

# **ALTEAMENTO DA BARRAGEM DE REJEITADOS DE CERRO DO LOBO. MINAS NEVES CORVO**

## **RAISING OF CERRO DO LOBO TAILINGS MANAGEMENT FACILITY NEVES CORVO MINE**

Oliveira Toscano, Mafalda, *Somincor, Castro Verde, mafalda.oliveira@somincor.pt*  
Romeiro, Manuel, *Cenorgeo, Lisboa, mromeiro@cenorgeo.pt*  
Almeida, Nuno, *Cenorgeo, Guarda, nunojpt@gmail.com*

### **RESUMO**

Nesta comunicação apresentam-se os trabalhos da 4ª fase de construção da barragem em aterro de Cerro do Lobo, correspondente ao alteamento da cota 252 para a cota 255. A albufeira desta barragem recebe os rejeitados resultantes do processo de concentração do minério efectuado nas lavarias do cobre e do estanho e futuramente do zinco, da mina de Neves Corvo e o alteamento desta última fase de construção permite aumentar em  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$  o volume de armazenamento.

Como principais materiais de construção dos aterros, utilizaram-se nesta fase enrocamento de grauvaque britado e escombros da mina respectivamente a jusante e a montante da geomembrana, gravilha e areias nos tapetes drenantes e nas camadas de envolvimento da geomembrana de impermeabilização e Rip-Rap de grauvaque no revestimento dos taludes da barragem.

### **ABSTRACT**

This paper presents the fourth phase of construction of the Cerro do Lobo complex zoned rockfill tailings management facility, raising the dam from 252masl to 255masl, and increasing the storage capacity by  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . The purpose of this dam is the storage of tailings, deposited sub-aqueously, generated by the processing of copper, tin and, in the near future, zinc ores.

The principal construction materials used in this phase of construction were a quarry product (crushed greywacke) and a run of mine waste material, respectively downstream and upstream of the internal impervious geomembrane, gravel in the drainage system and sand involving the geomembrane. To protect the downstream and upstream faces of the embankment a greywacke rip-rap was used.

## **1. INTRODUÇÃO**

A barragem de Cerro do Lobo está integrada no complexo mineiro de Neves-Corvo, da Somincor, para deposição dos rejeitados produzidos no processo de concentração do minério. Situa-se no concelho de Almodôvar e dista cerca de 4km da área industrial. A planta geral da barragem está representada na Figura 1. Nesta figura estão representadas as 5 barragens para desvio das águas pluviais e os caminhos de acesso ao interior da albufeira.

O projecto desta 4ª fase de construção foi, tal como das fases anteriores, da responsabilidade da empresa Hidroprojecto.

A Cenorgeo teve a seu cargo a coordenação e a fiscalização dos trabalhos de alteamento, sendo também responsável pela implantação da obra no terreno e pelo controlo de qualidade dos materiais à entrada em obra e após aplicação nos aterros da barragem.

A Somincor, enquanto dono de obra, fez a gestão da empreitada no que se refere à aquisição dos materiais, contratos com os empreiteiros intervenientes na obra, em estreita colaboração com a fiscalização.

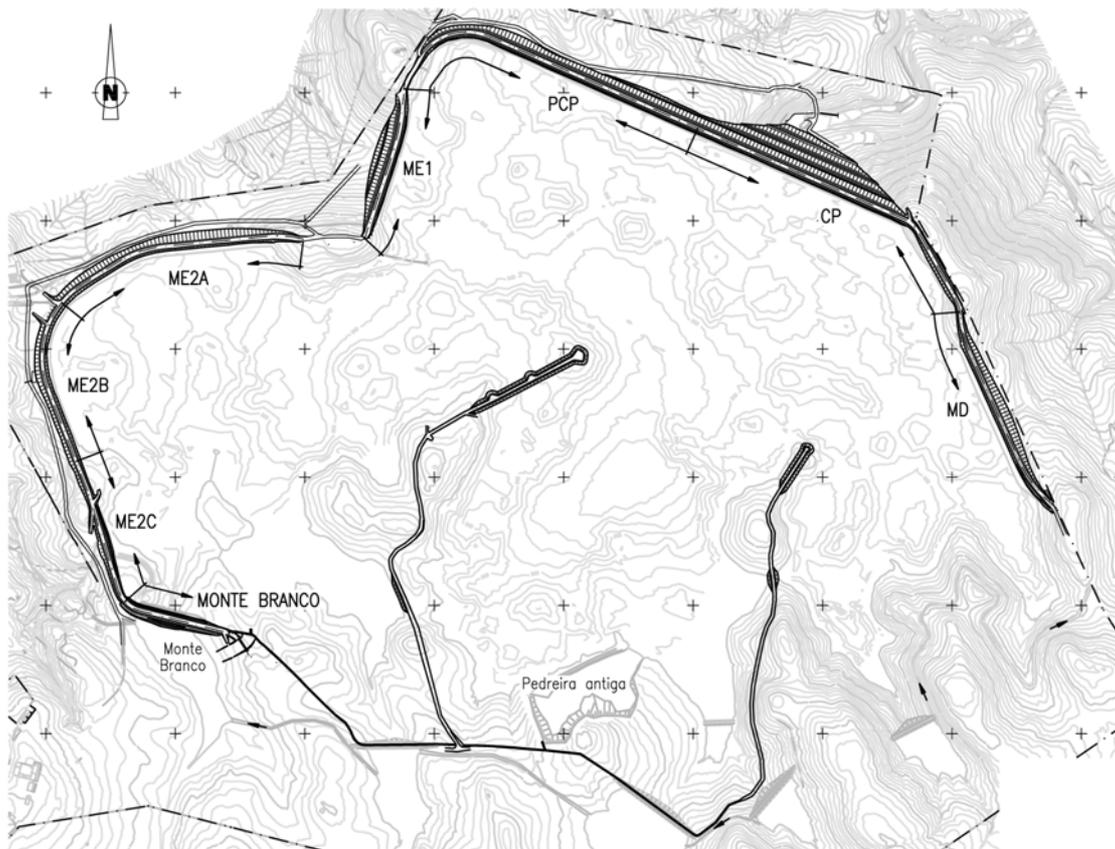


Figura 1: Planta geral da barragem e do desvio das águas pluviais

A filosofia escolhida de operação e exploração da barragem, com vista à minimização dos impactes ambientais, foi a de deposição subaquática dos rejeitados e de descarga nula para o meio ambiente receptor.

Este método de deposição de rejeitados gera grandes volumes de água que têm de ficar armazenados na albufeira do Cerro do Lobo para serem consumidos no processo industrial. De modo a cumprir um dos requisitos do regime de exploração da albufeira – descarga nula para o meio ambiente – foi necessário reduzir a contribuição das aflúncias naturais para o aumento da cota da água na albufeira, através da construção, a montante e nas proximidades da albufeira, de cinco barragens de derivação, ligadas por canais não revestidos que desviam as águas da bacia para os flancos da albufeira. Deste modo as aflúncias naturais limitam-se às precipitações sobre uma área de 1.95 km<sup>2</sup>, um pouco superior à albufeira

A avaliação da segurança da barragem, nas suas vertentes hidráulica, estrutural e ambiental tem sido efectuada continuamente desde a 1ª Fase de construção, através da sua observação diária e da medição, interpretação e validação de grandezas, tais como, níveis piezométricos, caudais de percolação, deformação dos aterros e também do controlo de qualidade das águas na albufeira, nos piezómetros e nos poços de captação.

Na presente comunicação são apresentados os trabalhos da 4ª Fase de construção da barragem, correspondente ao alteamento da cota 252 para a cota 255.

## 2. FASES DE CONSTRUÇÃO

A barragem foi desde início concebida para ser executada em várias fases, tendo ficado concluída em Outubro de 2005 a 4ª Fase de construção com o coroamento à cota 255.

No Quadro 1 indicam-se as diversas fases de construção e as datas em que foram concluídas:

Quadro 1 - Fases de construção da barragem

Fase de construção	Cota do coroamento	Ano de conclusão
1ª Fase	244,00	1988
2ª Fase - 1º alteamento	248,00	1990
3ª Fase - 2º alteamento	252,00	1993
4ª Fase - 3º alteamento	255,00	2005

Antes deste 3º alteamento, a barragem tinha o coroamento à cota 252 e compreendia uma sucessão de corpos de aterro, destacando-se:

- A barragem principal no Barranco das Lajes, designada por Corpo Principal;
- Vários diques de fecho de portelas, designadas abreviadamente por Portela MD e Portelas ME1 e ME2, respectivamente do lado direito e do lado esquerdo da barragem principal;
- A pequena barragem de Monte Branco integrada no sistema de derivação das águas afluentes às cabeceiras do Barranco das Lajes para o Barranco do Monte Branco.

Na 1ª Fase a barragem foi construída em aterro zonado com um núcleo argiloso central, em solos residuais dos xistos, e os maciços estabilizadores em escombros da mina.

O sistema drenante consistiu num filtro sub-vertical a jusante do núcleo, ligado a tapetes drenantes no fundo dos vales. No Corpo Principal da barragem os tapetes foram ligados por uma trincheira drenante realizada ao longo do pé da barragem que permitia a concentração das águas de infiltração num único poço, onde eram bombeadas em retorno para a albufeira.

A partir da 2ª Fase de construção deu-se a substituição do núcleo argiloso por uma geomembrana em PEAD e o recurso a material de pedra para substituição dos escombros da mina, parcialmente nas 2ª e 3ª fases, e quase totalmente na 4ª Fase.

A geomembrana foi ancorada ao maciço da fundação através de um plinto em betão, envolvido num material plástico e pouco permeável, preparado em obra pela mistura de areia fina eólica e bentonite. Na ligação da geomembrana ao núcleo argiloso utilizou-se a mesma mistura areia-bentonite.

A barragem manteve em todas as fases de construção um descarregador de cheias embora localizado em zonas diferentes do aterro. Actualmente, situa-se no encontro esquerdo da barragem de Monte Branco e tem uma soleira recta com 25 m de largura.

A descarga de fundo, da 1ª Fase, foi prolongada na 2ª Fase e substituída na 3ª Fase por uma descarga auxiliar em sifão, que se manteve na 4ª Fase. Esta descarga auxiliar permite, se necessário, descarregar a água superficial da albufeira o que não acontecia com a descarga de fundo. A descarga de fundo foi selada em 1999 por razões de segurança estrutural e ambiental.

### 3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM

Como se indica na Figura 1 a barragem ficou após a 4ª Fase de construção com 3327 m de desenvolvimento em aterro e é constituída por vários corpos. No essencial é constituída por um Corpo Principal com 42 m de altura máxima (Figura 2) e pelos seguintes diques de portela:

- Portela MD com 11 m de altura;
- Portela ME1 com 17 m de altura;
- Portela ME2 (A, B, e C) com 12 m de altura;
- Barragem de Monte Branco com 7 m de altura.



Figura 2: Corpo Principal da barragem, visto do encontro esquerdo

Os níveis característicos de exploração da albufeira são os seguintes

- Nível de Pleno Armazenamento, NPA: 253,50m;
- Nível de Máxima Cheia, NMC (T=10 000 anos): 253,80m.

Em relação ao NPA, a área inundada é de 1,8 km<sup>2</sup> e o volume de 20,4x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>.

O perfil tipo do alteamento da barragem e das portelas está indicado na Figura 3. No caso da barragem de Monte Branco, o aterro final resultou do alteamento de uma das barragens de desvio das águas pluviais, razão pela qual apresenta um perfil particular com impermeabilização em geomembrana dos lados de montante e de jusante e um poço de captação e bombagem na zona central. Os perfis tipo desta barragem estão representados nas Figuras 4 e 5.

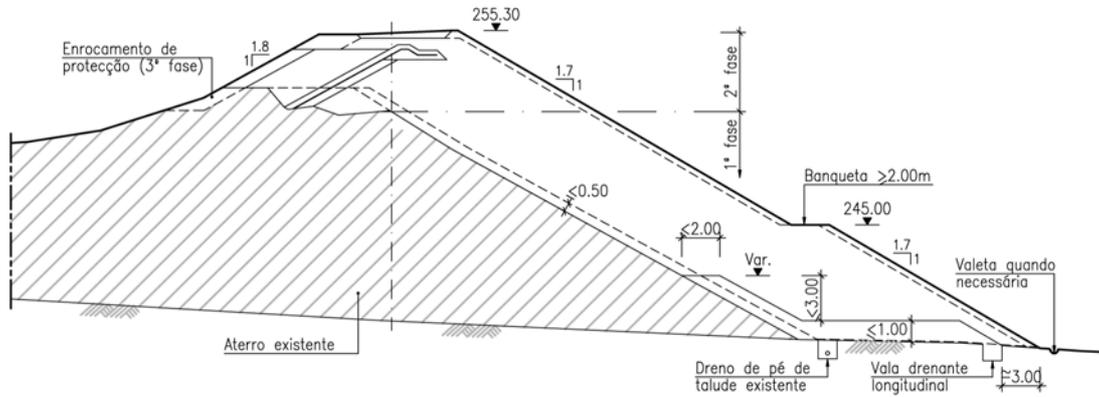


Figura 3: Perfil transversal tipo do alteamento da barragem e dos diques da portela

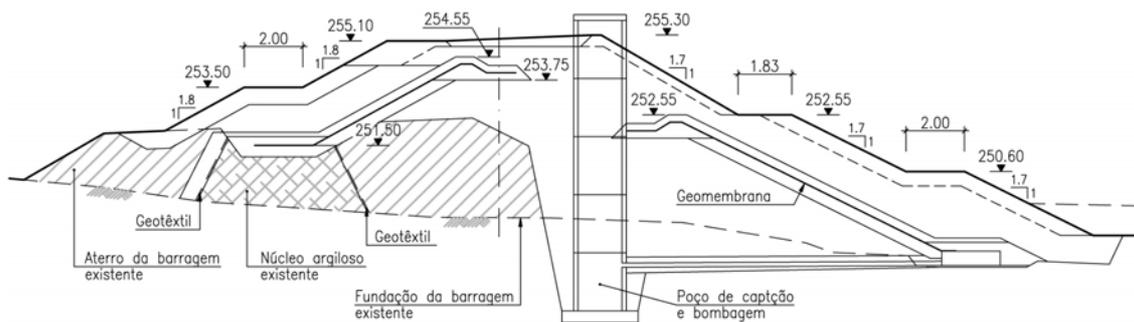


Figura 4: Perfil transversal tipo do alteamento da barragem de Monte Branco na parte central

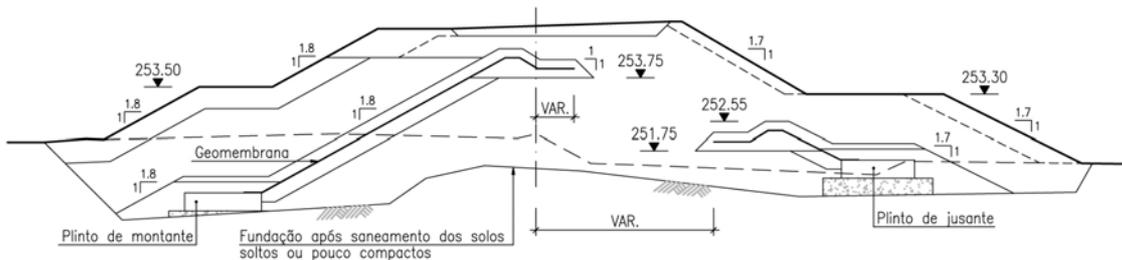


Figura 5: Perfil transversal tipo do alteamento da barragem de Monte Branco nos encontros

A barragem tem o coroamento à cota 255 com 8 m de largura e as inclinações dos paramentos de montante e de jusante são respectivamente 1V/1,8H e 1V/1,7H. No paramento de jusante existem banquetas espaçadas a 10 m, em desnível.

A geomembrana foi instalada entre as cotas 244,00 e 254,35, com inclinação paralela ao talude de montante e à distância na horizontal deste de 5 a 8 m, aproximadamente.

A geomembrana está envolvida por uma camada inferior de assentamento e de filtro em areia grossa, com 0,40 m de espessura e por uma camada superior de areia fina com 0,30 m de espessura.

Na base dos aterros em enrocamento existe um dreno de pé em contacto com a fundação, que colecta todas as águas de percolação e de infiltração nos aterros e na fundação e as encaminha graviticamente para poços de captação e bombagem (IBR) construídos junto ao pé da barragem;

O talude de montante é protegido com uma camada de Rip-Rap e o talude de jusante é revestido com enrocamento sem finos.

O coroamento foi dividido numa faixa de circulação pavimentada em “tout-venant” e com revestimento betuminoso superficial simples e numa plataforma em enrocamento drenante do lado de montante, com 2 m de largura em todos aterros excepto na portela ME2B com 4 metros de largura, onde ficarão instaladas as condutas de rejeitados e de águas industriais (Figura 6).



Figura 6: Coroamento da barragem com os marcos de protecção

#### **4. TRABALHOS DE ALTEAMENTO DA BARRAGEM**

O alteamento é feito à custa do alargamento para jusante do aterro existente, até à cota 251 m numa primeira fase e, posteriormente, até ao coroamento à cota final.

Na primeira fase de alargamento dos aterros até à cota 251 m, efectuaram-se os seguintes trabalhos:

- Preparação da fundação, consistindo na limpeza e saneamento dos solos residuais dos xistos e dos materiais aluvio-coluviais do leito das ribeiras e na decapagem dos materiais alterados à superfície do paramento de jusante;

- Execução do sistema drenante das águas de percolação e infiltração da barragem, que compreende o dreno de pé em gravilha a cobrir toda a fundação dos novos aterros, as trincheiras drenantes ligadas aos poços de captação e bombagem (IBR);
- Execução dos aterros em enrocamento de pedreira de granulometria extensa, incluindo o revestimento do paramento de jusante em material seleccionado.

Na segunda fase, os trabalhos executados corresponderam ao alteamento propriamente dito dos aterros da barragem e consistiram no seguinte:

- Prolongamento dos plintos em betão para fixação da geomembrana à fundação;
- Execução dos aterros em enrocamento até ao nível de ancoragem da geomembrana;
- Prolongamento da geomembrana com soldaduras à geomembrana existente e ao plinto em betão, incluindo as respectivas camadas de assentamento e de protecção em areia;
- Execução do aterro a montante da geomembrana com escombros da mina;
- Execução da protecção do talude de montante e do revestimento do talude de jusante;
- Execução da camada superior e da esteira para condutas no coroamento da barragem;
- Execução da camada do pavimento em tout-venant e do revestimento betuminoso;
- Execução do novo descarregador de cheias e remodelação do sifão;
- Execução das obras de drenagem superficial;
- Instalação do novo equipamento de observação da barragem.

## **5. MATERIAIS PARA ATERROS**

Os principais tipos de materiais utilizados nos aterros da barragem foram os seguintes:

### 1. Enrocamentos em grauvaques de pedreiras (valores de “Los Angeles” entre 18 e 31%):

- Enrocamento de granulometria extensa britado 0 - 400 mm, utilizado como aterro principal e designado por material Pj;
- Enrocamento grosseiro 100 - 200 mm utilizado no revestimento do paramento de jusante e na execução da esteira das tubagens ao longo do coroamento, designado por material Pj’ e que foi obtido por selecção do material Pj;
- Enrocamento de protecção 180 – 500 mm para o paramento de montante, designado por material R.

### 2. Filtros e drenos granulares obtidos em areeiros:

- Gravilha 2A para o dreno do pé da barragem, adquirida no areeiro da Burgausado em Santa Margarida do Sado;
- Areia grossa para a camada de filtro e de assentamento da geomembrana, designada por material F, adquirida também no areeiro da Burgausado;
- Areia fina para a camada de protecção e de ancoragem da geomembrana, designada por material F’, proveniente do areeiro da Somincor, em Vale do Guizo, Grândola.

### 3. Solo - enrocamento em material de escombreira:

- Escombros de granulometria extensa utilizado em aterro a montante da geomembrana, designado por material E, proveniente das escombreiras existentes junto às instalações da mina.

#### 4. Mistura areia-bentonite para envolvimento dos plintos em betão:

- Areia fina do Vale do Guizo misturada com bentonite na proporção igual ou superior a 8% do peso da areia, designada por mistura F' + B.

#### 5. Material de pedra para pavimentação do coroamento da barragem:

- Base de granulometria extensa 0/40 mm obtido por britagem dos grauvaques da pedra, designado por “tout-venant de pedra”.

Os fusos granulométricos destes materiais estão representados na Figura 7.

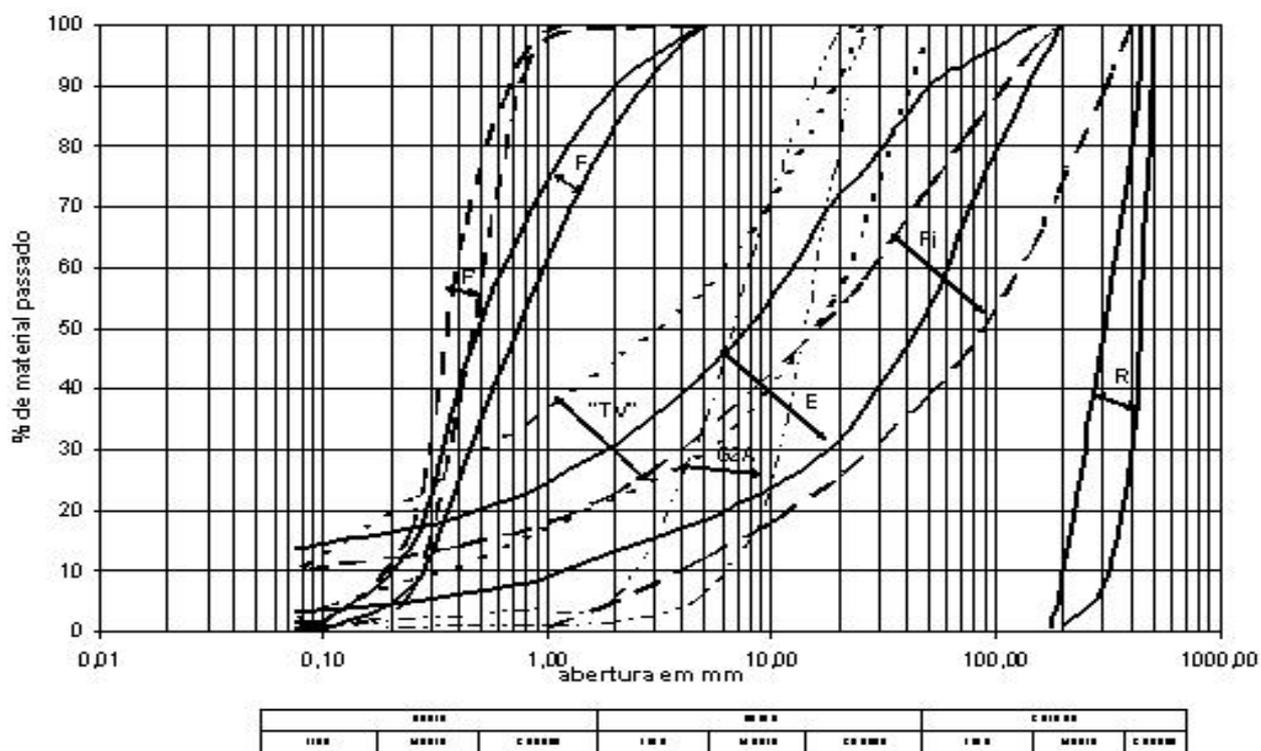


Figura 7: Fusos granulométricos dos materiais utilizados nos aterros da barragem

## 6. ESTUDO DOS MATERIAIS E CONTROLO DE QUALIDADE DOS ATERRS

O controlo de qualidade destes materiais e da respectiva aplicação no corpo da barragem consistiu nos seguintes ensaios:

- Ensaios macro para avaliação do peso específico e da granulometria dos enrocamentos aplicados nas camadas;
- Ensaios de garrafa de areia para a determinação do peso volúmico seco e do teor em água do material colocado, através da estufa;
- Granulometrias das gravilhas e areias colocadas na camada ou em stock antes da sua aplicação;
- Ensaios Proctor Normal e Modificado.

Na fase inicial dos trabalhos, efectuaram-se os seguintes ensaios para estudo e caracterização dos materiais e afinação das britadeiras:

- 30 ensaios macro de amostras colhidas nas pedreiras e no aterro experimental;
- 15 análises granulométricas de amostras de areias e gravilhas;
- 9 análises granulométricas e 4 ensaios Proctor para caracterização dos escombros da mina;
- 5 análises granulométricas e 5 ensaios Proctor no estudo da mistura areia-bentonite;
- 2 análises granulométricas e 2 ensaios Proctor de caracterização do tout-venant para o revestimento do coroamento.

Na fase de construção, o controlo de qualidade consistiu nos seguintes ensaios:

- 219 ensaios macro no enrocamento de granulometria extensa (material Pj), correspondendo em média a um ensaio por 1370 m<sup>3</sup>;
- 17 ensaios macros e 124 ensaios de garrafa de areia nos aterros com escombros da mina;
- 55 ensaios de garrafa de areia e 28 análises granulométricas nos aterros com mistura areia-bentonite;
- 44 análises granulométricas nas areias e gravilha dos filtros e drenos;
- 34 ensaios de garrafa de areia e 2 análises granulométricas nas camadas de tout-venant.

## **7. GEOMEMBRANA**

A geomembrana que se aplicou é em polietileno de alta densidade (PEAD) com textura rugosa nas duas faces e 2 mm de espessura. Foi fornecida em rolos com 70m de comprimento por 6,95 m de largura.

A ancoragem inferior da geomembrana foi efectuada num plinto em betão com secção de 2,10 x 0,5 m<sup>2</sup>, apoiado na rocha compacta. Devido à agressividade das águas da albufeira, que contém cerca de 2600 mg/l de sulfatos, utilizou o betão da classe C40/45.

A ligação da geomembrana aos plintos foi realizada através de um perfil Polylock em PEAD incorporado no betão fresco. No final das soldaduras, os plintos foram envolvidos em material impermeabilizante e plástico constituído pela mistura de areia fina com 8% de bentonite.

Foram utilizados dois sistemas de soldaduras nas situações seguintes:

### a) Sistema de dupla soldadura

- Nas costuras transversais entre dois painéis novos;
- Na costura horizontal de ligação entre as geomembranas nova e existente;
- Nos remendos de grandes dimensões (em geral, com comprimentos de soldadura superiores a 2 m);

### b) Soldadura por extrusão

- Na ligação da geomembrana ao perfil Polylock;
- Nos remendos de pequena dimensão;
- Nos remates e fechos pontuais dos ensaios de ar em pressão;
- Na reparação de anomalias ou no reforço de soldaduras.

No sistema de dupla soldadura, os painéis de geomembrana foram soldados por fusão utilizando uma máquina de dupla soldadura com o sistema de cunha quente, formando um canal para posterior ensaio não destrutivo de estanqueidade. Nas soldaduras por extrusão foi deixado um fio de cobre para ensaio de descarga eléctrica.

O controlo de qualidade das soldaduras foi feito sistematicamente com dois tipos de ensaios não destrutivos: ensaios de ar em pressão e ensaios da centelha eléctrica. Nas duplas soldaduras efectuaram-se ensaios de ar em pressão que consistiram em manter pressão de 4 bar no canal durante 5 minutos. Nas soldaduras por extrusão efectuaram-se ensaios de centelha eléctrica (“Spark Test”) com uma carga electrostática de 25000 Volt.

Foram ainda realizados ensaios destrutivos sobre provetes com a finalidade de testar os parâmetros da máquina de soldar e determinar a resistência da própria costura. Os provetes foram submetidos a ensaios de pelagem e de tracção com recurso a tensiómetro digital em que os valores mínimos admissíveis foram respectivamente 24 N/mm e 30 N/mm.

## 8. PRINCIPAIS QUANTIDADES DE TRABALHOS

As principais quantidades de trabalhos, realizadas nesta fase, foram aproximadamente as seguintes:

– Escavações em fundações e saneamentos.....	60 000 m <sup>3</sup>
– Aterros com enrocamento de granulometria extensa .....	300 000 m <sup>3</sup>
– Aterros com escombros da mina.....	36 000 m <sup>3</sup>
– Areias e gravilhas para filtros e drenos .....	50 000 m <sup>3</sup>
– Betão para plintos e obras hidráulicas .....	2 300 m <sup>3</sup>
– Geomembrana .....	22 500 m <sup>2</sup>
– Perfil Polylock .....	1 020 m
– Caleiras de drenagem superficial.....	1 600 m.

## 9. OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM

Logo na 1ª Fase de construção, a barragem foi equipada com marcas superficiais, piezómetros pneumáticos e células de tensão neutra tipo Maihak na fundação e no aterro, para controlo das pressões internas, e com um poço de drenagem para medição e controlo de caudal e qualidade química das águas percoladas.

Nas fases seguintes de construção e já com base no Regulamento de Segurança de Barragens, Decreto-lei n.º 11/90 de 6 de Janeiro e nas Normas de Observação e Inspeção de Barragens, portaria 847/93 de 10 de Setembro, foram tomadas as medidas regulamentares para seguir a evolução do comportamento da obra ao longo da sua vida, com medição dos deslocamentos superficiais e internos, dos caudais totais percolados e dos níveis piezométricos no aterro e fundação.

Os equipamentos instalados em cada uma das fases de construção, foram sempre mantidos em funcionamento, com excepção das marcas superficiais que necessariamente tiveram de ser destruídas e instaladas de novo em cada fase. Foram instalados sucessivamente novos equipamentos de observação, tais como poços de captação e bombagem (IBR), piezómetros pneumáticos e de tubo aberto e inclinómetros. Serão instalados 2 sismógrafos, um no coroamento e outro na fundação. Na Figura 8 representa-se um dos perfis actuais de observação do Corpo Principal da barragem.

A nível do controlo de segurança ambiental é feita a análise química das águas da albufeira, das infiltrações e dos piezómetros de tubo aberto existentes a jusante da barragem, bem como o bombeamento de retorno para a albufeira das águas captadas nos poços de controlo dos caudais de infiltração e percolação. No Quadro 2 resumem-se as observações, grandezas medidas e periodicidade de medição, a realizar após o final da 4ª fase de construção.

Quadro 2 - Resumo do Plano de Observação da Barragem de Cerro do Lobo

OBSERVAÇÕES / MEDIÇÕES (número de aparelhos)	PERIODICIDADE
Inspecção visual de rotina	Diária
Medição de caudais de percolação (20)	Diária
Medição de piezómetros tubo aberto (27)	Mensal
Medição de piezómetros pneumáticos (31)	Mensal
Medições de piezómetros tubo aberto a jusante da barragem (36)	Mensal
Medição de inclinómetros (4)	Mensal
Medição de deslocamentos superficiais em planimetria e altimetria (41)	Semestral
Medição de Níveis da Albufeira <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase Líquida (2 escalas limnimétricas)</li> <li>• Fase Sólida (levantamento hidrográfico)</li> </ul>	Semanal Anual
Controlo do quimísmo da água da Albufeira : <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• pH, Condutividade, Sulfatos, CQO, Cloretos, Ca, Fe</li> <li>• As, Cu</li> <li>• Nitratos, Hg</li> </ul>	Diária Mensal Trimestral Semestral
Controlo do quimísmo da água das infiltrações : <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• pH, Condutividade, SST, Cloretos, Sulfatos, Ca, As, Cu</li> </ul>	Diária Trimestral
Controlo do quimísmo da água dos piezómetros a jusante da barragem: <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH, Condutividade, Sulfatos, Cloretos, Ca, As, Cu</li> </ul>	Trimestral
Registos de Meteorologia	Diária
Relatório de análise do comportamento e exploração da barragem (interno)	Anual
Inspecção de especialidade e elaboração de relatório de síntese (projectista)	Anual
Inspecção de especialidade e elaboração de relatório de síntese (C. externo)	Anual

## 10. CONCLUSÕES

A construção da barragem do Cerro do Lobo foi desde o início pensada para ser executada em mais de uma fase, estando presentemente concluída a 4ª e última fase de construção, em que foi efectuado o alteamento de 3 m, para a cota 255.

A barragem do Cerro do Lobo tem um regime muito particular de exploração que se caracteriza por deposição subaquática dos rejeitados, reutilização da água sobrenadante para fins industriais e descarga nula para o meio ambiente receptor.

Os trabalhos de alteamento decorreram em regime de permanente exploração da albufeira, o que provocou naturalmente alguns condicionalismos de obra, uma vez que a contínua produção da empresa teve de ser garantida, obrigando por vezes a alterações do planeamento dos trabalhos, de modo a evitar a sua interrupção.

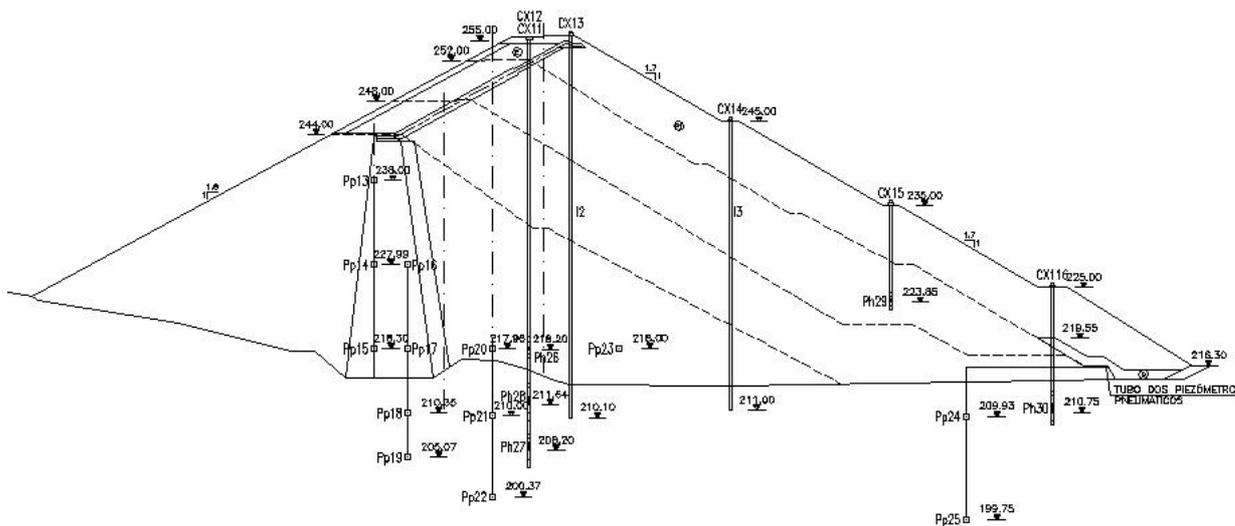


Figura 8: Perfil de observação da barragem

## 11. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Somincor – Sociedade Mineira de Neves Corvo, S.A., a autorização para a publicação da informação aqui apresentada.

## 12. REFERÊNCIAS

- [1] Hidroprojecto (1993). “Barragem de Cerro do Lobo. Plano de Observação”.
- [2] Hidroprojecto (1996 a 2002). “Barragem de Cerro do Lobo. 3ª Fase de Construção. Acompanhamento da Exploração. Notas Técnicas 1 a 17”.
- [3] Hidroprojecto (2003). “Barragem de Cerro do Lobo. Projecto da 4ª Fase de construção. Volumes 1 a 4”.
- [4] Somincor (1998). “Plano de Observação da Barragem de Cerro do Lobo. Adenda”.
- [5] Somincor (2000). “Barragem do Cerro do Lobo. Relatório do triénio 1998-2000”
- [6] Oliveira Toscano, Mafalda & Fonseca Almeida, Lúcia (2004). “Análise dos Resultados da Observação da Barragem do Cerro do Lobo”. IX Congresso Nacional de Geotecnia, Aveiro, Portugal.