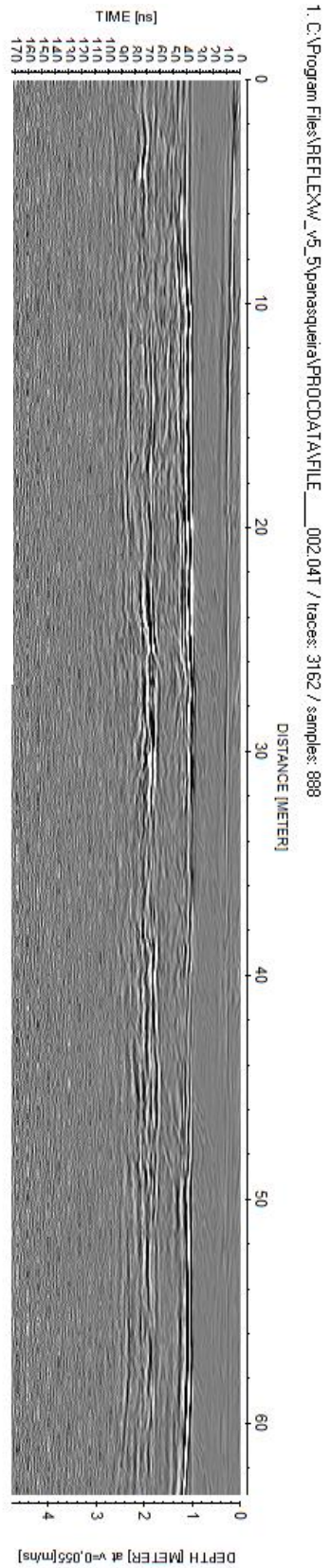


Figura 57 – Perfil n°1.

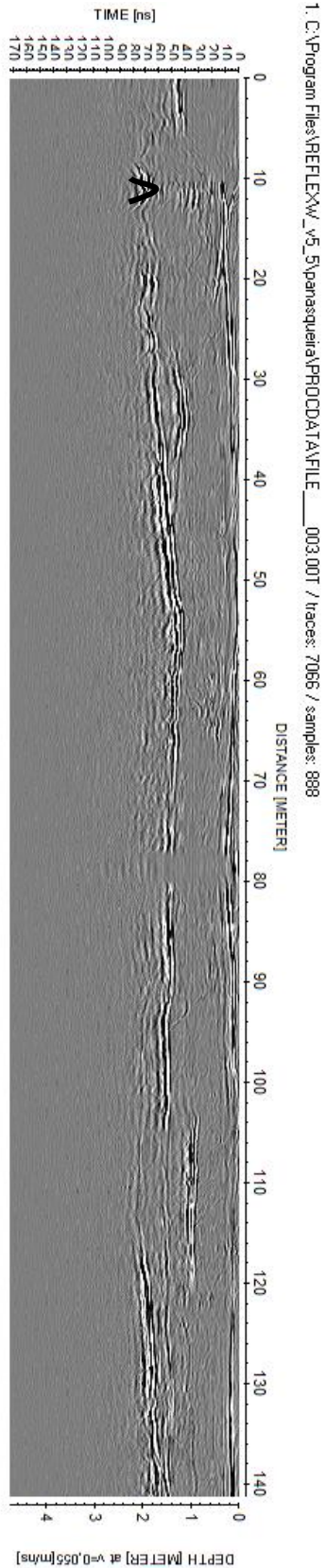


Figura 58 – Perfil n°2.

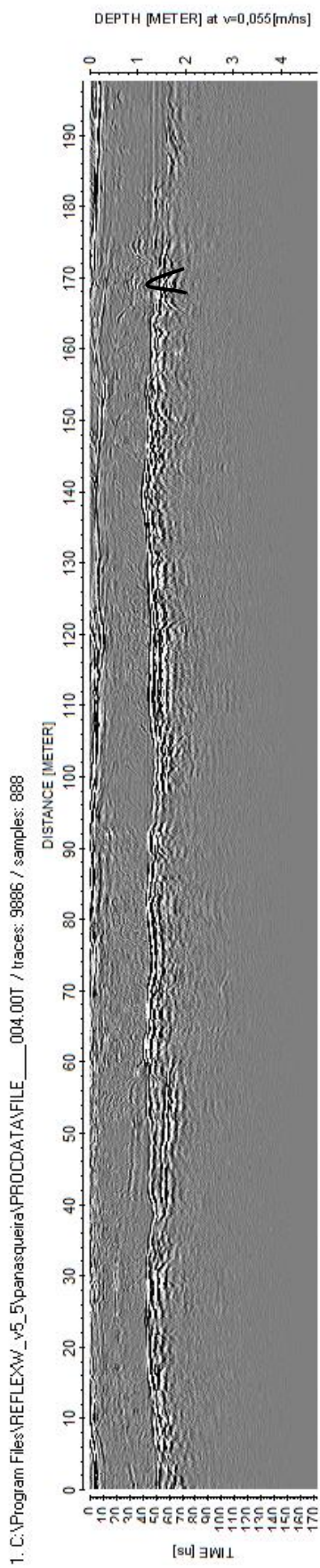


Figura 59 – Perfil nº3.

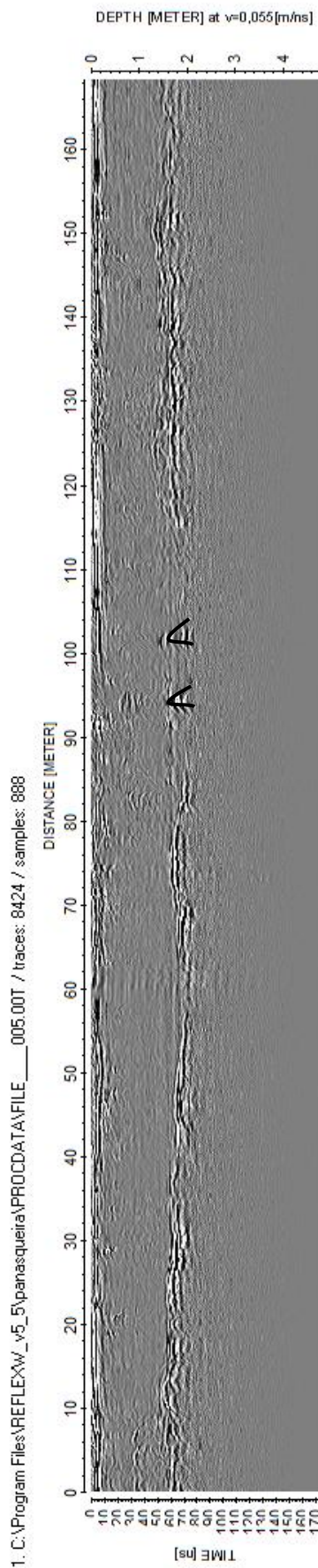


Figura 60 – Perfil nº4.

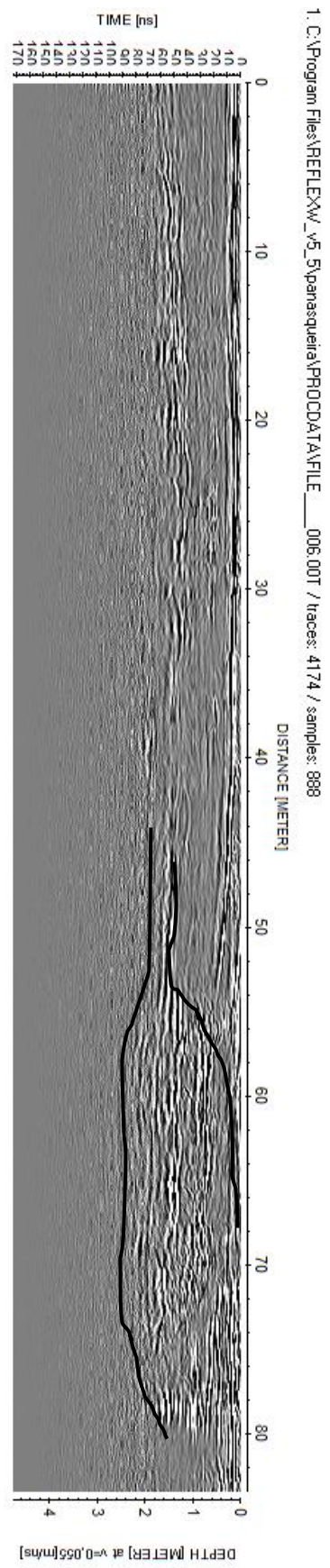


Figura 61 – Perfil n°5.

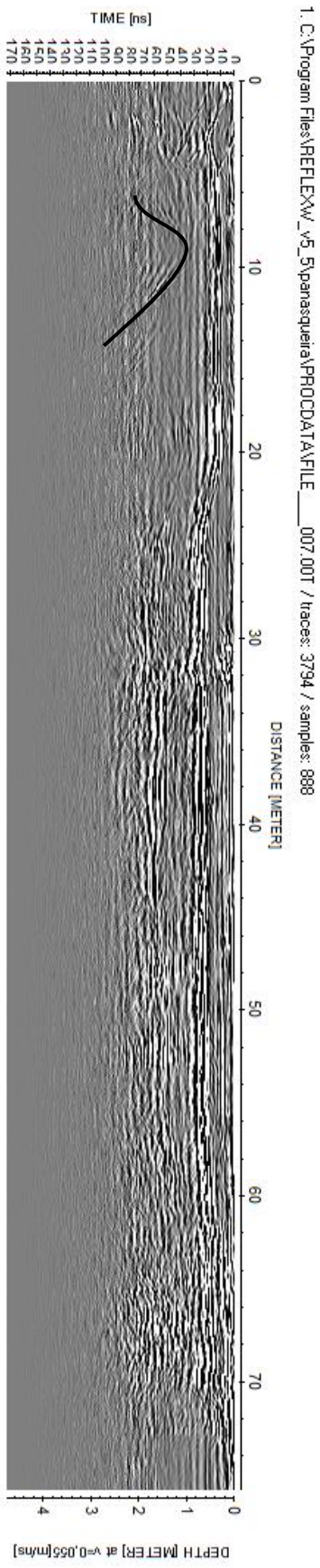


Figura 62 – Perfil n°6.

O ensaio com o radar de solos começa com o perfil n.º 1 de Norte para Sul sobre o coroamento. Ao longo dos perfis n.º 1 a n.º 5 constatámos que há uma reflexão contínua próximo da superfície, que poderá estar relacionada com uma zona de maior compactação. Pequenas hipérbolas assinaladas nos perfis n.º 2, 3 e 4, poderão eventualmente ser devidas a travessas ainda existentes e por vezes visíveis no talude.

No perfil n.º 6 observa-se uma hipérbole bem definida que poderá estar relacionada com uma tubaria a cerca de 1 metro de profundidade.

O último perfil sobre o coroamento é o n.º 5. As reflexões observadas no final deste perfil deverão estar relacionadas com a presença do bedrock delimitado sobre a figura com traço preto.



Figura 63 – Operação de amostragem de um perfil ao longo do coroamento.

## 7.2 Perfis do talude da barragem de Lamas

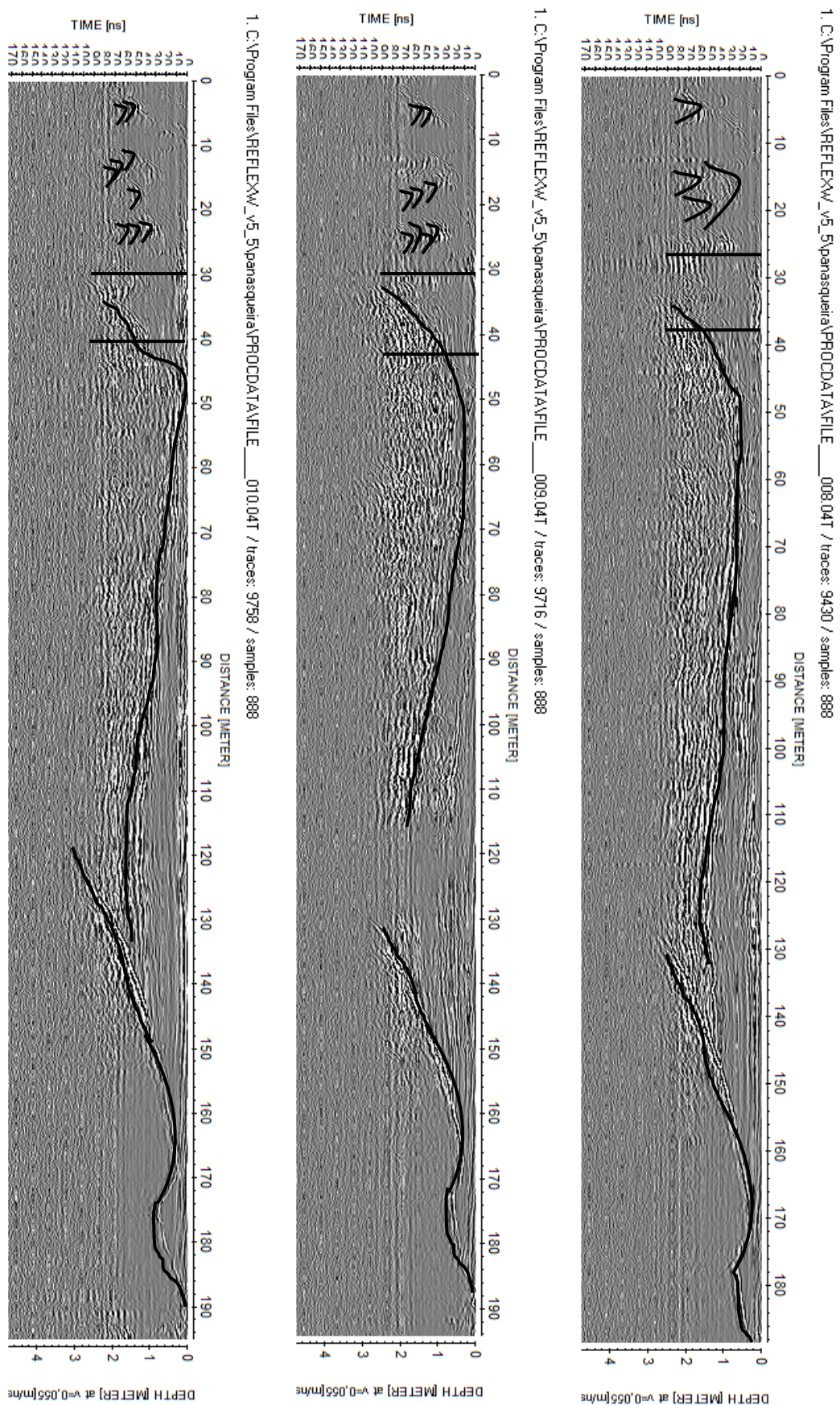


Figura 64 – Perfil n° 7, 8, e 9.

Os três perfis (figura 64), cada um com cerca de 195 metros de comprimento, realizados no talude da barragem de lamas (figuras 65, 66 e 67) foram efectuados do topo do coroamento para a base intervalados de 5 metros. Observando os perfis, verificamos a existência de várias hipérboles estando apenas algumas assinaladas, que serão, eventualmente devidas a uma camada de material de enrocamento de maiores dimensões usado para a construção da barragem, possivelmente assente no bedrock, formando na parte superior uma sucessão de diques.

Nos três perfis, por volta dos 40 metros, existem dois traços (figura 64) correspondendo à suposta base da barragem de lamas. A cota correspondente aos referidos 40 metros corresponde aproximadamente à zona do talude em que se verifica um evidente fenómeno de erosão. Esta interpretação abre uma perspectiva inovadora sobre o modo de construção da barragem. De facto, nos estudos anteriores consultados, este tipo de abordagem nunca foi considerado.

Nos três perfis é evidente uma estrutura reflectora interpretada como correspondendo ao bedrock, detectada a partir de cerca de 120 metros a uma profundidade aparente de cerca de 4 metros, aproximando-se da superfície à medida que nos aproximamos da base do talude. Na parte final do perfil, a referida estrutura apresenta um encurvamento eventualmente relacionado com corte no bedrock.



Figura 65- Preparação de um perfil do talude



Figura 66 – Visualização da segurança necessária para proceder ao ensaio.



Figura 67 – Visualização da descida do talude com o radar de solos.

# 8º Capítulo

Simulação efectuada com base em materiais da  
escombreira



## 8 Simulação efectuada com base em materiais da escombreyra

Neste capítulo, pretende-se simular o método de funcionamento da barragem de lamas, bem como confirmar a existência de percolação de água em grande quantidade, não havendo por isso registos de qualquer transbordo por insuficiência de drenagem.

Tendo um objectivo didáctico, o nosso modelo demonstra a funcionalidade de uma barragem de lamas quando submetida a uma percolação intensa, conseguindo também operar com os cachimbos em bom ou mau estado.

No decorrer do estudo à escala, aproveitou-se para testar novos métodos de drenagem, mais propriamente a drenagem com um canal à retaguarda.

### 8.1 Descrição do modelo

O modelo didáctico efectuado teve como objectivo a simulação do comportamento da barragem numa altura de cheia exagerada tendo como principal funcionalidade ilustrar o funcionamento de uma estrutura como a que estamos a estudar.

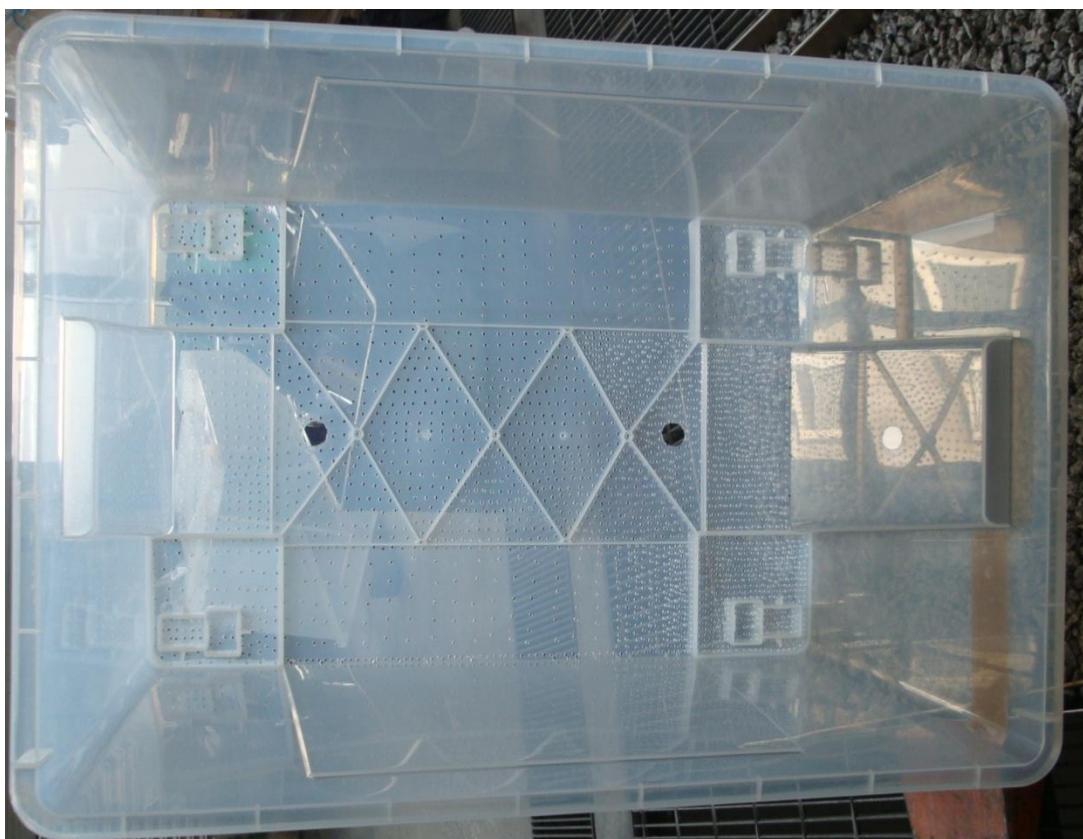
#### 8.1.1 Materiais utilizados

- ✓ Caixotes plásticos transparentes do IKEA (2 unidades);
- ✓ Tubo PVC de 1 polegada;
- ✓ Regadores (6 unidades);
- ✓ Mangueira de 1 polegada;
- ✓ Bacia;
- ✓ Pistola de silicone;
- ✓ Lamas da própria barragem;
- ✓ Gravelha de 13,2 milímetros (granito);
- ✓ Empilhador;
- ✓ Webcam (2 unidades);
- ✓ Computador portátil;
- ✓ Máquina fotográfica;

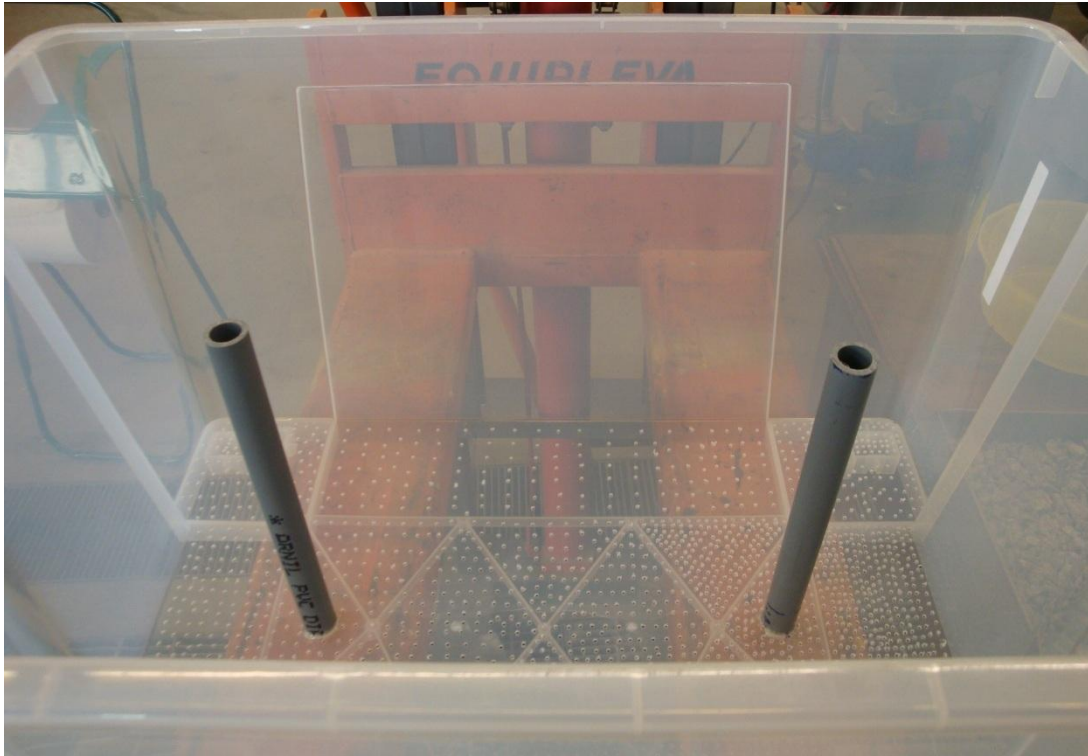
## 8.2 Preparação, montagem e procedimento

Para se proceder à simulação da barragem de lamas, colocaram-se dois caixotes em coluna. O caixote superior, que funcionará como a barragem, foi furado dezenas de vezes de modo a permitir que a água percolasse para o caixote inferior (figura 68) retendo a escorrência resultante.

Em dois locais este caixote foi também furado, de modo a se produzirem dois buracos de maior diâmetro que irão fazer a descarga directa, funcionando assim como se se tratassem dos cachimbos da barragem (figura 68).



**Figura 68 - Caixote perfurado.**



**Figura 69 - Caixa com os tubos de drenagem colocados e colados.**

O passo seguinte foi a colocação do caixote preparado no empilhador e a colocação dos



**Figura 70 - Vista do caixote perfurado com os cachimbos e a gravilha.**

dois tubos de PVC com a sua fixação através de silicone.

Após este passo começou a colocar-se a gravilha junto às bases dos cachimbos e em seguida por toda a superfície. A gravilha surge neste contexto como um filtro natural que não interfere com a saída da água percolada mas também não deixa que as lamas saiam, tornando o teste infrutífero. Como o granito não se altera facilmente pela água nem por outros agentes químicos, recorremos à Pedreira da Madalena para nos fornecer, de forma generosamente gratuita, a quantidade de material necessária à realização deste teste. O granito foi colocado até cerca de 8 centímetros acima da base.

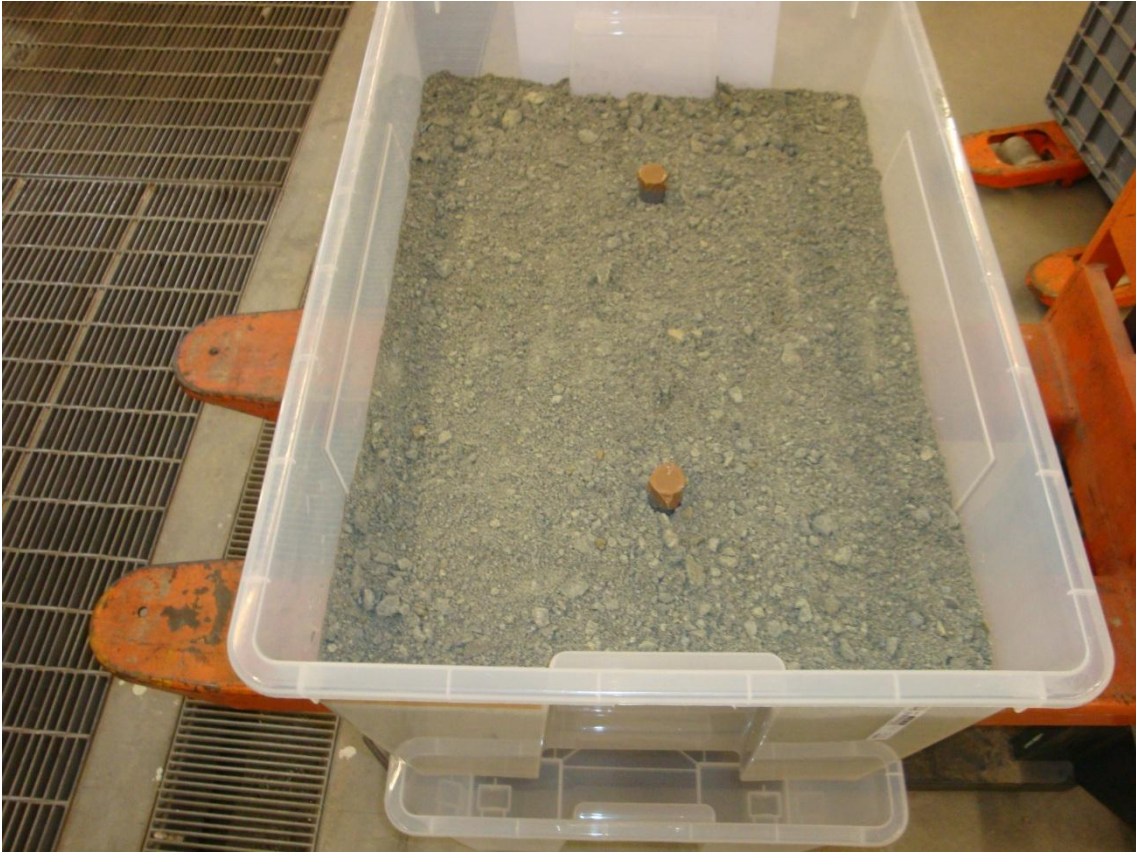
Seguidamente, foram colocadas as lamas tendo estas ficado a cerca de 2 centímetros do topo dos cachimbos, e a sensivelmente 18 centímetros da base da gravilha.

Note-se que as lamas se encontravam secas, pois isto terá influência significativa nos resultados.

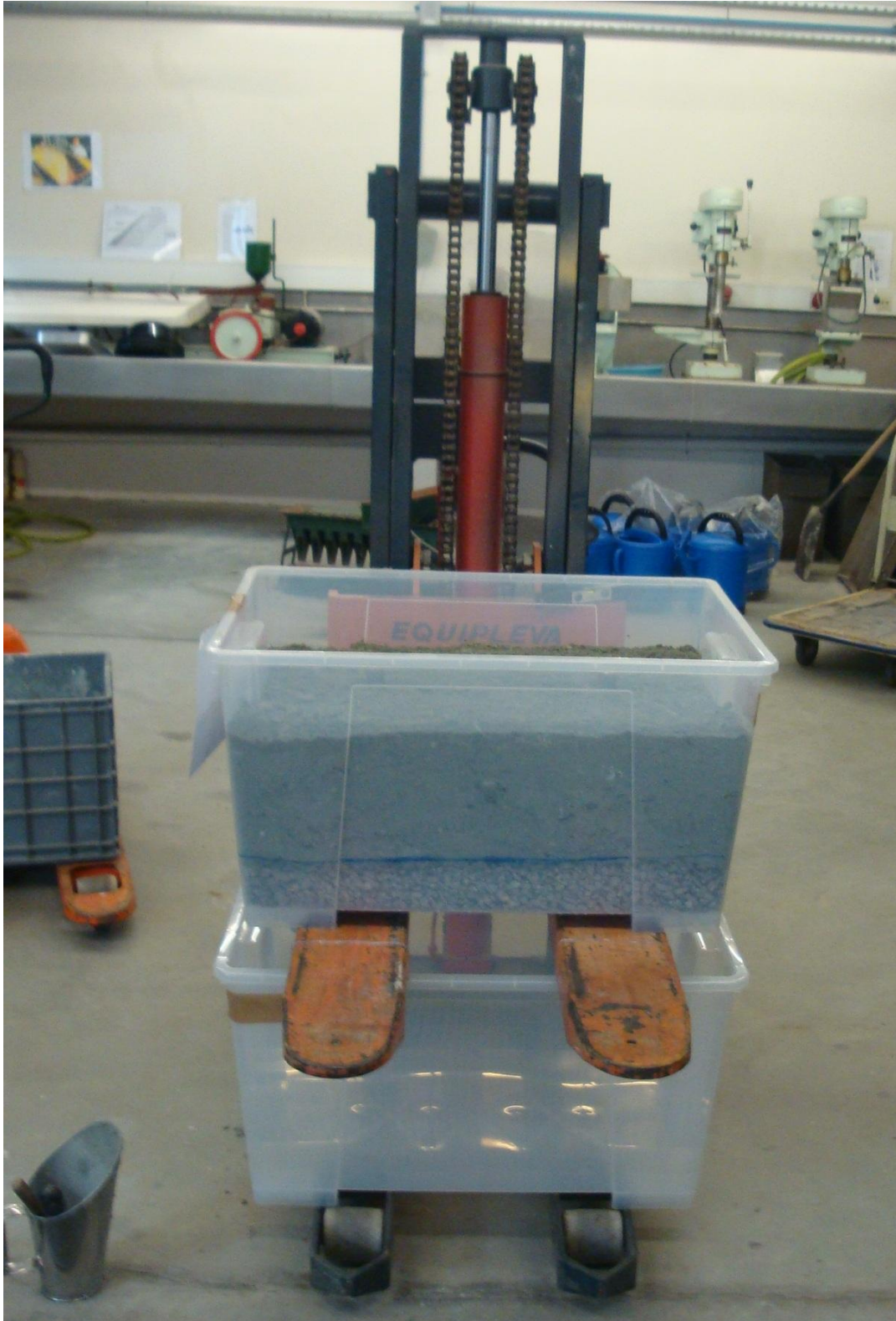
De referir também que se vedou as pás do empilhador com silicone, para que o percolado não seja vertido para fora da caixa de recolha (figura 71).



**Figura 71 - Pormenor da vedação das pás do empilhador.**



**Figura 72 - Deposição final das lamas.**



**Figura 73 - Fim da montagem da experiência.**

A segunda caixa, igual à primeira, serve para a recuperação da água que percola através das lamas e da gravilha.

### 8.3 Apresentação dos resultados e conclusões da experiência

As experiências realizaram-se sempre com o mesmo material, sem alteração da colocação ou tão pouco das condições, sendo realizadas consecutivamente. Começaram com as lamas secas, experiência nº1, e por isso foi repetida novamente, experiência nº2 onde as mesmas já se encontravam saturadas. A experiência nº3 foi realizada com os cachimbos abertos, entenda-se os tubos de descarga directa, sendo a experiência nº4 realizada com escoamento à retaguarda e os cachimbos abertos.

Na tabela 4, apresentam-se os resultados da simulação efectuada no laboratório.

**Tabela 4 - Quadro resumo dos tempos do ensaio laboratorial.**

Experiência	Tempo de percolação das lamas	Fim da água à superfície das lamas	Fim da recuperação da água percolada	Nº de litros de água introduzida (litros)	Nº de litros de água recuperada (litros)
1	6seg.	70min e 58seg.	103min e 54seg.	70	60
2	69seg.	75min e 19seg	99min e 46seg.	70	69
3	67seg.	50min e 35seg.	130min e 15seg.	60	58
4	101seg.	29min e 23seg	80min e 23seg.	60	60
1 e 2	60seg.	5min e 39seg.	-5min e 52seg.	-	9

A primeira experiência desenvolveu-se com as lamas secas e, como tal, denota-se uma percolação inicial muito rápida com a saturação das mesmas como se pode verificar pela quantidade de água recuperada.

Pelas condicionantes impostas pelas lamas secas, repetimos a experiência (experiência 2), e atendendo aos dados apresentados na tabela 4 é possível chegar a várias conclusões. O tempo de percolação é muito superior nesta segunda experiência, é mais lenta a absorção da água à superfície mas a sua recuperação é mais rápida não tendo ficado retido tanto volume de água como na primeira experiência.

De realçar que nestas duas primeiras experiências os cachimbos se encontravam tapados ocorrendo apenas a percolação natural como mostra a figura 74.



Figura 74 - Início da experiência laboratorial.

A experiência nº3 ocorreu com os cachimbos abertos (figura 75), tendo-se mantido o



Figura 75 - Experiência n.º 3 com vista dos cachimbos a drenar a água em excesso na parte superior.

tempo de percolação nas lamasy, como era de esperar, mas o tempo de água à superfície diminuiu uma vez que os cachimbos são uma via preferencial de escoamento não deixando assim tanta água na superfície. Esta diferença fará o tempo de percolação final aumentar pois a pressão hidráulica exercida no topo é inferior à das experiências anteriores.

O objectivo da experiência recaiu sobre a verificação da reacção da dinâmica de escoamento da escombreyra em estudo com os cachimbos ainda activos.

Na experiência n.º 4 e última, adicionámos um canal de drenagem à parte anterior da barragem em simulacro, com a intenção de verificar se poderia ser uma boa medida a tomar para diminuir o fluxo de água que existe actualmente pois os cachimbos actuais estão entupidos. Nesta experiência o tempo de percolação das lamasy aumentou em 34 segundos mas, quer o tempo de fim da água à superfície das lamasy quer do fim da recuperação da água percolada diminuíram, mantendo no entanto o rácio entre ambos é igual ao teste anterior (cerca de 50 minutos).

Nesta experiência há a realçar ainda que 45 litros foram drenados da superfície pelo



**Figura 76 - Experiência n.º 4 com canal de drenagem à retaguarda e cachimbos operacionais.**

canal de drenagem à retaguarda o que representa uns expressivos 75% de água retirada do sistema de percolação mesmo com os cachimbos em funcionamento.

Esta experiência serviu para ilustrar melhor, sobretudo a nível didáctico, o funcionamento da barragem de lamas que se encontra em estudo, dando a perspectiva, a noção prática dos problemas e novas questões que se propuseram no seu desenrolar.

Não só o processo de construção teve muito trabalho mas o fruto ou usufruto que foi obtido com ele compensou em dobro, pois novas perspectivas foram abordadas e conhecimento apreendido.

Relativamente às conclusões retiradas das “simulações” efectuadas, podemos ressaltar que caminhos preferenciais tendem a ser criados para a percolação, existindo, portanto, uma grande capacidade de percolação pelas lamas quando não estão secas, pois caso contrário existe uma retenção de água de aproximadamente 14,30%. Isto permite-nos afirmar que, apesar dos cachimbos não funcionarem, a água percola mas não tão eficazmente. Se os cachimbos estivessem a funcionar a 100%, logicamente que a retenção de água seria muito menor, originando uma correcta dispersão da mesma por toda a barragem. Para além disso, através desta experiência laboratorial, verificamos que 75% da água disponível para percolação é retirada com o escoamento à retaguarda mesmo que os cachimbos estejam em funcionamento (que foi o nosso caso), tendo em conta que os cachimbos só entram em funcionamento quando há uma excessiva precipitação. Isto significa que a nossa solução de introduzir um canal de escoamento preferencial à retaguarda, permitiria recolher uma capacidade muito maior de água, sem que esta fosse contaminada e, como tal, seria descarregada directamente para o rio, sem necessidade de qualquer tipo de tratamento.

# 9º Capítulo

Conclusões



## 9 Conclusões

Durante o estudo do local e a partir dos subsectores criados neste, chegamos a várias medidas de remediação dos problemas mais acutilantes, nomeadamente no sector 1 e 2. Sendo apresentadas as soluções:

- ✓ Intervenção na pilha de sulfuretos, ao nível do talude que sustenta a área, desentupimento das valas de escoamento e revegetação da pilha;
- ✓ Recolha do excesso de material da base da escombreyra;
- ✓ Canalização da linha de água pertencente ao talude natural;
- ✓ Reconstrução do canal de recolha dos lixiviados na base das escombreyras e activação da sua bombagem para a estação de tratamento;
- ✓ Remoção de sucatas do leito do rio;
- ✓ Estabilização do talude que se encontra junto à lavaria;
- ✓ Intervenção no tanque de neutralização ou substituição do mesmo;
- ✓ Recurso a armazenamento temporário das lamas provenientes da neutralização e posterior encaminhamento para a Barroca Grande;
- ✓ Eliminação da tubaria de ferro obsoleta;
- ✓ Intervenção nos caminhos de circulação para manutenção, regularizando a faixa de passagem e os taludes inferior e superior.

Para além das recomendações referidas será ainda mencionado outro conjunto de possíveis intervenções relativamente ao Sector 3, que por ser o local onde se encontra a barragem de lamas, constitui um perigo adicional para o rio Zêzere que funciona como fonte de abastecimento de água para as populações circundantes. Por estas razões o Sector 3 será alvo das maiores e mais complexas recomendações.

O sector da barragem de lamas foi subdividido atrás em três zonas A, B e C pois cada uma destas tem uma problemática diferente. Pela descrição efectuada do Sector 3 podemos facilmente perceber que o ângulo do talude é de 35°, e reportando-nos ao trabalho apresentado no Anexo B, que relata um ângulo de atrito interno das partículas na ordem dos 25° a 30°, justifica-se a escombreyra estar constantemente a sofrer derrocadas pois, à mínima instabilidade o talude cede. Também podemos reter a forma engenhosa, proposta no trabalho de Santos (2007), de proteger a base da escombreyra

das subidas do rio com um muro de suporte, que permite a recolha dos lixiviados e a limpeza do canal por uma pequena máquina.

Pelas medições efectuadas, a área total da barragem de lamas é de 212 mil m<sup>2</sup>, podendo inferir um volume de encaixe na ordem dos 212mil m<sup>3</sup>, admitindo que neste momento temos uma altura média até ao coroamento de um metro, como vimos atrás a maior chuvada proporciona um volume de 41531 m<sup>3</sup>, logo a capacidade de encaixe existente é mais do que capaz de aguentar uma forte chuvada ou várias.

No nosso entender isto não é suficiente. O volume de encaixe pode ser bom mas a altura do coroamento deveria ser de 2,5 metros em toda a sua extensão com uma pendente, que mal existe hoje em dia, que deveria de ser de 5%. A percolação através do material, como vimos no ensaio laboratorial, é óptima deixando percolar toda a água rapidamente



**Figura 77 - Foto de assentamento na Barragem de Lamas.**

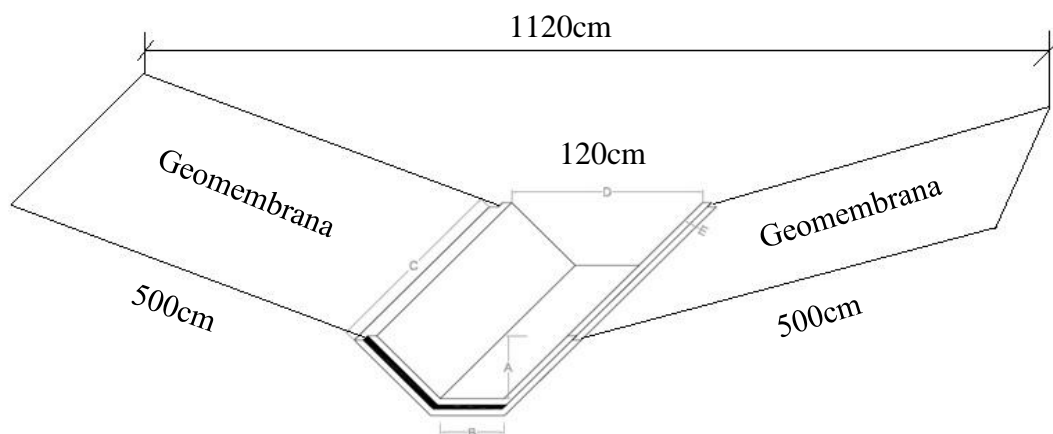
mas isso está a criar desgaste no coroamento, no talude mas também nas lamas com assentamentos a ocorrerem (figura 77).

Como solução para este problema, propomos a criação de um canal de escoamento, de águas pluviais em excesso, ao longo da linha que divide a base da escombrelira de graúdos superior, da superfície da barragem de lamas. Este canal deverá ser alvo de permanente manutenção, nomeadamente ao nível da sua limpeza.

Para garantir uma altura de coroamento nas três zonas especificadas (A, B e C) propomos proceder à remoção das lamas em excesso depositadas próximo deste, garantindo uma pendente da superfície da barragem de lamas de 5% para o seu interior.

A circunscrever o caminho da escombrelra tem de se criar uma caleira de recolha de águas pluviais (por exemplo a usada no Sector 1).

Apesar disso, pretende-se introduzir várias caleiras trapezoidais com duas geomembranas a impermeabilizar as lamas em 5 metros de cada lado, conforme o esquema da figura 78, distanciando-se 10 metros entre estruturas. Com isto consegue-se diminuir a superfície de contacto da barragem com as águas da chuva para metade. A barragem ficaria coberta mas não totalmente, sendo as águas recolhidas encaminhadas directamente para o rio Zêzere sem ser necessário qualquer tipo de tratamento.



**Figura 78 - Esquema da caleira trapezoidal com impermeabilização através de geomembrana.**

Na abordagem à Área C referimos uma linha de água subaérea que é originada pelo talude original como podemos ver na figura 79-A.

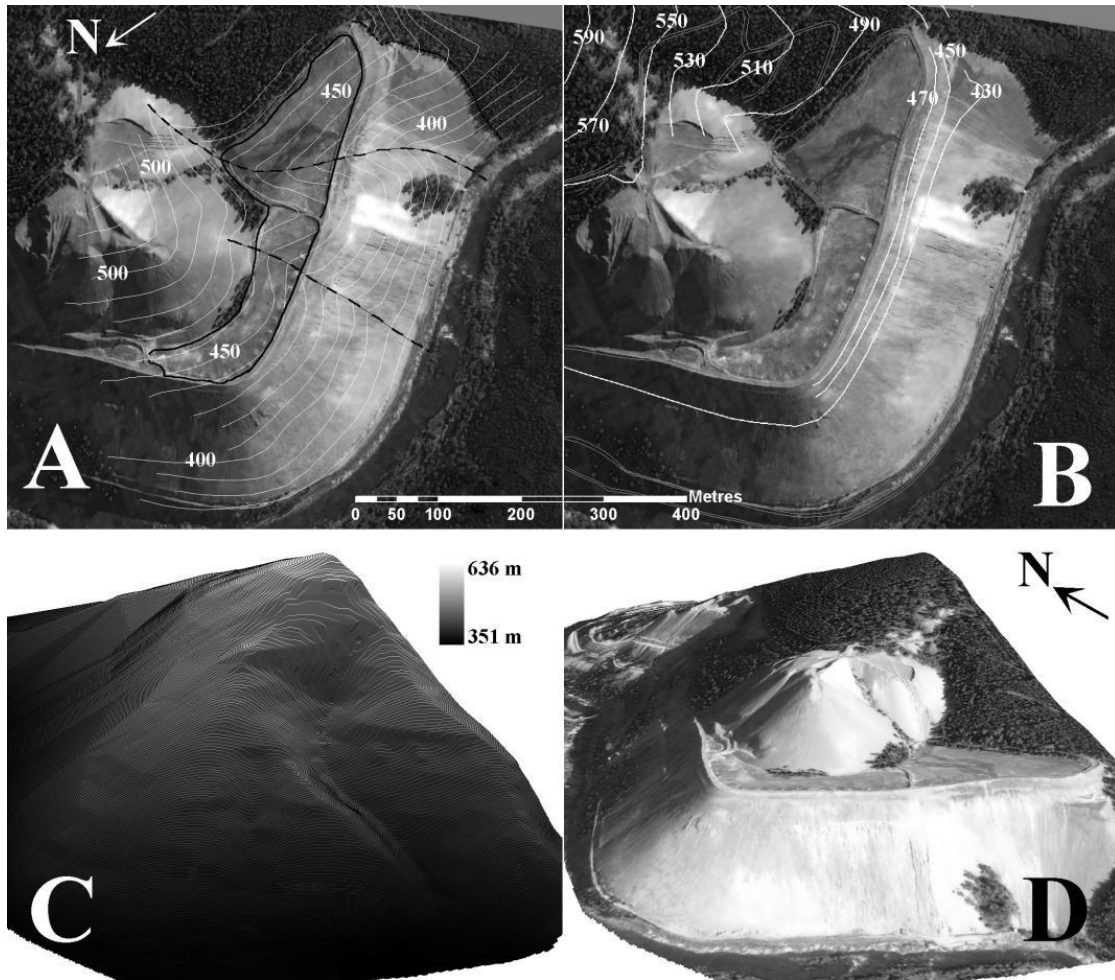


Figura 79 - Perspectiva 3D e aérea da barragem de lamas (Grangeia, 2010).

Esta linha tem de ser intersectada na base da escombreira de estéreis superior, de modo a que seja canalizada para a caleira de recolha de águas pluviais. Para tal o bedrock tem de ser intersectado por um tubo perfurado revestido por uma malha geotêxtil, para não haver colmatção do mesmo, e encaminhar a água recolhida para a caleira de recolha de águas pluviais anteriormente descrita.

As barragens de estéreis já não são associadas com a actividade mineira mas constituem um impacto negativo por parte desta. Apesar do seu forte impacto visual, outros aspectos podem provocar efeitos muito negativos no ambiente como a geotecnia, estabilidade física e química, visual, etc.

Na verdade, as barragens de estéreis estão mais vulneráveis que outras estruturas de retenção e são uma maior ameaça devido à sua instabilidade em relação aos fenómenos relacionados com a terra (sismos, clima, etc.), localização normalmente circundante

com cursos de água e, geralmente, pouca ou nenhuma manutenção, especialmente depois do encerramento das actividades mineiras.

No VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu de 18, 19 e 20 de Junho de 2010 foram discutidas preocupações da Junta de Freguesia de São Francisco de Assis que se juntam às acima referidas.

*“Há oito anos que a Junta de Freguesia vem lutando junto da empresa concessionária da mina - Beralt Tin – no sentido de disponibilizar cerca de dois kms de galerias desactivadas para que juntamente com esta autarquia se inicie a criação de um museu mineiro, que seja um museu vivo, que atraia visitantes e satisfaça a curiosidade dos que hoje a procuram em grande número e o desejo de experienciar uma descida à mina, contribuindo para o desenvolvimento económico e social, a nível local e regional.*

*São constantes os entraves e a falta de sensibilidade e de visão estratégica das entidades que podem viabilizar este projecto.*

*No entanto, existe actualmente algum optimismo e esperança de que a actual Administração e Direcção da Beralt Tin seja mais receptiva a este projecto.*

*Pretende-se que esta mina continue em laboração muitos mais anos, pois constitui um meio de subsistência importante para toda esta região sendo, por conseguinte, indispensável precaver atempadamente o futuro da população local e da economia regional.*

*Contudo, se nada for feito, no dia em que a mina encerrar, a herança que a Beralt Tin deixa vai ser pesada, nomeadamente pelas autênticas montanhas de escombreiras, que escondem barragens com milhões de toneladas de lamas.*

*Quem vai assumir esta herança?”*



**Figura 80 - Vista da Aldeia de São Francisco de Assis com as escombreyras da Mina da Panasqueira como fundo.**

## 9.1 Recomendações para trabalhos futuros

Com este trabalho abrir-se-ão novas perspectivas de estudos futuros a serem realizados, nomeadamente:

- ✓ Estudo económico da recuperação de um espaço mineiro abandonado;
- ✓ Viabilização de recursos afectos à exploração mineira para posterior recuperação paisagística;
- ✓ Caracterização com recursos a métodos geofísicos de toda a área da barragem de lamas para se conhecer realmente como esta foi construída.

# 10º Capítulo

Bibliografía



## 10 Bibliografia

Antunes, Sílvia Maria Pinto Borges (2010). *Levantamento do Estado de Contaminação do Solo e Águas superficiais da Escombreira de Cabeço do Pião – Minas da Panasqueira*

Corrêa de Sá A., Naique R. A. e Nobre E. . Minas da Panasqueira – 100 Anos de História Mineira. Instituto Geológico e Mineiro (1999). *Boletim de minas*. Vol. 36, N.º 1 de Lisboa.

Fiúza, A. M. (2009). *Impacte Ambiental Mineiro*. Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Grangeia C., Ávila, P., Matias, M., Ferreira da Silva, E. (2010). *An integrated investigation of the Rio tailings - Panasqueira mine (Centre Portugal)*.

Martins C., Sousa N., Pereira R., Rocha, T. (2007). *Protecção da Base da Escombreira do Cabeço do Pião*. Logística Aplicada ao Planeamento Mineiro.

Mendes, F. Mello. Eng. De Minas do Instituto Superior Técnico. Instituto Geológico e Mineiro (1993). *Boletim de minas*. Vol.30, N.º 4 de Lisboa.

Moreira, Rolando José Cruz. Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro. VOL. XXII – FASCS. 3-4. (1973)

Santos, A. & Duarte, V. (2007). *Estabilidade das escombreiras do Cabeço do Pião – Minas da Panasqueira*.

VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu. (2010). Vila Velha de Ródão.

8.º Congresso Nacional de Geotecnia (2002), Lisboa.

**Todos os sites foram consultados entre 15 de Janeiro e 30 de Junho de 2010:**

[http://www.farcimar.pt/pre\\_fabricados\\_de\\_betao/valeta\\_trapezoidal.html](http://www.farcimar.pt/pre_fabricados_de_betao/valeta_trapezoidal.html)

<http://www.wise-uranium.org/mdap.html>

<http://www.wise-uranium.org/mdas.html>

<http://www.wise-uranium.org/mdaflf.html>

<http://edafologia.ugr.es/donana/aznal.htm#anchor831319>

<http://www.ineti.pt/viewDoc.aspx?src=7A1F520906A389677CAFFD30AF62110C>

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2008/myb3-2008-po.pdf>

[http://www.farcimar.pt/pre\\_fabricados\\_de\\_betao/valeta\\_trapezoidal.html](http://www.farcimar.pt/pre_fabricados_de_betao/valeta_trapezoidal.html)

<http://www.secilprebetao.pt/catalogo/>

<http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/767/1/33807.pdf>

<http://www.meteo.pt/pt/areaeducativa/observar.o.tempo/emc/index.html>

<http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.1>

<http://www.celpur.pt/residuos2.html>

[http://www.alphageofisica.com.br/gssi/gpr\\_conceito.htm](http://www.alphageofisica.com.br/gssi/gpr_conceito.htm)

**Anexos**

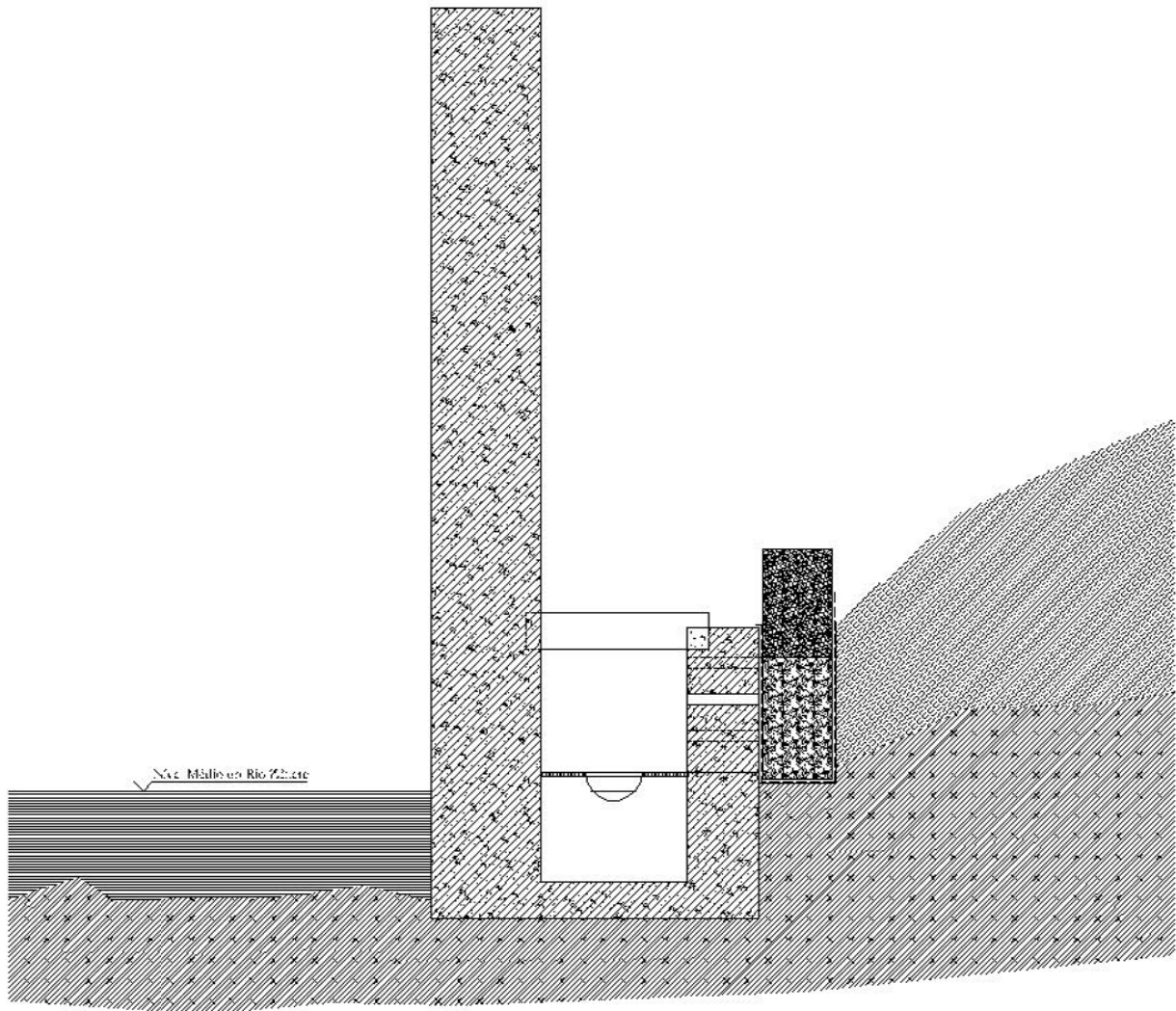


# Anexo A

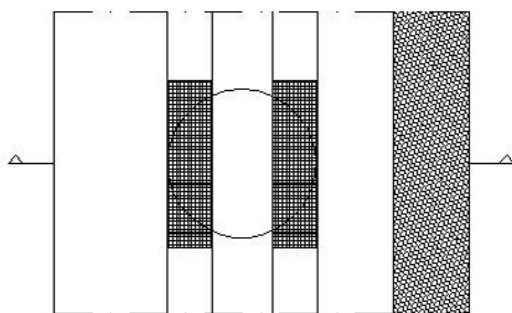
Muro do Poço e Muro de Suporte



# Muro do Poço










Corte P. Poço



Planta do P. Poço

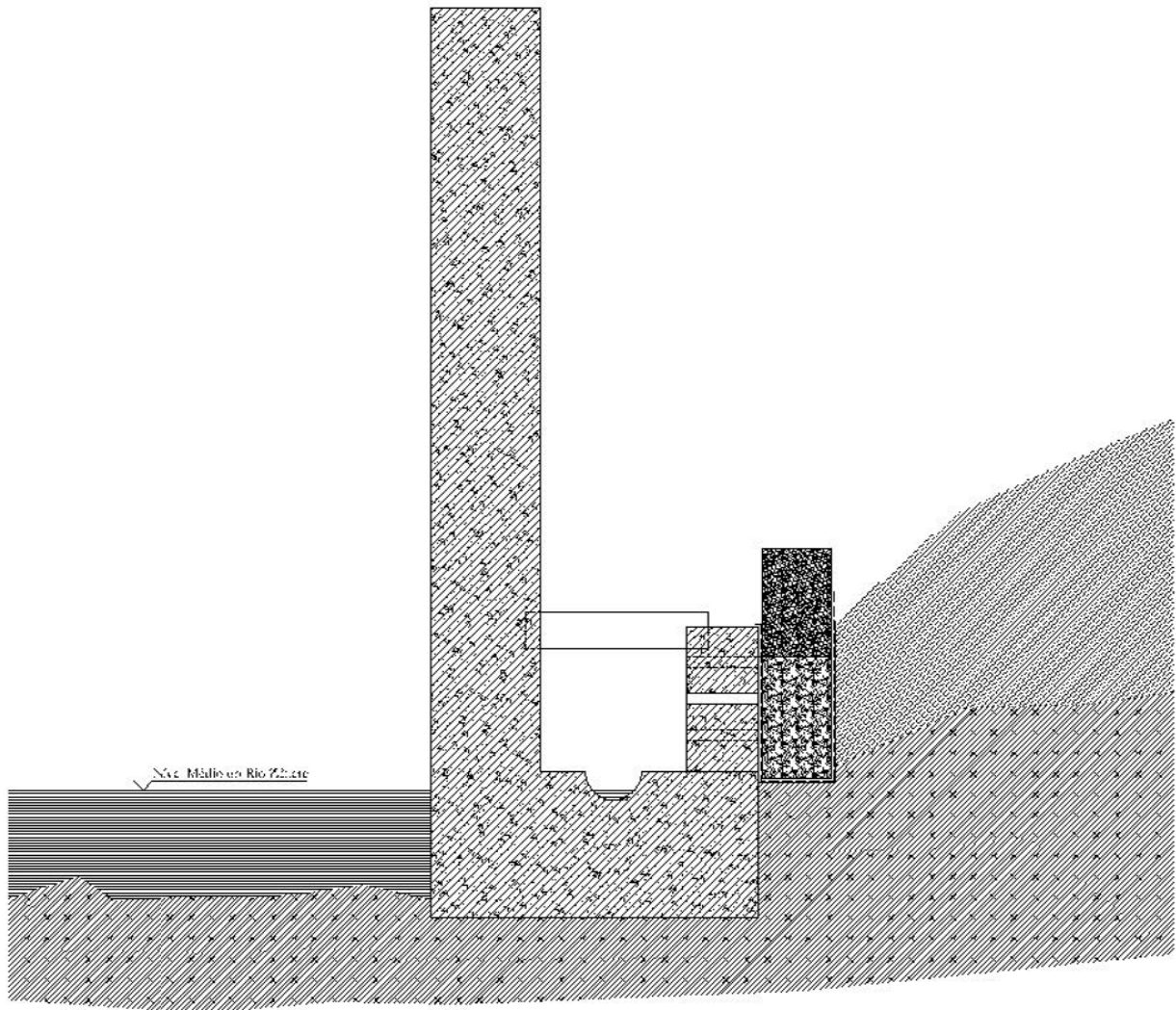
## Legenda:

-  Bed Rock
-  Água
-  Betão Armado
-  Gravilha com manta de Geotêxtil
-  Gabião
-  Escambo
-  Grelha de pavimento

ESCALA 1/100









# Muro de Suporte



Corte P.Muro

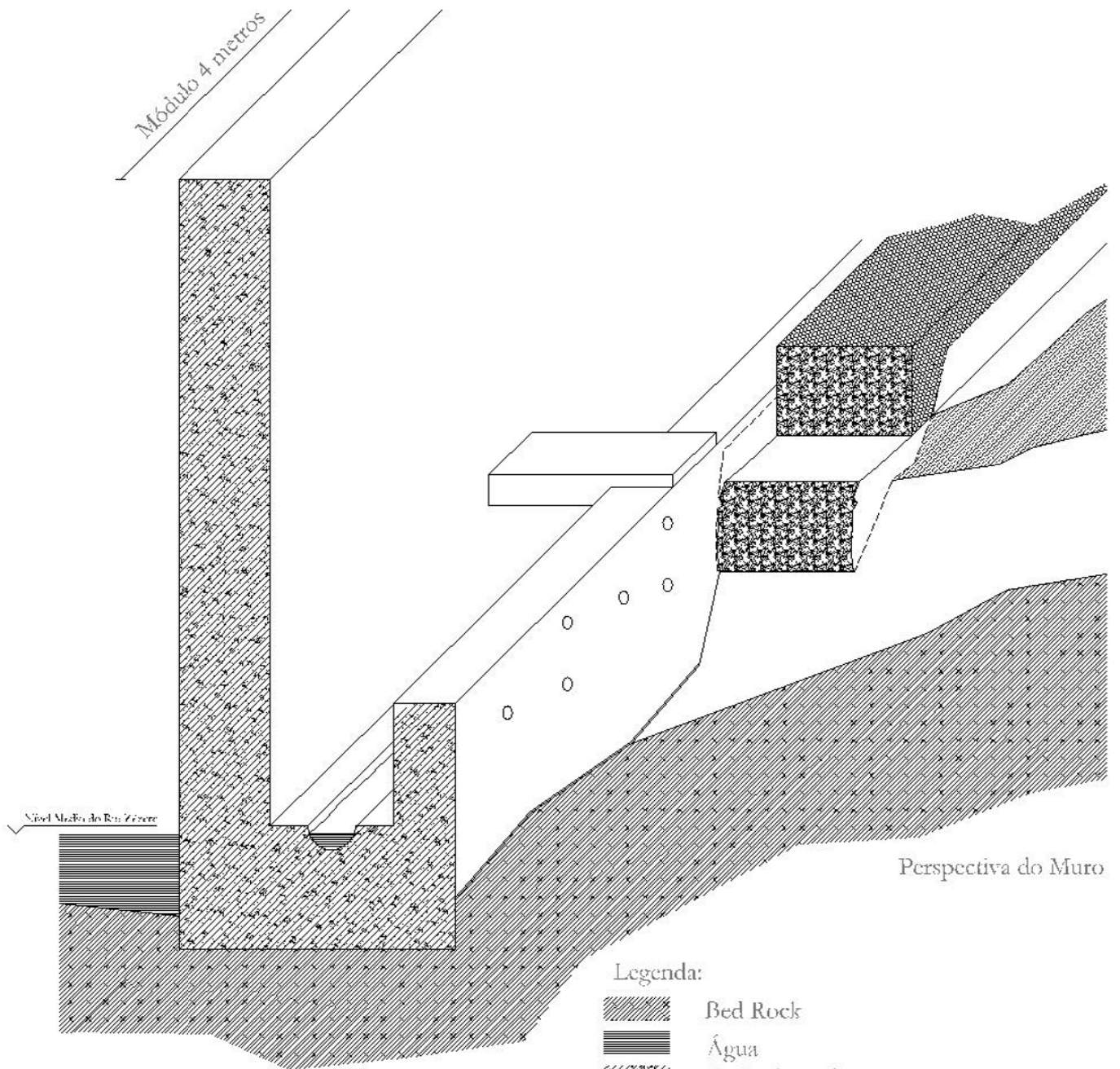
Legenda:

-  Bed Rock
-  Água
-  Betão Armado
-  Gravelha com manta de Geotêxtil
-  Gabião
-  Escombros







ESCALA 1/100



# Muro de Suporte



Legenda:

-  Bed Rock
-  Água
-  Betão Armado
-  Gravelha com manta de Geotêxtil
-  Gabião
-  Escombros

ESCALA 1/100



# Anexo B

Grangeia C., Ávila, P., Matias, M., Ferreira da Silva, E.  
(2010). *An integrated investigation of the Rio tailings -  
Panasqueira mine (Centre Portugal)*. Pag.6 - 12.



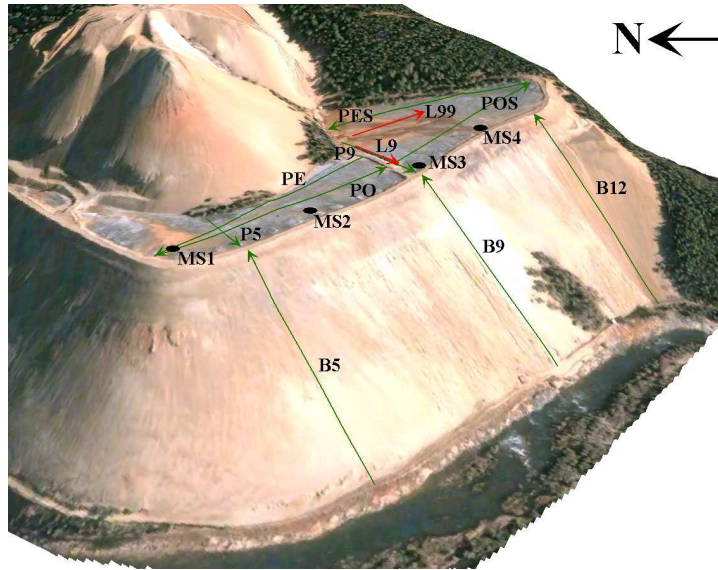


Figure 3: Perspective (3D view) of the geophysical survey: Green - GPR profiles; Red - dipole-dipole profiles.

The ERT survey, on the top of the tailings, consisted on two electrical data profiles, L99 and L9, using a dipole-dipole array, Figure 3. Profile L99 has a total length of 76 m, after inversion, whilst profile L9 is 52 m long. Electrode positioning, and field operations in general, were difficult because of the very dry and stiff surface. The L99 ERT profile used a maximum  $n$  value of 8 and L9 a maximum  $n$  of 6. The equipment used was a Syscal R1 Plus resistivity meter.

The GPR survey was carried out on the top of the tailings (mud impoundment), that is, profiles PE, PO, P5, P9, POS, and PES. Further GPR data profiles B5, B9 and B12 were acquired down the slope of the tailings. Figure 3 depicts the acquisition direction for all profiles and Table 1 shows GPR profile lengths.

Table 1: GPR profile lengths

GPR profile	Total length (m)
PE	216
PO	220
P5	52
P9	87
PES	207
POS	209
B5	184
B9	186
B12	200

GPR field operations were adapted so that a continuous survey was possible. Therefore, continuous GPR data acquisition was only possible by fixing the equipment on a rubber rug pulled by a control velocity mine winch at a fixed velocity. This way it was possible to obtain GPR data uphill over the tailings slope. The same equipment and procedure was used to get data from the mud impoundment surface to speed up operations without loss of quality data.

All GPR data was acquired using a PulseEKKO IV with a 100 MHz unshielded antenna, in bi-static mode, 1.2 m antenna separation, 200 ns time window, 1.25 GHz sampling frequency and 0.1 m trace increment.

### 3.2 Geochemical Data Acquisition

#### 3.2.1 Sampling

Samples from Rio tailings were used to establish the granulometric and mineralogical characteristics of its materials, as well as, to investigate geotechnical and hydrological behaviour, that is, stability,

landslides, formation of ravines, erosion, water circulation at the surface, resurgences, etc. For those proposes selected samples from four available boreholes, MS1 to MS4 – Figure 3, (Dinis da Gama 2002) were used. Technical data for all boreholes are given in Table 2, as well as, the depth of the samples (relative to the top of the borehole). The cores are 30 cm long and were collected by the Bonne Esperance probe [referencia](#) (I.G.M.).

Table 2: Borehole data information.

	Borehole identification			
	MS1	MS2	MS3	MS4
Surface Orientation	S40°W	-	-	S40°W
Inclination	-45°	Vertical	Vertical	-45°
Length (m)	43.58	21.95	34.63	40.13
Core diameter (mm)	123	123	123	123
Depth of Sample 1 (m)	2.39	2.73	2.32	2.32
Depth of Sample 2 (m)	10.00	13.48	8.00	8.00
Depth of Sample 3 (m)	23.00	19.58	16.53	16.53
Depth of Sample 4 (m)	35.49	-	32.00	32.0
Depth of Sample 5 (m)	40.43	-	-	36.00

One iron coating sample was collected in Zêzere River, just downstream of Rio tailings (near stream sediment sample Zss12A) and a ferruginous crust sample in the basement of Rio tailing (near surface water SW10).

Further surface water samples were collected. Thus, samples SW4 and SW4A were collected from the Zêzere River, upstream of the Rio tailings (local background samples); sample SW6 was collected from the Zêzere River but downstream of both tailings areas (Barroca Grande and Rio); samples SW10, SW11, and SW12 are seepage waters collected at the base of the Rio tailings dam.

All samples were collected using a clean 1 L acid-washed polyethylene bottle and stored at 4°C until analysed.

### 3.2.2 Sample Preparation

Tailings and drilling core samples were oven dried until dryness before dry sieving at 40°C, mixed, homogenized and sieved through a < 200 mesh screen for chemical analysis. In order to analyze the dissolved phases, 250 ml of surface waters from each sample was filtered on-site through 0.45µm Millipore membrane filters using an all-plastic pressurized filtering system (ASTM 1984). Samples for metal analysis were immediately preserved after collection in the field, with pH reduction to 2.0 using HNO<sub>3</sub>, avoiding Fe hydroxide precipitation. All the water samples were stored at 4°C pending further analysis.

### 3.2.3 Sample Analysis

At each site, temperature, pH, and electric conductivity (SC) of the surface waters were recorded. The pH was measured with a previously calibrated HI 8424 microcomputer pH meter. Conductivity was measured using a HI 8633 microcomputer electric conductivity meter. All SC measurements have been referenced to 25°C. HCO<sub>3</sub> concentration was determined *in situ* by volumetric titration on filtered unacidified samples with sulphuric acid.

Chemical analyses of the homogenized stream sediments, tailings and dam samples were carried out in an accredited lab. For trace metal analysis, a 0.5 g split was leached in hot (95°C) *aqua regia* (HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) for 1 hour. Although not all minerals are decomposed during the *aqua regia* digestion, these results obtained for heavy metals are considered as total concentrations. After dilution to 10 ml with deionized water, the solutions were analyzed for Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Sb, V, Y, and Zn (by conductive plasma emission spectrometry). The Sn and W were analysed separately by X-ray fluorescence (XRF), since the high stability of the XRF system generally allows the accurate analysis of Sn and W. The detection limits were based on three times the standard deviation of a reagent blank that was analysed ten times. The accuracy and analytical precision were determined using reference materials (SO1, SO2, SO3, SO4, FER1, FER2, FER3, and FER4 from the Canadian Centre of Mineral and Energy Technology; PACS-1 from NRS26 CNRC; and 2711 from NIST) and duplicate samples in each analytical set. The results were within the 95% confidence limits

of the recommended values given for this certified material. The relative standard deviation was between 5 and 10%.

Surface water samples were analyzed without pre-concentration. The analyzed elements include major anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$ ), major cations (Ca, K, Na, and Mg), as well as a suite of dissolved trace metals (Ag, Al, As, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, S, Sb, and Zn). Unacidified samples were analyzed using a Dionex 1000i ion chromatography (IC) Work33 station to determine the chloride, nitrate, and sulphate concentrations. Anisocratic elution with a sodium bicarbonate–sodium carbonate eluent was employed together with a Dionex AS4-SC column. Although standards were prepared containing the above anions only, other anions would have been detected, if present, at levels greater than  $\approx 0.1 \text{ mg L}^{-1}$ . For concentrated samples, dilution was required for reliable anion analysis. The concentrations of major cations and trace elements in acidified waters were determined using mass inductive plasma spectrometry (ICP-MS) at the same accredited lab. Reagent blanks and duplicate samples were inserted into each batch for quality control (Ramsey et al. 1987). The geostandards AQUACHECK and EAA 4 were used to check the validity and reproducibility of the results. Depending on the concentration levels, typical uncertainties, including all error sources, are less than 6% for the trace elements, and between 2% and 7% for the major anions. The limit of detection for the analyzed trace metals is about  $0.05\text{-}10 \text{ mgL}^{-1}$ .

The mineralogical analysis consisted on the identification of the mineral constituents in selected solid media samples (including efflorescences) by X-ray diffraction. The mineralogical composition was determined using a Philips X'Pert MPD equipment equipped with CuK $\alpha$  radiation, graphite monochromator, automatic divergence slit, and 0.5-receiving slit. Step size of  $0.05^\circ 2\theta$ , scan setting of  $2\text{-}70^\circ 2\theta$ , and 10 s counting times were chosen.

## **4. Results and Discussion**

### **4.1 Geophysical Data Processing and Interpretation**

#### **4.1.1 GPR**

GPR processing was done using dedicated commercial software (Sandmeier's Reflex-Win). Data processing consisted on: Set time zero, First arrival correction, DC removal, Dewow, Background removal, BandPass filtering and energy decay gain. Time - Velocity conversion was achieved by hyperbola velocity fitting analysis in GPR profiles.

In spite of using energy decay gain, GPR profiles (P5, P9, PO and PES) revealed high data attenuation, as it could be expected because of the nature of the media. Nevertheless, GPR profiles on the slope of the tailings showed significantly lower energy loss, herein just shown the B9 GPR section. This is due to the material size distribution over the tailings, that is, the mud impoundment on the top of the tailings is composed by very fine materials, whereas gravel materials are dominant on the slope of the tailings.

#### **4.1.2 GPR Profiles on the Mud Impoundment – Top of the Tailings**

Mud waste mine materials have been transported, in liquid phase, by pipes, and deposited on the surface. Therefore, it is expected horizontal to sub horizontal bedding signatures and, due to several deposition time episodes, interbed crossing.

The surface laying materials consist of complex polymetallic sulphides mine waste, with low Ph values. Hence, high conductivity, low signal penetration, was expected and observed on most of the radargrams (Figure 4, Figure 5 and Figure 6). Consolidated hard crusts detached from the surface were found and difficult to avoid in the GPR survey. This has caused antenna coupling problems and their negative signal effects are frequently observed in GPR data (Figure 4 and Figure 6).

Some GPR profiles carried out on top of the tailings are presented to give an overall account of the GPR response, particularities and benefits in these circumstances.

#### 4.1.2.1 GPR profiles P5 and P9

Figure 4 shows P5 and P9 radargrams (top) and their proposed interpretation (bottom). These profiles, located on the top of the tailings, Figure 3, are parallel to each other and have the same acquisition direction. Both radargrams, P5 and P9, have the same general pattern features, although GPR profile P9 shows a better signal penetration. This is in accordance with the observed difference in surface water content for both places. The interpretation, bottom of Figure 4, proposes three main event signatures:

- (a) interfaces between datasets, presented as grey thicker lines; because of the complexity of the media these interfaces are often discontinued. They are interpreted as layering events different from bedding due to time interval deposition, major mud waste volume deposition, or simply by change in the material type deposition;
- (b) ring down effects starting at time zero, interpreted as bedding and presented as shorter black lines;
- (c) other closed black lines, starting later in time, identified as antenna ringing possibly due to voids. It is possible that the consolidated hard detached crusts are present also in depth. This could be explained by dried mud crusts as the mud impoundment has grown with deposition.

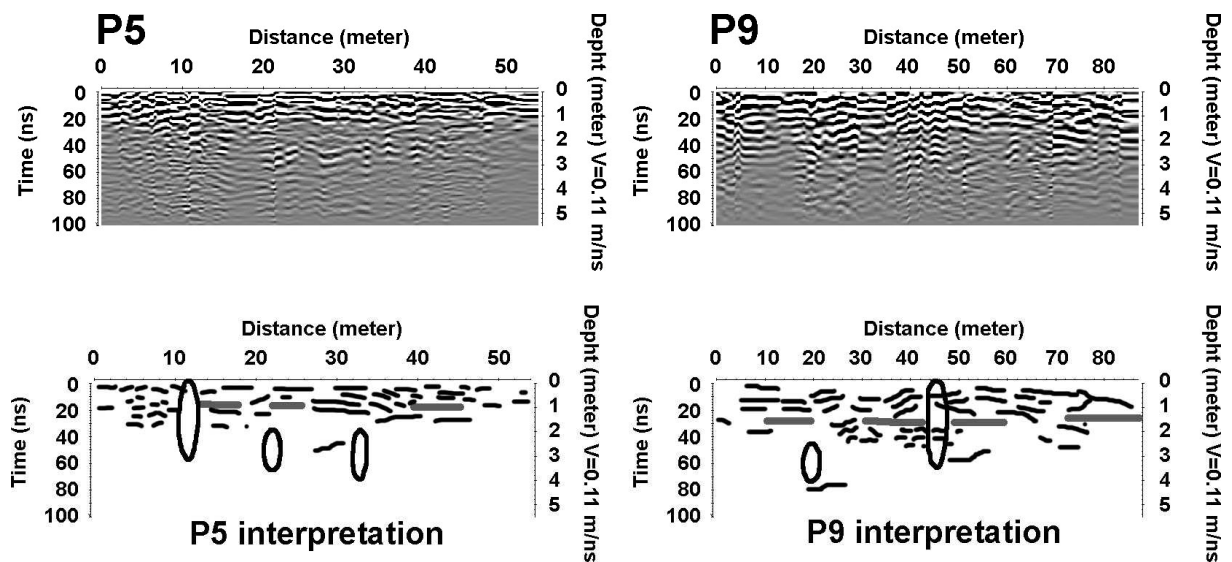


Figure 4: Radargrams P5 and P9 (Top), P5 and P9 proposed interpretation (Bottom). Grey lines - major bounding surfaces between strata sets, black lines - bedding and black areas correspond to Antenna ringing (coupling) and ring down effect (voids).

#### 4.1.2.2 GPR profile PO

The interpretation of the GRP profile PO is depicted in Figure 5, radargram on top and proposed interpretation on the bottom. This profile was carried out the edge and over the western part of the tailings, Figure 3.

In general, the radargram displayed in Figure 5, shows low signal penetration depth (maximum depths up to 1.5 metres), approximate horizontal to sub-horizontal strata bedding and two attenuation zones at each side of a central part of the radargram.

Three main events are interpreted: first the grey thicker lines that could be associated with major bounding surfaces between strata sets; second, strata sets bedding identified with black thinner lines and, finally, ring down effects represented as closed black lines.

At the centre of the radargram and closer to the schist bedrock, higher signal penetration is visible by the identification of deeper strata events. At both sides from this central position, away from the schist bedrock, there is a decrease in signal penetration. Again, at the radargram beginning, near the edge of the slope, it is possible to identify deeper events, which may be related to a dry, higher resistivity and lower attenuation area. Unfortunately, because of the high attenuation it was not possible to identify the schist bedrock.

Bounding surface events are identified by major angle discontinuities. They are closely spaced and have some lateral continuity. Between these, low angle depositional bedding is visible. These features are in close agreement with the known deposition processes of waste mine materials. Inter-bedded crossing was not possible to convenient interpret since there were no close parallel GPR profile for the necessary interpretation support.

Ring down effects are also present in Figure 5. The proposed interpretation (bottom of Figure 5), depicts some of these major events. The observed, thick and detached from surface, hard mud crusts, are often associated with these effects, as they cause inefficient antenna coupling, but the presence of a shallow water table can also be responsible for such effects. These events should start at early (since time zero) registry time within the GPR radargram.

Ring down effects can also develop later in time. In this case it is likely that voids, as well as, changes in material electrical properties can be responsible for high electromagnetic impedance contrasts and cause ring down effects in radargrams. This signature is registered later in time as it is the case in the proposed interpretation of Figure 5.

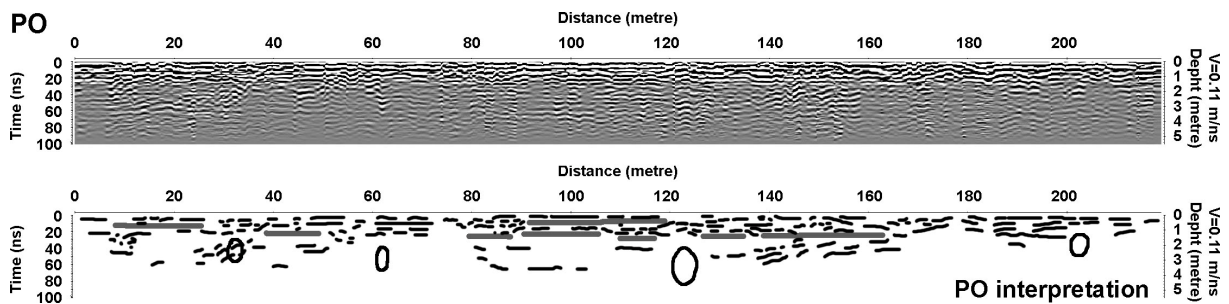


Figure 5: PO radargram (top) and proposed interpretation (bottom). Grey lines - major bounding surfaces between strata sets, black lines - bedding and black areas correspond to ring down effect (possibly voids).

#### 4.1.2.3 GPR profile PES

PES radargram is depicted in Figure 6. It corresponds to data gathered on the Eastern part of the top of the mud impoundment, far from the slope of the tailings and near the schist bedrock. It shows a more pronounced attenuation zone at the end (starting at 180 metres). Penetration depth is about 1.5 m as in PO GPR profile (Figure 5), but the events separation is clearer. Major bounding surfaces are depicted in grey thicker lines, whilst strata bedding as thinner black lines. Both show sub-horizontal low angle deposition, as expected.

Ring down effects are depicted as black closed lines. The proposed interpretation shows only two events, one, starting at time zero, that should correspond to antenna coupling inefficiency (antenna ringing), and a deeper event that could be the result of a void. In general, strata bedding is in agreement with the known signatures for the materials deposition and mud impoundment deposition.

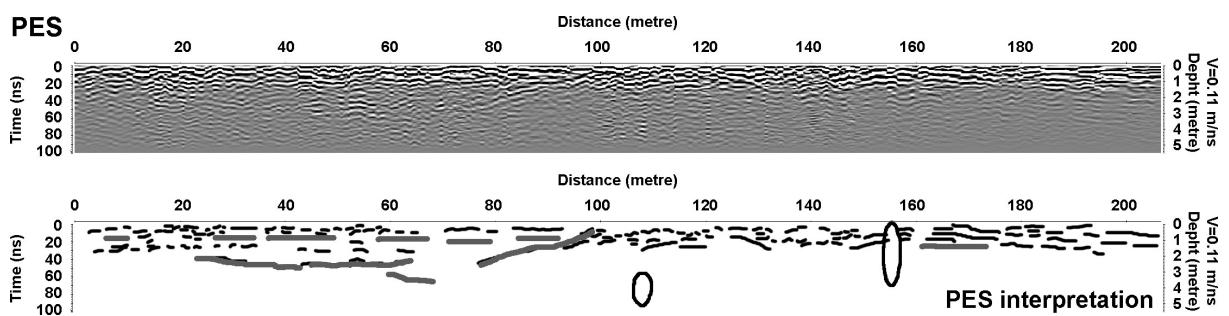


Figure 6: PES radargram (Top) and proposed interpretation (Bottom). Grey lines - major bounding surfaces between strata sets, black lines - bedding and black areas correspond to Antenna ringing (coupling) and ringdown effect (voids).

### 4.1.3 GPR profiles on the tailings slope

#### 4.1.3.1 GPR profile B9

GPR profile B9, Figure 7, is located at the middle of the slope tailings near a small schist outcrop, it was chosen as representing the survey carried out uphill and on the slope of the tailings. The starting position (zero m) of the radargram corresponds to the lower part of the tailings, Figure 3.

The bottom of Figure 7 shows the proposed interpretation. Four types of events have been interpreted: (1) the thicker black line depicts the schist bedrock bounding surface; (2) the grey lines are interpreted as major bounding surfaces between strata sets; (3) the thinner black lines are interpreted as bedding and (4) the closed black line is interpreted as an area affected by antenna ringing due to inefficient antenna coupling.

Starting a hundred metres uphill it is possible to distinguish two major attenuation areas. A small area showing some signal attenuation and the second much closer to the mud impoundment that shows higher signal attenuation. This higher attenuation can be explained as the waste deposition processes that usually separates coarse grain material at the base from finer material at the latest stages at the top (Van Dam, R.L.,2005).

Near the surface, top of the radargram - Figure 7, layering is parallel to the surface. This signature changes and from the proposed interpretation (bottom of Figure 7), it is more visible towards the end and at larger depths of the GPR profile.

On the left part of the radargram, there are other features showing some degree of angle discontinuity. They are interpreted as early deposition bedding events over the schist bedrock itself. There is also some irregularity on the spacing of the major bounding surfaces that can be explained by the apparent bedding angle, irregular time deposition, volume deposition or even material deposition. It is also possible that there could be some man made supporting structure responsible for the observed features.

The top of the schist bedrock provides a strong signal response. Hence, there is a clear material differentiation. This could be explained by material migration mechanisms such as water transportation, gravity or even wind in the beginning or during the pilling up of the tailings over harder and impermeable schist bedrock.

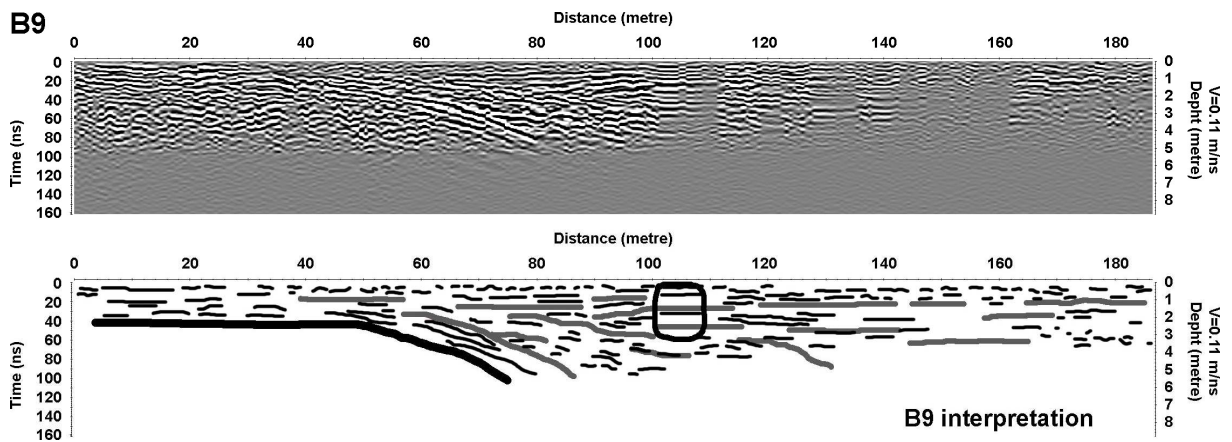


Figure 7: B9 radargram (top) and proposed interpretation (bottom). Grey lines - major bounding surfaces between strata sets, thick black line - Bedrock interface, thinner black lines - bedding and black areas correspond to Antenna ringing (coupling).

Figure 8 shows a photography (top) of a vertical rupture section (20 m by 3 m) of the tailings and the corresponding interpretation scheme (bottom) to illustrate the inner structure of the tailings. The thick black lines depict major bounding surfaces between data sets and bedding is represented by the thinner black lines; the grey thin lines mark the eroded area limits on the vertical section.

This direct interpretation of an observed field section confirms that bounding surfaces and bedding are in agreement with the GPR interpreted sections and expected depositional signatures for these materials in the tailings.

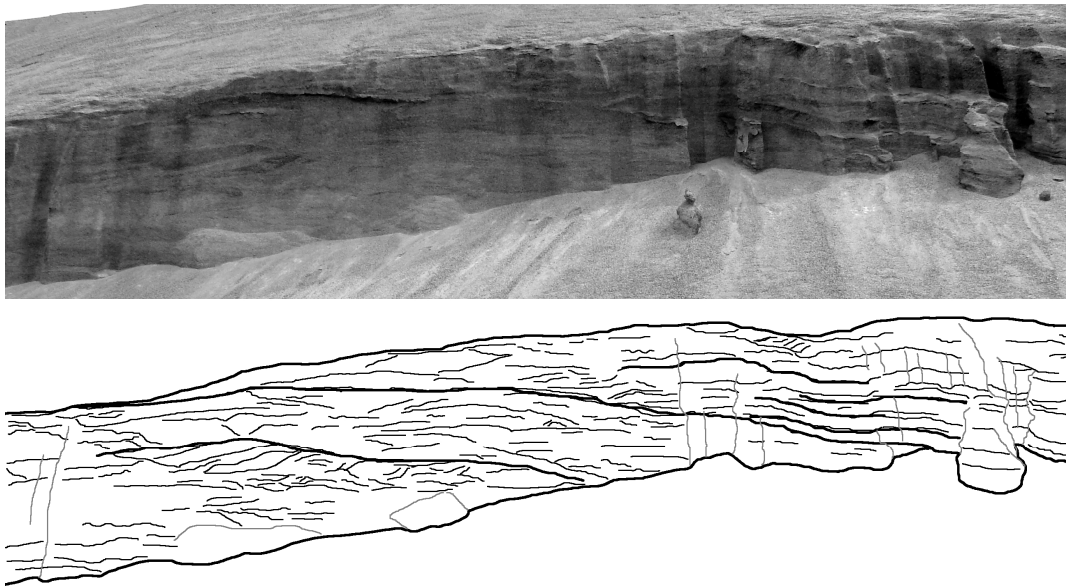


Figure 8: Photograph of a vertical rupture of the tailings (top) and the corresponding bedding identification (bottom).

#### 4.1.2 ERT

Two ERT profiles were carried out, L99 and L9 (Figure 9 and Figure 10), to investigate heterogeneities in the mud impoundment materials, as well as, to locate schist bedrock under the tailings.

L9 is located at the centre of the tailings (Figure 3) and is 52 m long. The profile started near a schist outcrop and ended near the slope of the mud impoundment. On the other hand, L99, 76 m long, is located on the eastern area of the mud impoundment (Figure 3) and crosses over an expected water line under the tailings.

ERT field data were inverted to generate two dimensional distribution models of resistivity using Res2DInv (Loke 2000; Loke and Barker 1996). L99 (Figure 9) has a RMS error of 1.59% at iteration 10, whilst L9 (Figure 10) has a RMS error of 3% for the same iteration number.

The inverse model resistivity section for the L99 profile is shown in Figure 9. Three main distinctive zones are proposed. A first one, with high resistivity, dipping gently westwards, is interpreted as the schist bedrock contrast limit. On the western part of the section (left side of Figure 9), it is identified a very low resistivity area. It should be positioned over the expected buried water line and, hence, in close relationship with a higher water content. Comparatively, the eastern part of the section (right side of Figure 9) shows higher resistivity values, that probably correspond to deposited materials with lower water content. Mud material composition changes, in particular size distribution, can also contribute to the differentiation between East and West zones (right and left side of Figure 9).

Apart from major resistivity changes it is possible to identify horizontal resistivity continuity by opposition to resistivity vertical changes. This should correspond to horizontal / sub-horizontal layering material deposition on the mud impoundment.



# Anexo C

Precipitação Diária Máxima Anual (mm) de Silvares



Data	SILVARES (13K/02UG) Precipitação diária máxima anual (mm)
08/12/1932 09:00	78.2
06/10/1933 09:00	67.0
08/12/1934 09:00	44.0
17/02/1936 09:00	68.4
27/01/1937 09:00	95.8
06/12/1937 09:00	61.0
28/09/1939 09:00	98.2
30/10/1939 09:00	87.4
09/11/1941 09:00	60.8
20/01/1943 09:00	128.8
04/06/1944 09:00	99.0
02/11/1944 09:00	32.2
18/12/1945 09:00	63.0
17/10/1946 09:00	95.0
25/02/1948 09:00	104.0
12/09/1949 09:00	95.0
20/05/1950 09:00	100.0
22/09/1951 09:00	90.6
13/09/1952 09:00	100.2
26/11/1952 09:00	100.8
09/12/1953 09:00	108.0
22/03/1955 09:00	72.0
08/08/1956 09:00	100.8
25/04/1957 09:00	30.8
08/11/1957 09:00	81.2
20/12/1958 09:00	120.6
20/11/1959 09:00	195.9
12/11/1960 09:00	190.0
24/11/1961 09:00	120.0
14/02/1963 09:00	90.2
25/02/1964 09:00	73.3
30/01/1965 09:00	70.3
20/02/1966 09:00	45.3
06/11/1966 09:00	59.0
26/11/1967 09:00	53.6
13/03/1969 09:00	73.8
17/01/1970 09:00	71.0
10/12/1970 09:00	54.2
03/02/1972 09:00	62.5

05/11/1973 09:00	69.2
17/03/1975 09:00	37.7
24/09/1976 09:00	30.7
14/01/1977 09:00	63.0
18/10/1977 09:00	41.3
09/02/1979 09:00	55.8
14/10/1979 09:00	62.6
27/02/1981 09:00	37.0
05/10/1981 09:00	61.7
07/11/1982 09:00	59.7
20/11/1983 09:00	58.2
19/10/1984 09:00	59.6
26/12/1985 09:00	47.5
31/08/1987 09:00	40.8
03/12/1987 09:00	48.4
13/10/1988 09:00	58.5
22/12/1989 09:00	61.1
14/10/1990 09:00	79.5
26/10/1991 09:00	39.4
16/10/1992 09:00	35.5
12/02/1995 09:00	39.6
10/12/2002 09:00	(vc) 35.8
26/10/2003 09:00	(vc) 52.0

(vc): Valor calculado pois falha valor introduzido

# Anexo D

VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no  
Sudoeste Europeu (2010). Vila Velha de Ródão.



## VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu

18, 19 e 20 de Junho de 2010

Casa de Artes e Cultura do Tejo  
Vila Velha De Ródão

Os participantes no VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu tomaram conhecimento das várias iniciativas desenvolvidas pela Junta de Freguesia da Aldeia de São Francisco de Assis com vista à recuperação e preservação da memória das Minas da Panasqueira.

Em 1993, aquando do encerramento da mina, assistiu-se à venda de todo o seu património a nível de equipamento mineiro, fruto da total inoperância das entidades que poderiam ter travado aquele processo.

Algum do equipamento que hoje se encontra exposto na Junta de Freguesia foi por esta adquirido nos sucateiros.

Há oito anos que a Junta de Freguesia vem lutando junto da empresa concessionária da mina - Beralt Tin – no sentido de disponibilizar cerca de dois kms de galerias desactivadas para que juntamente com esta autarquia se inicie a criação de um museu mineiro, que seja um museu vivo, que atraia visitantes e satisfaça a curiosidade dos que hoje a procuram em grande número e o desejo de experienciar uma descida à mina, contribuindo para o desenvolvimento económico e social, a nível local e regional.

São constantes os entraves e a falta de sensibilidade e de visão estratégica das entidades que podem viabilizar este projecto.

No entanto, existe actualmente algum optimismo e esperança de que a actual Administração e Direcção da Beralt Tin seja mais receptiva a este projecto.

Pretende-se que esta mina continue em laboração muitos mais anos, pois constitui um meio de subsistência importante para toda esta região sendo, por conseguinte, indispensável precaver atempadamente o futuro da população local e da economia regional.

Contudo, se nada for feito, no dia em que a mina encerrar, a herança que a Beralt Tin deixa vai ser pesada, nomeadamente pelas autênticas montanhas de escombrecas, que escondem barragens com milhões de toneladas de lamas.

Quem vai assumir esta herança?

A desertificação de toda aquela zona é mais que certa e, por essa razão, está no centro das preocupações da autarquia.

É preciso o apoio de todas as entidades com competência nesta matéria e, especialmente, da concessionária da mina, para que não se instale na região uma situação de depressão económica e social.

Em face do exposto, os participantes e as entidades organizadoras do VI Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas no Sudoeste Europeu aprovam uma recomendação para que sejam desenvolvidos todos os esforços no sentido da preservação da memória mineira, importante para a região, mas também para o país e o mundo, dado o reconhecimento das Minas da Panasqueira a nível mundial.

Desta posição deve ser dado conhecimento a todas as entidades competentes e à comunicação social.

Vila Velha de Ródão, 20 de Junho de 2010



