

Aterros de Resíduos Mineiros Barragem de Rejeitados do Cerro do Lobo

Relatório Anual de 2008



Barragem do Cerro do Lobo

Relatório Anual 2008

1. INTRODUÇÃO

No presente relatório são apresentados e interpretados os elementos obtidos, durante o ano de 2008, na monitorização e exploração do aterro de resíduos do Cerro do Lobo, também designado por Barragem do Cerro do Lobo, de acordo com o estabelecido no seu Plano de Observação que cumpre integralmente a legislação em vigor.

De forma a facilitar a interpretação do comportamento hidráulico, estrutural e ambiental da Barragem, apresentam-se durante o texto os dados referentes ao período posterior à 4ª fase de construção, incluindo-se, em anexo, tabelas e gráficos com informação anterior.

2. BREVE DESCRIÇÃO DA BARRAGEM

2.1. Introdução

A barragem do Cerro do Lobo, integrada no Complexo Mineiro da Somincor, destina-se ao armazenamento subaquático dos rejeitados resultantes do processo de concentração de minérios de Cobre e Zinco efectuado nas respectivas Lavarias.

Os rejeitados são bombeados das lavarias para a barragem sob a forma de polpa, à qual é adicionada cal para controlo do pH, ficando cobertos com uma lâmina de água.

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.

A albufeira serve ainda de reservatório de água, para ser utilizada, por recirculação, para fins industriais, nomeadamente nas lavarias do Cobre e do Zinco e nas centrais de produção de enchimento da mina.

2.2. Características da Barragem

A Barragem do Cerro do Lobo é uma barragem de aterro, com perfil tipo zonado, constituída por quatro corpos independentes, sendo um corpo principal e três diques secundários ou portelas localizados dois na margem esquerda, designados por ME1 e ME2, e um na margem direita designado por MD.

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.

Na 4ª fase de construção o alteamento do aterro foi feito exclusivamente com grauvaques britados, provenientes de duas pedreiras da região.

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

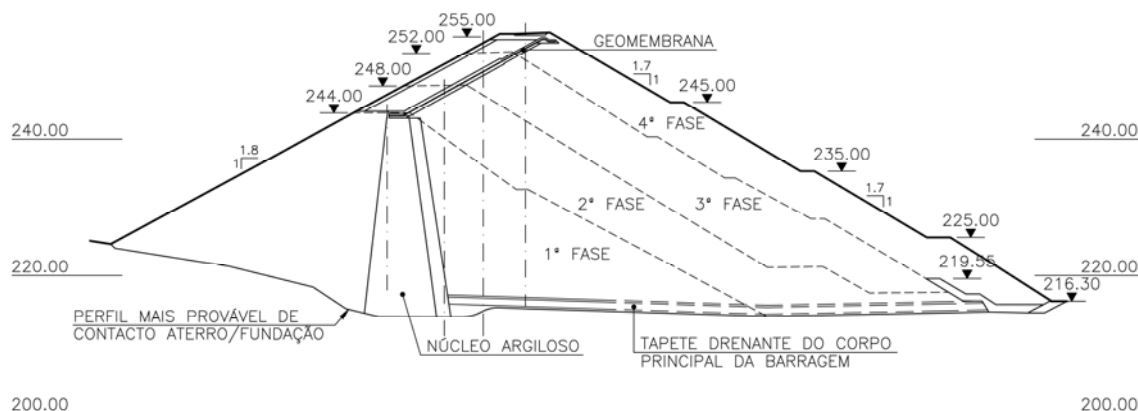
Fase de construção	Cota do coroamento (m)	Ano de conclusão
1ª Fase	244,00	1988
2ª Fase - 1º alteamento	248,00	1990
3ª Fase - 2º alteamento	252,00	1993
4ª Fase - 3º alteamento	255,00	2005

Quadro 1 - Fases de construção da barragem de Cerro do Lobo

Após a 4ª Fase de construção a barragem ficou com um total de 3327 m de desenvolvimento em aterro, sendo constituída por um Corpo Principal, com 42 m de altura máxima e 1227 metros de desenvolvimento, e pelos seguintes diques de portela:

- Portela MD com 13 m de altura;
- Portela ME1 com 18 m de altura;
- Portela ME2 (A, B, e C) com 12 m de altura;
- Barragem de Monte Branco com 8 m de altura.

No esquema 1 apresenta-se o Perfil transversal tipo do Corpo Principal



Esquema 1 - Perfil transversal tipo indicando as sucessivas fases de construção da barragem

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 km² e o volume da albufeira de 20x10⁶ m³.

O volume útil para armazenamento de rejeitados é de 17x10⁶ m³.

2.3. Plano de Observação

A Barragem do Cerro do Lobo pelas suas dimensões - altura máxima sobre a fundação de 42 m e capacidade da albufeira $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ - está sujeita ao disposto no novo Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), Decreto-Lei 344/2007 de 15 de Outubro, que revogou o anterior Decreto-Lei 11/90.

Este regulamento tem por objecto a segurança hidráulica, estrutural e operacional das barragens nas diferentes fases de projecto, construção, primeiro enchimento, exploração e abandono.

Do disposto no RSB resultou a portaria nº 847/93 de 10 de Setembro que determina as Normas de Observação e Inspeção da Barragem (NOIB), em que são definidos os factores de apreciação das condições de risco, as grandezas a observar e as frequências de leitura recomendadas, para as diferentes fases da vida da obra.

No caso particular da barragem do Cerro do Lobo, e dadas as características dos materiais depositados na sua albufeira, é de importância capital a segurança ambiental que está por isso também incluída no plano de observação. No capítulo de segurança ambiental são de realçar os seguintes aspectos principais:

- Efeitos da água da albufeira no equipamento de observação e a preocupação de garantir o bom funcionamento deste.
- Interacção físico-química entre a água da albufeira e o material do aterro e o seu possível efeito no arrastamento de partículas.
- Interacção físico-química entre a água de percolação o aterro e a fundação, e possível efeito no regime de percolação da fundação. Controlo do regime de percolação.
- Mistura das águas de percolação com águas subterrâneas e possível contaminação do aquífero existente, em particular na sua zona superficial.

O plano de Observação da barragem do Cerro do Lobo foi sendo actualizado, com a instalação de novos equipamentos de observação, durante as diferentes fases de construção deste aterro, tendo sido feito, sempre que possível, um aproveitamento dos equipamentos instalados nas fases anteriores.

Na última fase de construção a barragem foi pela primeira vez equipada com inclinómetros e acelerómetros, tendo sido definidos 10 novos perfis de observação, designados de PO1 a PO10, correspondentes aos perfis de localização dos piezómetros e dos poços IBR. Os perfis PO5 e PO6 correspondem aos perfis de maior altura do aterro.

No Anexo 1 apresenta-se uma planta geral da barragem e uma planta com a indicação dos perfis de observação.

O Plano de Observação da BCL cumpre integralmente o disposto na legislação em vigor e está devidamente aprovado pela Autoridade. As grandezas observadas bem como a frequência das suas leituras, são indicadas na Quadro 2.

Observações / Medições	Periodicidade	Responsabilidade Amostragem Análise
Inspecção visual de rotina	Diária Mensal	Operador de Barragem TRE
Medição de Caudais de Percolação	Diária	Operador de Barragem
Medição das Tensões Neutras na Barragem: – Medição de Piezómetros Pneumáticos – Medição de Piezómetros Hidráulicos (Ponteira Tipo LNEC) – Medição de Piezómetros Hidráulicos (Ponteira porosa tipo CASAGRANDE)	Mensal	Operador de Barragem
Medições de Pressões e/ou Níveis de Piezómetros CASAGRANDE a montante e jusante da BCL	Mensal	Operador de Ambiente
Deslocamentos Superficiais (Planimetria e Altimetria)	Semestral	Topografia
Deslocamentos Internos (Inclinómetros)	Semestral	Operador da Barragem TRE
Acelerações Sísmicas (Acelerógrafos)	Registo em contínuo	TRE
Medição de Níveis da Albufeira: – Fase Líquida (escalas limnimétricas) – Fase Líquida – Fase Sólida	Diária Semanal Anual	Operador da Barragem Topografia Empresa de Serviços
Análise química da água da Albufeira: – Medição do pH – Medição de Condutividade, Metais, Sulfatos, Cálcio e CQO	Diária Mensal	Operador de Barragens Barragens / Laboratório
Análise química da água das infiltrações: – pH – pH, Condutividade, Ca, Cloretos, sulfatos, As, Cu	Diária Trimestral	Barragens / Ambiente / Laboratório
Análise química da água dos piezómetros CASAGRANDE: – pH, Condutividade, Ca, Sulfatos, Cloretos, As, Cu	Trimestral	Ambiente/Laboratório
Registos de Meteorologia	Diária	Operador de Ambiente

Quadro 2 - Quadro resumo do Plano de Observação da BCL.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DE OBSERVAÇÃO

3.1. Inspeção visual

A inspeção visual de rotina à barragem do Cerro do Lobo é feita diariamente, pelo operador de serviço e mensalmente pelo técnico Superior do Departamento de Barragens da Somincor e pelo Técnico Responsável pela Exploração (TRE) da barragem, permitindo uma intervenção atempada em qualquer anomalia que seja detectada quer na barragem propriamente dita quer nas condutas de águas e rejeitados que sobre ela se encontram.

A barragem apresenta, no geral, um bom estado de conservação e manutenção, sem ocorrência de assentamentos ou deformações significativas do coroamento, bom estado dos paramentos de jusante e montante, sem sinais de oxidação, excepto na portela MD, e sem a ocorrência, a larga escala, de zonas húmidas a jusante como era vulgar antes do último alteamento.



Fotografia 1 - Aspecto geral do paramento de jusante do corpo principal



Fotografia 2 - Aspecto geral do paramento de jusante da portela ME1



Fotografia 3 - Zona de oxidação do pé de talude de jusante da portela MD

Muitos dos problemas relacionados com um deficiente funcionamento do sistema drenante da barragem foram resolvidos na 4ª fase de construção deste aterro. No entanto devido a um aumento da carga hidráulica registou-se, durante 2008, o aparecimento de zonas húmidas mais afastadas da barragem, localizadas em terrenos vizinhos, bem como nas imediações do IBR 16, 27 e 15.



Fotografia 4 - Zona húmida a jusante do IBR 15

Verifica-se também um desgaste da camada de revestimento superficial do coroamento, associada à circulação de veículos.



Fotografia 5 - Aspecto geral do desgaste do revestimento superficial do coroamento

Todos estes aspectos motivaram uma visita da empresa de fiscalização dos trabalhos de alteamento que elaborou uma nota técnica, apresentada no Anexo 2, com medidas correctivas das anomalias identificadas. Estas medidas deverão ser aplicadas em 2009.

3.2. Meteorologia

Os valores de precipitação e evaporação considerados nesta análise são os registados na Estação Meteorológica do Monte Branco, localizada nas proximidades da Barragem do Cerro do Lobo e são apresentados nas figuras 1 e 2 do Anexo 3.

Os valores totais da precipitação e evaporação registados, nesta estação, no período 2005-2008, estão indicados no Quadro 3.

Ano	Precipitação (mm)	Evaporação Corrigida (mm)
2005	318,0	1480,3
2006	607,1	954,8
2007	382,8	1293,0
2008	449,9	1271,1

Quadro 3 - Valores Totais de Precipitação e Evaporação no período 2005 – 2008.

Os valores mensais de Evaporação e Precipitação registados neste mesmo período estão representados nos **Gráficos 1 e 2** seguintes:

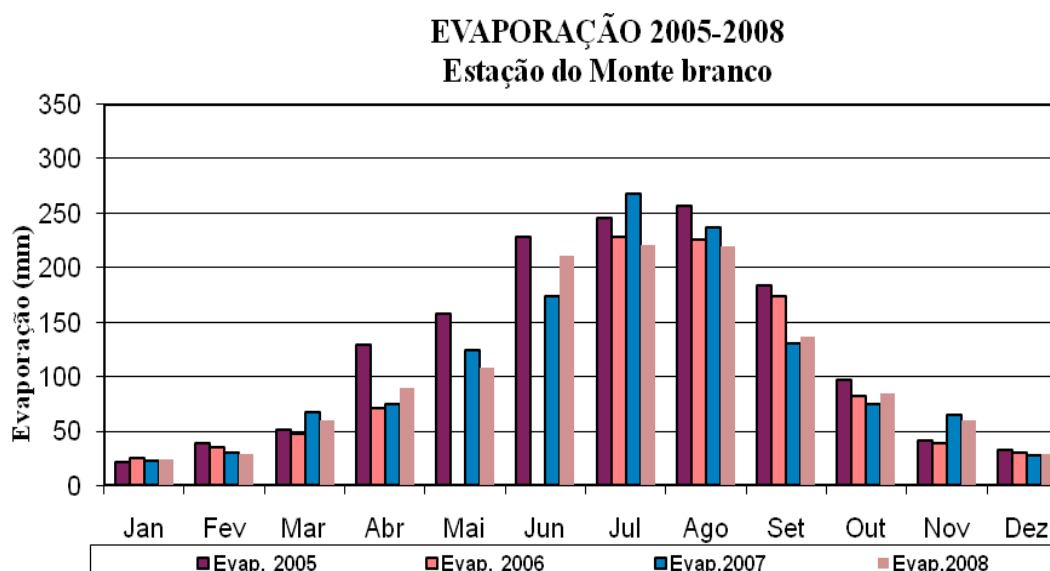


Gráfico 1 - Valores mensais de Evaporação no período 2005 – 2008

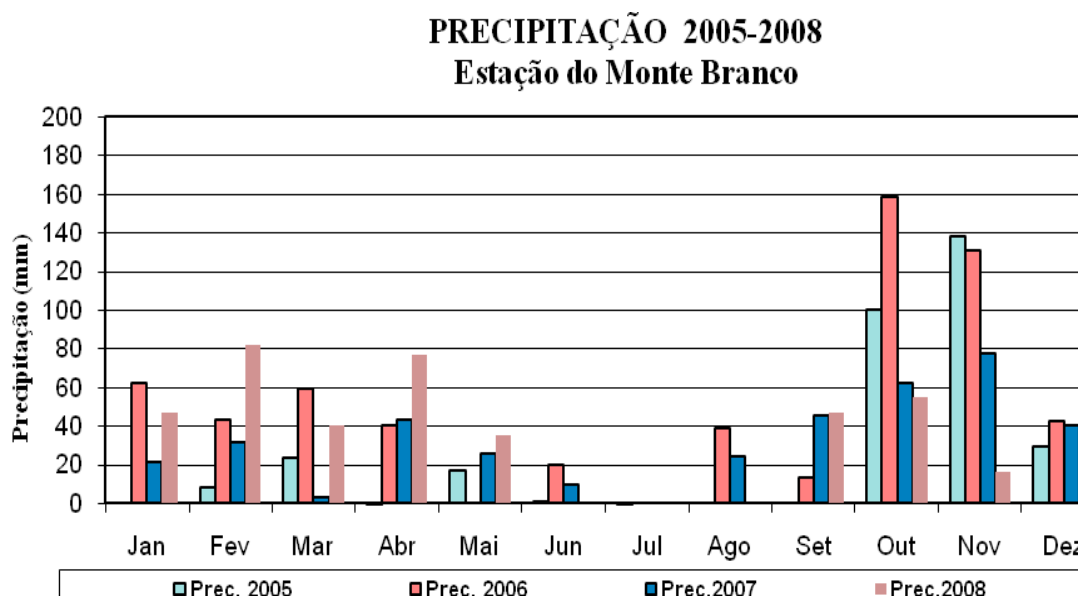


Gráfico 2 - Valores mensais de Precipitação no período 2005-2008

Na fig. 1 do Anexo 3 apresentam-se os valores de evaporação e precipitação para o período de 2001-2008 bem como a relação entre a variação da cota da albufeira e a precipitação ocorrida.

O mês de maior precipitação em 2008 foi o mês de Fevereiro (82,0mm), seguido de Abril (76,7mm) e Outubro (54,6mm).

Os meses de Junho, Julho, Agosto e ainda Setembro foram naturalmente os meses de maior evaporação.

Em relação ao período 1961-2008 o ano de 2008 foi relativamente ao total de precipitação, o 32º ano mais chuvoso, tendo ficado abaixo da média, para este período, que é de 483,9 mm (Anexo 3, fig. 2).

A evaporação corrigida total também foi, em 2008, inferior à evaporação média do período 1961-2008, que é de 1312,7 mm (Anexo 3, fig. 2).

Na fig. 2 do Anexo 3 apresentam-se também os valores máximos, médios e mínimos mensais de precipitação e evaporação para o período 1961-2008.

3.3. Evolução da Cota da Albufeira

A cota de água na Barragem do Cerro do Lobo depende de 2 factores essenciais:

- Condições Meteorológicas: Ciclos de evaporação / precipitação
- Condições de Exploração: Gestão da água - balanço de polpa bombeada para a albufeira e água bombeada de retorno para o Couto Mineiro.

A variação anual da cota de água da Albufeira da Barragem do Cerro do Lobo é apresentada no Quadro 4 e figura 3 do Anexo 4.

Ano	Cota no final do ano (m)	Variação anual (m)
2005	250,54	0,58
2006	251,36	0,82
2007	251,78	0,42
2008	252,64	0,86

Quadro 4 - Variação anual da cota de água da Barragem

Durante o ano de 2008 a cota da albufeira baixou no período de Junho a Setembro 0,20 m, por efeito da evaporação.

Desde a conclusão do 4º alteamento do aterro, a cota da albufeira subiu 2,10 metros.

Como foi inicialmente referido o balanço entre o caudal que é bombeado para a albufeira e o caudal que é bombeado de retorno para o Couto Mineiro tem também influência na cota de água agravando ou reduzindo a influência dos ciclos meteorológicos.

Como adiante se verá e por razões de natureza ambiental os caudais da água da mina tratada na ETAM, são descarregados na Ribeira de Oeiras, ribeira de regime torrencial, quando esta tem caudal, e são bombeados directamente para a BCL no período de ausência de caudal, o que ocorre normalmente no Verão. A bombagem deste efluente para a albufeira da BCL permite contrariar um pouco o efeito da evaporação e ajuda a evitar que os rejeitados fiquem expostos ao ar. Durante 2008 a bombagem do efluente da ETAM para a BCL ocorreu no período de 1 de Julho a 31 de Dezembro.

3.4. Caudais Bombeados de e para a albufeira do Cerro do Lobo

Os caudais de polpa bombeada para a albufeira do Cerro do Lobo e de água recirculada bombeada para o TAI foram, no período 2005-2008, os seguintes:

Ano	POLPA – BCL		Água recirculada - TAI	
	m ³	m ³ /h	m ³	m ³ /h
2005	5.958.802	680	3.245.520	370
2006	6.582.751	752	3.365.470	383
2007	7.093.959	810	4.773.509	544
2008	7.365.018	839	5.882.880	669

Quadro 5 - Caudais bombeados de/e para o Cerro do Lobo.

O ano de 2008 representa o máximo de caudal de polpa de rejeitados, bombeado para a BCL e de água recirculada para o TAI para reutilização no processo industrial, desde o início da operação.

Relativamente a 2007 registou-se em 2008 um aumento de 4% do volume de polpa bombeada para a BCL e um aumento de 23% do volume de água bombeada para o TAI. A água recirculada correspondeu, em 2008, a 68% do total de água consumido em Neves Corvo.

As toneladas de rejeitados, depositadas na barragem, durante este período foram as indicadas no Quadro 6:

ANO	Rejeitados Produzidos (toneladas)	Rejeitados para Enchimento (toneladas)	Rejeitados para Cerro do Lobo (toneladas)
2005	1.689.761	389.696	1.300.065
2006	1.760.528	379.659	1.380.869
2007	2.178.927	548.860	1.630.067
2008	2.449.125	511.362	1.937.763

Quadro 6 - Toneladas de rejeitados produzidos e depositadas no Cerro do Lobo.

Em 2008 os rejeitados produzidos tiveram um aumento de 12% relativamente a 2007. Já os rejeitados depositados na albufeira da BCL sofreram um acréscimo de 19% devido à sua menor reutilização no enchimento dos desmontes da mina.

A quantidade total de rejeitados na albufeira da BCL, depositada desde o início da operação é de 25.299.580 toneladas.

Para o controlo do pH da água da albufeira foram bombeadas, conjuntamente com a polpa de rejeitados, as quantidades de cal registadas no Quadro 7:

ANO	Cal para Barragem (Kg)
2005	5.319.115
2006	7.022.000
2007	7.420.500
2008	8.280.440
Total	28.055.042

Quadro 7 - Cal para correcção do pH da água do Cerro do Lobo.

O aumento do consumo de cal está relacionado não só com o aumento da bombagem de rejeitados para a BCL mas também com uma menor qualidade da água sobrenadante da albufeira, devido à cada vez menor proporção entre volume de água e volume de rejeitados.

3.5. Levantamento Hidrográfico

O levantamento hidrográfico da barragem do Cerro do Lobo é feito desde 1995, anualmente no mês de Maio, pela empresa LHT - Levantamentos Hidrográficos e Topográficos.

O levantamento topográfico do fundo da albufeira foi fornecido pelo Serviço de Topografia do Departamento de Planeamento e Estudos da Somincor.

O levantamento hidrográfico permite identificar:

- As áreas da albufeira que estão cheias e aquelas que ainda o não estão e onde é possível fazer a deposição de rejeitados, permitindo o planeamento do posicionamento das descargas para o ano seguinte;
- Os volumes, anual e total, de sólidos depositados na albufeira, determinados pela diferença de dois levantamentos consecutivos e entre o último levantamento e o levantamento do fundo da albufeira respectivamente. É assim possível determinar a densidade dos sólidos depositados na albufeira anualmente e desde o início da operação da Somincor.

Em 2008 o levantamento hidrográfico foi efectuado no período de 26 a 28 de Maio.

De acordo com o relatório do Levantamento Hidrográfico, os volumes, anual e total, de rejeitados depositados na albufeira não puderam ser calculados com o máximo de rigor, devido à existência áreas inacessíveis à navegação, correspondentes a alturas de água inferiores a 0,5 m.

Por esta razão foram atribuídas cotas aos rejeitados nessas zonas, de modo a possibilitar o cálculo do volume, o mais próximo possível da realidade, dos rejeitados depositados na albufeira. Tal procedimento leva contudo a imprecisões no cálculo dos volumes depositados anualmente, que se vão agravando com o progressivo enchimento da albufeira.

Os volumes anuais e totais dos rejeitados depositados na albufeira, no período 2005-2008, e determinados nestes levantamentos são os indicados no Quadro 8:

Mês/ano	Volume Anual (m³)	Volume Total (m³)
5/2005	552.103	11.966.049
5/2006	678.906	12.643.948
5/2007	881.391	13.525.342
5/2008	906.253	14.390.370

Quadro 8 - Volumes, anual e total, de rejeitados depositados na albufeira.

Relativamente ao levantamento de 2008 as densidades dos materiais depositados anualmente e desde o início da operação da Somincor são as seguintes:

- Rejeitados depositados entre 17/05/07 e 28/05/08: $D = 2,07 \text{ Ton/m}^3$
- Total dos rejeitados: $D = 1,68 \text{ Ton/m}^3$

A densidade anual é a mais elevada desde o início da operação facto que está certamente relacionado com o menor grau de precisão da determinação do volume de rejeitados depositados entre Maio de 2007 e Maio de 2008, tal como foi acima referido.

O valor médio da densidade do total de rejeitados depositados, na barragem do Cerro do Lobo, é $1,68 \text{ Ton/m}^3$, valor que é usado para o cálculo do volume dos rejeitados entretanto depositados na albufeira da barragem do Cerro do Lobo.

A topografia actual da camada de rejeitados na albufeira da BCL é bastante mais uniforme do que era inicialmente, tendo-se atenuado as diferenças de cota existentes ao longo da sua superfície, que permitiam a existência de zonas bastante profundas, onde as descargas de rejeitados podiam ser colocadas por um período considerável. Isto levou a que durante 2008 a movimentação das descargas de rejeitados tivesse que ser efectuada com uma periodicidade muito grande causando dificuldades de operação à equipa de manutenção de superfície.

A cota máxima de deposição de rejeitados na albufeira obtém-se reduzindo ao NPA (Nível de Pleno Armazenamento) 1 metro para cobertura de água livre e 0,85 metro para gestão da água relativamente ao ciclo precipitação/evaporação.

Para a cota actual do coroamento da barragem – 255 m - e para o respectivo NPA – 253.50 m -, a cota máxima que os rejeitados poderão atingir é 251.65 m, à qual corresponde um volume aproximado de $16.761.883 \text{ m}^3$.

O volume total dos rejeitados, depositados na albufeira da barragem do Cerro do Lobo, no final de 2008 era $15.059.274 \text{ m}^3$, correspondente assim a uma taxa de ocupação de 89,8% da capacidade útil da albufeira para armazenamento de rejeitados.

3.6. Segurança Estrutural da Barragem do Cerro do Lobo.

A avaliação do comportamento estrutural dos 4 corpos constituintes da barragem do Cerro do Lobo é feita a partir da análise dos resultados da medição dos deslocamentos superficiais, em planimetria e altimetria, das 41 marcas superficiais existentes e dos deslocamentos internos obtidos na leitura dos 4 inclinómetros instalados no corpo principal.

3.6.1. Deslocamentos Superficiais: Planimetria e Altimetria

Para medição dos deslocamentos superficiais estão instaladas, na barragem do Cerro do Lobo, 41 marcas superficiais, distribuídas do seguinte modo:

- 3 Marcas na Portela MD
- 30 Marcas no Corpo Principal e banquetas
- 3 Marcas na Portela ME1
- 5 Marcas na Portela ME2A



Fotografia 6 - Marcas superficiais da barragem do Cerro do Lobo

Os métodos usados para a medição dos deslocamentos superficiais são o Nivelamento Geométrico de Precisão para a altimetria e a Intersecção por Duas Distâncias para a planimetria, sendo a periodicidade das medições semestral. Em 2008, por dificuldades de agendamento de trabalho com a equipa da Topografia só foi efectuada uma campanha de observação.

Devido aos trabalhos da 4ª fase de construção da BCL as anteriores marcas superficiais foram retiradas, tendo sido instaladas novas marcas no final do alteamento do aterro. A leitura de zeragem ou inicial destas marcas é a de Novembro de 2005. Desde a leitura inicial até ao final de 2008 foram efectuadas 6 campanhas de observação.

Na fig. 4 do Anexo 5 apresenta-se uma planta com a localização das marcas superficiais, e nas fig. 5 a 9, do mesmo anexo, os deslocamentos horizontais e verticais, registados desde a campanha inicial.

3.6.1.1. Planimetria

No que respeita aos deslocamentos em planimetria, (fig. 5 e 6), foi efectuada uma ampliação de 1000X aos deslocamentos obtidos, para se poderem mostrar os movimentos ou tendências de movimentos.

Os movimentos do Corpo Principal da BCL, respectivas banquetas e das Portelas são pouco significativos, mostrando a ampliação usada um ligeiro movimento para jusante, considerado normal. Excepção feita à marca MS13, localizada no coroamento, no perfil de maior altura, que em duas campanhas seguidas, Dezembro 2007 e Junho de 2008 mostra movimento mais acentuado, de 12 mm, para montante. Esta situação será analisada na próxima campanha de medição.

Os deslocamentos máximos medidos, em 2008, nas banquetas e Portelas foram 8 mm e 11 mm respectivamente.

3.6.1.2. Altimetria

Os resultados de altimetria são apresentados nas fig. 7 a 9 do Anexo 5.

Verificou-se, em 2008, um assentamento generalizado do coroamento do Corpo Principal inferior a 5 mm, com excepção das marcas localizadas nos perfis de maior altura, nomeadamente a MS13 com assentamento de 35mm, e MS7, MS10, MS16 e MS19 com assentamentos de cerca de 15mm. O maior assentamento medido corresponde a um assentamento de 1% relativamente ao último alteamento efectuado, valor considerado perfeitamente normal em barragens de aterro. As banquetas também mostram esta mesma tendência de assentamentos, com deslocamentos verticais acumulados máximos de 7 mm na 2ª banqueta e 12 mm na 3ª banqueta. Nas portelas os deslocamentos verticais máximos acumulados são inferiores a 6 mm.

As campanhas efectuadas desde o último alteamento são ainda em número reduzido não permitindo ainda tecer grandes considerações sobre os reais movimentos ou tendências de movimentos dos aterros. Os deslocamentos medidos até à data, tanto em altimetria como em planimetria, são considerados pouco significativos e normais, indiciando um comportamento mecânico adequado dos diferentes aterros. Estão no entanto assinalados e sob observação os movimentos de maior deslocamento, tanto em altimetria como em planimetria, que serão analisados nas próximas campanhas.

3.6.2. Deslocamentos internos: Inclínómetros

Para medição dos deslocamentos horizontais no interior do aterro do corpo principal da barragem do Cerro do Lobo existem 4 inclínómetros verticais, instalados nos perfis PO4, PO5 e PO6, estando 3 no coroamento e 1 na banqueta superior.



Fotografia 7 - Inclinómetro I2 do coroamento do corpo principal

No Anexo 6 são apresentados os gráficos dos deslocamentos acumulados, deslocamentos incrementais, vista em planta e deslocamentos ao longo do tempo, registados nos inclinómetros.

Os deslocamentos são pouco significativos. A única excepção diz respeito ao inclinómetro I3, instalado na banquetta do perfil PO5, em que entre os 21 e os 23 metros de profundidade se regista uma deformação de 6 mm, possivelmente relacionada com um pequeno deslocamento da junta, da calha inclinométrica, que será necessário investigar em leituras futuras.

3.7. Segurança Hidráulica da Barragem do Cerro do Lobo

A avaliação do comportamento hidráulico da barragem do Cerro do Lobo é feita pela análise dos caudais de percolação, medidos nos diferentes poços (IBR), localizados no pé de talude de jusante da BCL e ligados ao seu sistema drenante, e pela medição das pressões intersticiais, nos aterros e fundação da barragem, através dos piezómetros pneumáticos (Pp), hidráulicos (Ph) tipo LNEC (6mm de diâmetro) e Tubo Aberto (19mm de diâmetro) e ainda dos piezómetros hidráulicos (PCL) tipo CASAGRANDE (110mm de diâmetro), localizados a montante e jusante da barragem e que também servem para avaliação do desempenho ambiental por permitirem a colheita de amostras de água para monitorização.

A avaliação do comportamento ambiental assenta na interpretação dos resultados da análise química da água da albufeira, dos IBR e dos piezómetros hidráulicos PCL.

3.7.1. Caudais de Percolação

Parte dos caudais percolados através dos corpos da barragem e fundação é captada pelo sistema drenante da barragem e conduzida para poços de infiltração ou tubos drenantes, designados por IBR, localizados no pé de talude de jusante da barragem, na zona mais baixa dos vales e ligados ao sistema drenante interno da barragem, representados na planta do Anexo 1.



Fotografia 8 - IBR 18 a jusante do corpo principal

Na barragem do Cerro do Lobo estão instalados 19 IBR distribuídos do seguinte modo:

- 1 IBR a jusante da Portela MD;
- 10 IBR a jusante do Corpo Principal;
- 1 IBR a jusante da Portela ME1;
- 7 IBR a jusante na Portela ME2.

Toda a água recolhida nos poços IBR é bombeada de novo para a albufeira, sendo o caudal bombeado registado diariamente.

As águas pluviais estão desviadas dos poços IBR através de caleiras instaladas no pé de talude de jusante dos diferentes aterros.

A análise dos caudais bombeados e das características químicas das águas revela-se de uma importância fundamental para a avaliação do comportamento hidráulico e ambiental da barragem, bem como permite tirar informações sobre o estado dos órgãos de estanqueidade da barragem.

No Quadro 9 está indicado, para o período 2005-2008, o caudal médio total das infiltrações medido nos poços IBR e a contribuição parcial de cada um dos corpos da barragem para esse mesmo caudal.

ANO	Total BCL (m³/h)	Corpo Principal (m³/h)	MD (m³/h)	ME1 (m³/h)	ME2 (m³/h)
2005	29,4	18,8	1,3	2,3	6,9
2006	29,1	20,5	0,7	2,2	5,8
2007	33,0	23,1	0,6	2,6	6,7
2008	36,8	25,2	0,6	3,1	7,9

Quadro 9 - Caudais médios anuais das infiltrações da BCL e de cada corpo da barragem.

No Quadro 10 é feita a comparação entre os caudais de percolação medidos em 2008 e estimados no modelo da barragem, em condições de comportamento normal, sem roturas de geomembrana.

Corpo da BCL	Caudais Médios Bombeados em 2008 (m ³ /h)	Caudais Estimados no Projecto (m ³ /h)
Total	36,8	100,9
MD	0,6	9,0
Corpo Principal	25,2 (9,2 do IBR5 5,7 do IBR16 5,5 do IBR18)	58,0 (36,4 do IBR5 13,3 do IBR16 6,1 do IBR18)
ME1	3,1	9,4
ME2	7,9 (6,9 do IBR15)	24,5 (9,4 do IBR15)

Quadro 10 - Comparação entre os caudais medidos em 2008 e os caudais estimados no modelo da barragem.

Verifica-se que o caudal médio total bombeado, apesar de aumentar no período 2005-2008, corresponde a 36,5% do caudal total estimado no projecto, sendo por isso muito reduzido. A análise de cada uma das infiltrações evidencia o mesmo tipo de comportamento excepto para os IBR 15 e IBR18, em que os caudais bombeados correspondem respectivamente a 74% e 90% dos caudais estimados no projecto.

No gráfico 3 é apresentada a relação entre o caudal médio anual total das infiltrações medido nos poços IBR e a cota da albufeira no final de cada ano, representando-se nos gráficos 4 e 5 esta mesma relação para os poços IBR principais de cada um dos corpos da barragem do Cerro do Lobo.

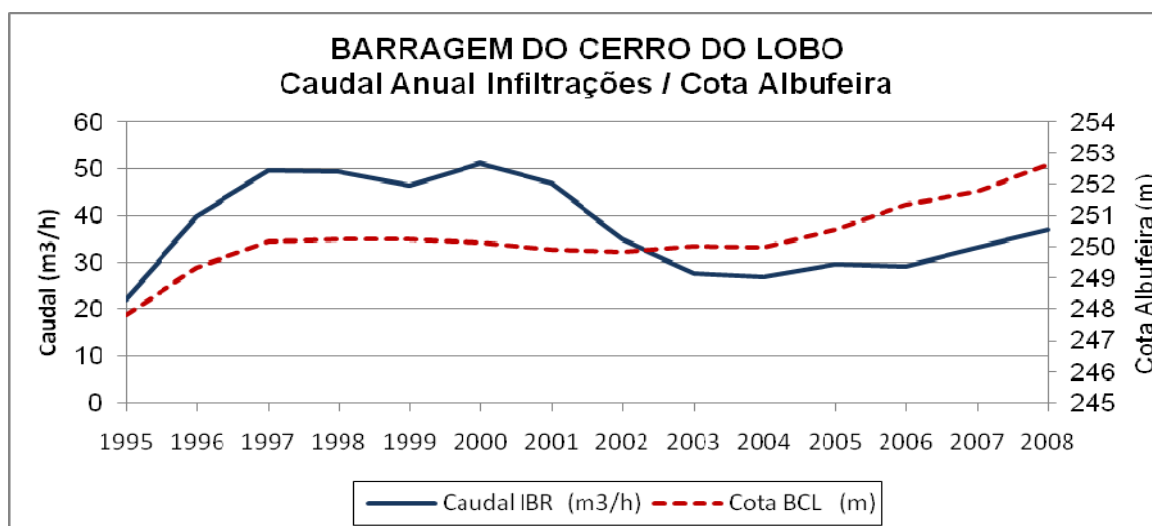


Gráfico 3 - Caudal médio anual dos IBR da BCL / Cota da albufeira.

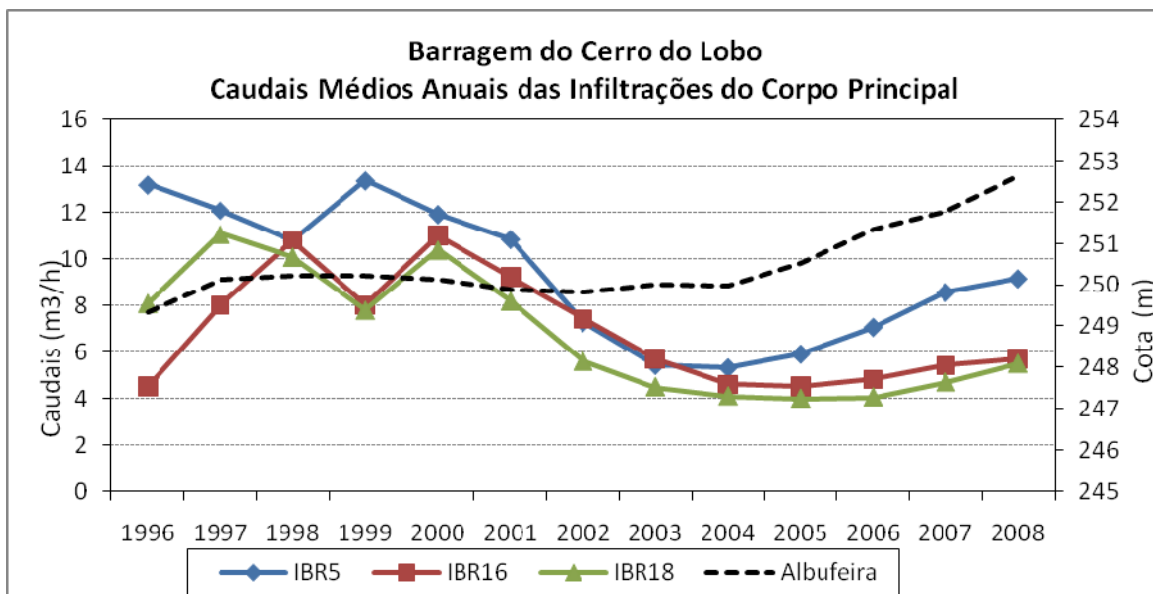


Gráfico 4 - Caudal médio anual dos IBR do Corpo Principal / Cota da albufeira.

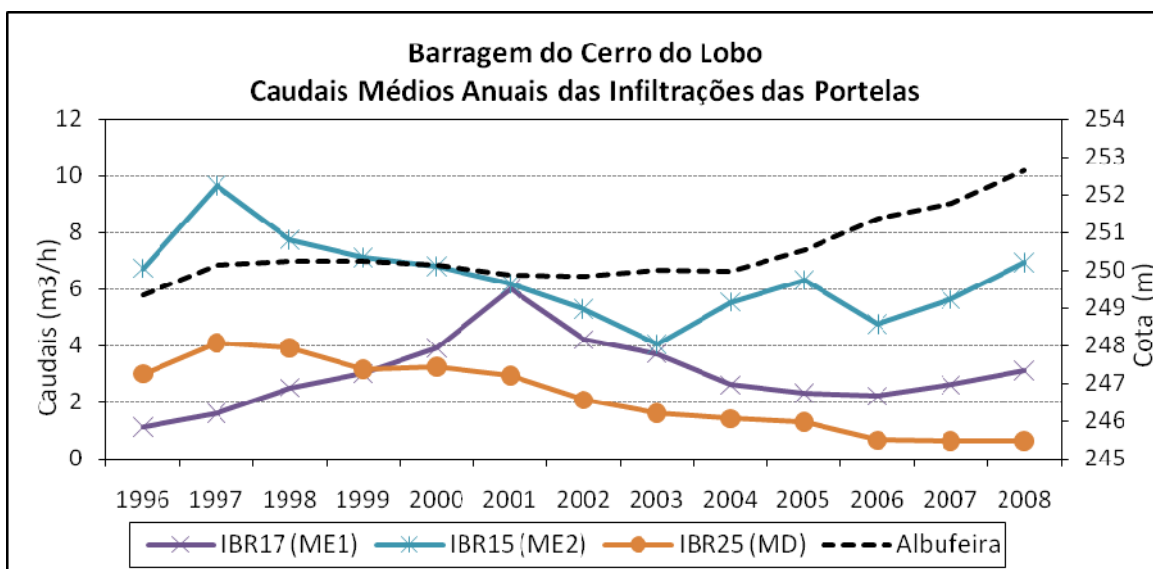


Gráfico 5 - Caudal médio anual dos IBR das Portelas / Cota da albufeira.

No anexo 7, nas fig. 10 a 14, apresentam-se os gráficos das variações dos caudais médios mensais do cada poço IBR, do caudal mensal total medido nos IBR de cada corpo da barragem e do caudal mensal total das infiltrações da BCL

A análise dos valores dos caudais medidos nos IBRs permite-nos tecer as seguintes considerações:

- A maior contribuição para as infiltrações medidas na BCL vem do corpo principal da barragem onde a carga hidráulica é maior, sendo em 2008 o caudal medido no corpo principal 68,5% do caudal total das infiltrações da BCL;
- Desde a conclusão do último alteamento da BCL que se regista um aumento do caudal total das infiltrações da barragem, relacionado com a subida do nível de água da albufeira e consequente aumento da carga hidráulica, tal com seria de esperar;
- Este comportamento, que era o verificado nos primeiros anos de funcionamento da barragem, tendo-se registado em 2000 um caudal total de 51 m³/h, valor máximo até à data.,

inverteu-se no período de 2001 a 2004, ano em que se registou um caudal total de 27 m³/h, correspondente a uma redução do caudal das infiltrações de 47%. Esta redução do caudal das infiltrações apesar do continuado aumento da cota da albufeira da BCL pode ser explicada pela muito baixa permeabilidade dos rejeitados armazenados na albufeira;

- A partir de 2005 o comportamento volta a ser o esperado, apesar da contínua deposição de rejeitados na albufeira, o que pode ser explicado pelo mais acentuado aumento anual da cota da albufeira verificado desde então, representado no gráfico 3;
- De um modo geral há uma dependência entre os caudais médios mensais medidos nos IBRs e a cota da albufeira, reflectindo-se nos caudais medidos as variações sazonais da albufeira;
- Esta dependência é particularmente importante nos IBR com maior caudal e localizados nas partes mais baixas dos vales principais ocupados pelo aterro, que são nomeadamente os IBR 5, 16, 18 do Corpo Principal, o IBR 17 da portela ME1 e o IBR 15 da portela ME2;
- O IBR 25, a jusante da portela MD é o único IBR, do grupo acima referido, que apresenta um comportamento distinto dos anteriores, uma vez que, apesar de reflectir as variações sazonais da albufeira, apresenta uma diminuição progressiva de caudal, que no período 2005-2008 corresponde a uma redução de 54%;

Este facto, considerado anormal, pode indiciar que a percolação neste aterro se está a processar a níveis inferiores à cota de base do IBR 25, i.e, que há caudais de percolação que não estão a ser captados por este poço;

- O IBR 20 correspondente a um furo de obra do início da construção da barragem mantém um caudal constante e completamente independente do caudal da albufeira e da precipitação;
- Os IBR 19, 26 e 27, que vêm das fases anteriores de construção da BCL mantêm um caudal muito reduzido;
- Os IBR instalados na última fase de construção da BCL, nomeadamente os IBR 5A, 5B, 27A, 29, 30, 31 e 32, apresentam caudais de infiltração muito reduzidos, embora variando ao longo do ano, que ainda dificilmente se podem relacionar com variações de cota da albufeira. Os caudais medidos nos IBR 5A, 5B e 27A, por estes estarem mais afastados do pé de talude da BCL, são muito dependentes da precipitação ocorrida.

3.7.2. Níveis Piezométricos nos Aterros e Fundação da BCL

A medição dos níveis piezométricos nos aterros e fundação da barragem é feita através da rede de piezómetros pneumáticos e hidráulicos instalada no corpo e fundação da barragem e no maciço de jusante.

3.7.2.1. Piezómetros Pneumáticos e Hidráulicos da BCL

Os piezómetros pneumáticos instalados na Barragem do Cerro do Lobo são de marca Soil Instruments.

Estes piezómetros foram instalados nas três primeiras fases de construção da BCL, no núcleo de argila, no aterro de jusante, na fundação do corpo principal e nas fundações das diferentes portelas.

Os piezómetros hidráulicos são Tipo LNEC e Tubo Aberto, tendo os Tipo LNEC sido instalados em 2001, entre a 3ª e 4ª fases de construção e os de Tubo Aberto sido instalados na 4ª fase de construção.



Fotografia 9 - Terminais de leitura dos piezómetros pneumáticos do corpo principal



Fotografia 10 - Terminais de leitura dos piezómetros pneumáticos da portela do corpo principal



Fotografia 11 - Piezómetros hidráulicos tipo LNEC



Fotografia 12 - Piezómetro hidráulico tubo aberto

A análise dos níveis piezométricos é efectuada para cada perfil de observação, sendo apresentados no Anexo 8 os perfis de observação, com os respectivos piezómetros, e as linhas de saturação obtidas, e no Anexo 9 os gráficos das variações dos níveis piezométricos em cada piezómetro.

a) Perfil de Observação PO1 – Portela MD

Este perfil está instrumentado com um piezómetro hidráulico Tipo LNEC (Ph1) e dois piezómetros pneumáticos (Pp2 e Pp3), instalados na fundação em três furos distintos localizando-se o Ph1 a montante dos outros dois, representados no perfil PO1 do Anexo 8. Na fig. 15 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

Verifica-se em Dezembro de 2004 um aumento dos níveis piezométricos medidos nos 3 piezómetros, altura a partir da qual o Ph1 regista um nível constante e os Pp2 e Pp3 uma tendência de subida. Esta subida verifica-se quando a albufeira atinge a cota 250 m.

Em 2008 os níveis piezométricos no Ph1, Pp2 e PP3 são 243 m, 240 m e 238 m respectivamente, reflectindo uma posição do nível freático inferior à cota do contacto aterro/fundação. O gradiente hidráulico ou perda de carga unitária ao longo da fundação, entre o Ph1 e o Pp3, é cerca de 0,29. Em Dezembro de 2008 as pressões apresentadas variaram entre 70 kPa no Ph1 e 10 kPa no Pp2.

De notar que é neste perfil que está localizado o IBR 25, que tem mostrado uma diminuição do caudal bombeado ao longo do tempo.

O comportamento apresentado pelos piezómetros mostra que há uma relação entre os níveis piezométricos e a cota da albufeira que também deveria ser reflectida pelo IBR, o que vem apoiar a tese da percolação, neste aterro, se efectuar a cotas inferiores à cota do IBR.

b) Perfil de Observação PO2 – Corpo Principal

Este perfil está instrumentado com dois piezómetros pneumáticos (Pp4 e Pp5), instalados na fundação a jusante do aterro, em dois furos distintos e representados no perfil PO2 do Anexo 8. Na fig. 16 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

Os piezómetros deste perfil foram instalados na 3ª fase de construção da barragem, numa altura em que não havia ligação entre o Corpo Principal e a portela MD. Após a 4ª fase de construção e devido ao alteamento de 3 metros da cota do coroamento, foi efectuada a ligação do Corpo Principal à portela MD.

Desde Janeiro de 1994, data da instalação destes piezómetros, até Março de 2006 a pressão medida nestes piezómetros foi nula. A partir desta data, em que a albufeira atingiu a cota 250,8, passaram a ser registadas pressões, embora com um comportamento bastante irregular devido às variações registadas, aparentemente pouco normais, mas iguais nos dois piezómetros.

Durante todo o ano de 2008 as pressões medidas foram constantes, da ordem dos 10 kPa, e com níveis piezométricos bastante inferiores à cota do contacto aterro/fundação.

c) Perfil de Observação PO3 – Corpo Principal

Este perfil está instrumentado com 3 piezómetros hidráulicos instalados, durante a 4ª fase de construção da BCL, no aterro (Ph6) e fundação (Ph7), a partir do coroamento, e na fundação (Ph8) a partir da 2ª banquetta da BCL, representados no perfil PO3 do Anexo 8. Na fig. 17 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

O piezómetro localizado no aterro apresenta unicamente vestígios de água.

Os piezómetros Ph7 e Ph8 apresentam pressões de 45kPa e 20kPa respectivamente, com níveis piezométricos sempre inferiores ao nível do contacto aterro/fundação. A perda de carga unitária entre estes dois piezómetros da fundação é de 0,07.

d) Perfil de Observação PO4 – Corpo Principal

Este perfil está instrumentado com 4 piezómetros hidráulicos, instalados na 4ª fase de construção da BCL, a partir do coroamento, no aterro (Ph9) e fundação (Ph10), a partir da 2ª banquetta no aterro (Ph11) e a partir da 1ª banquetta na fundação (Ph12), sob o dreno, representados no perfil PO4 do Anexo 8. Na fig. 18 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

Os piezómetros do aterro não registam níveis piezométricos, indicando bom funcionamento do sistema drenante e do sistema de impermeabilização do aterro.

Os piezómetros instalados na fundação apresentam níveis constantes desde a sua instalação, não havendo perda de carga entre eles. Os níveis piezométricos indicam que sob o aterro o nível freático está abaixo do contacto aterro/fundação, mas que sob a banquetta o nível freático está no topo do dreno construído na 4ª fase. A pressão medida no piezómetro Ph12 localizado a jusante, é cerca de 60 kPa, sendo superior à pressão registada no piezómetro Ph10, localizado mais a montante, onde a pressão é de 35 kPa. Tal facto, pouco normal, deverá merecer atenção especial na visita de especialidade, a realizar em 2009, e na comparação com os valores esperados no modelo da barragem.

e) Perfil de Observação PO5 – Corpo Principal

A localização de toda a instrumentação existente neste perfil, está representada no perfil PO5 do Anexo 8. Na fig. 19 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

Neste perfil o piezómetro Pp13 está fora de serviço.

Os níveis piezométricos dos piezómetros instalados no núcleo de argila acompanham, de forma razoável, os níveis de água na albufeira. Os níveis medido pelos mais a montante são muito semelhantes o que significa que não há percolações na direcção vertical. O mesmo se passa com os localizados mais a jusante.

O Pp17 – base do núcleo do lado de jusante - apresenta sistematicamente uma carga piezométrica inferior ao piezómetro Pp15 – base do núcleo do lado de montante - em cerca de 13 m, o que indica que a percolação se processa na base do núcleo com um gradiente hidráulico muito elevado. A perda de carga unitária no núcleo é cerca de 3,25.

Esta situação evidencia um comportamento adequado do núcleo, como órgão de impermeabilização, uma vez que são registadas perdas de carga significativas, em relação à albufeira, ao longo do mesmo.

Os piezómetros Pp20 e Pp23, localizados na base do maciço de jusante acima do tapete drenante, registam níveis piezométricos que, embora muito baixos, se localizam acima do tapete drenante das fases anteriores de construção. No entanto o Ph26, instalado à mesma cota para confirmação das leituras dos pneumáticos, está praticamente seco, mostrando a não existência de água no aterro, confirmando, mais uma vez, o adequado funcionamento do núcleo de argila.

Os piezómetros da fundação sob o núcleo e paramento de jusante (Pp18, Pp19, Pp21 e Pp22) acompanham, desde a última fase de construção o nível da albufeira. Também os piezómetros da fundação (Pp24 e Pp25), localizados mais a jusante, até então insensíveis às variações da cota da albufeira, passaram a revelar esta mesma tendência embora ainda muito ténue.

A carga hidráulica do Pp21 difere dos piezómetros vizinhos sendo semelhante à dos Pp24 e PP25, mostrando diferenças nas condições de percolação a nível da fundação, relacionadas certamente com as suas características hidrogeológicas.

O conjunto dos piezómetros Pp16, Pp17, PP18 e Pp19, apresenta carga hidráulica muito semelhante indicando que não existe fluxo ascensional entre eles.

As pressões neutras registadas pelos piezómetros de fundação deste perfil são bastante elevadas, variando entre os 200 KPa (no Pp18 localizado sob o núcleo) e 80 KPa (no Pp24 localizado sob o pé do talude de jusante da 2ª fase). A perda de carga é de 0,21.

f) Perfil de Observação PO6 – Corpo Principal

A localização de toda a instrumentação existente neste perfil, está representada no perfil PO6 do Anexo 8. Na fig. 20 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

Neste perfil o Pp37 está fora de serviço.

Os níveis piezométricos dos piezómetros instalados no núcleo de argila acompanham os níveis de água na albufeira. Os níveis medidos pelos mais a montante são diferentes o que significa que poderá haver percolação na direcção vertical.

O Pp33 – base do núcleo do lado de jusante - apresenta sistematicamente uma carga piezométrica inferior ao piezómetro Pp32 – base do núcleo do lado de montante - em cerca de 13 m, o que indica que a percolação se processa na base do núcleo com um gradiente hidráulico muito elevado. A perda de carga unitária no núcleo é cerca de 3,15.

Esta situação evidencia um comportamento adequado do núcleo, como órgão de impermeabilização, uma vez que são registadas perdas de carga significativas, em relação à albufeira, ao longo do mesmo.

Os piezómetros Pp36 e Pp38 e Ph26, localizados na base do maciço de jusante, acima do tapete drenante, registam níveis piezométricos que, embora muito baixos, se localizam acima do tapete drenante das fases anteriores de construção. No entanto o Ph41, instalado à mesma cota para confirmação das leituras dos pneumáticos, está praticamente seco, mostrando a não existência de água no aterro, confirmando, mais uma vez, o adequado funcionamento do núcleo de argila.

Os piezómetros da fundação sob o núcleo e paramento de jusante (Pp34 e Pp35) acompanham, desde a última fase de construção o nível da albufeira, também os piezómetros da fundação (Pp39 e Pp40), localizados mais a jusante, até então insensíveis às variações da cota da albufeira, passaram a revelar esta mesma tendência embora ainda muito ténue.

O conjunto dos piezómetros Pp33, Pp34 e Pp35, apresenta carga hidráulica muito semelhante indicando que não existe fluxo ascensional entre eles.

As pressões neutras registadas pelos piezómetros de fundação deste perfil são bastante elevadas, variando entre os 140 KPa (no Pp34 localizado sob o núcleo) e 55 KPa (no Pp39 localizado sob o pé do talude de jusante da 2ª fase). A perda de carga é de 0,21.

g) Perfil de Observação PO7 – Corpo Principal

Este perfil está instrumentado com três piezómetros hidráulicos Tipo LNEC, sendo um no aterro (Ph46) e dois na fundação (Ph45 e Ph47) e dois piezómetros pneumáticos na fundação (Pp48 e Pp49) representados no perfil PO7 do Anexo 8. Na fig. 21 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

O piezómetro do aterro não registou, em 2008, nível piezométrico, indicando bom funcionamento do sistema drenante e do sistema de impermeabilização do aterro. No período anterior a 2008 há alguns registos de pressão considerados sem significado.

Os níveis piezométricos medidos nos piezómetros hidráulicos da fundação indicam que o nível freático está acima da cota do contacto aterro/fundação e muito próximo da ponteira do piezómetro do aterro. As pressões medidas no Ph45 e Ph47 são respectivamente 80kPa e 50kPa.

As leituras dos pneumáticos, situados a jusante dos hidráulicos, que seguiram padrões anormais de comportamento desde a sua instalação até 2005, têm-se mantido bastante estáveis desde Outubro de 2005, situação que coincide com a conclusão do último alteamento e com a albufeira à cota 250. Os níveis medidos indicam que o nível freático se encontra abaixo da cota de contacto aterro/fundação, e as pressões medidas da ordem dos 25 kPa e 60 kPa.

A perda de carga unitária entre o Ph45 e o Pp48 é de 0,98, revelando um gradiente hidráulico elevado.

Este perfil tem o dreno da 4ª fase de construção mas não tem nas anteriores fases de construção tapete drenante.

Neste perfil está localizado o IBR 16, que apesar de mostrar um aumento do caudal bombeado ao longo do tempo, este aumento é pouco acentuado comparativamente ao aumento da cota da albufeira.

Este facto associado aos níveis piezométricos medidos poderá significar que alguma água de percolação passa a cotas inferiores à cota da base do poço, o que poderá explicar o aparecimento de zonas de humidade a jusante do IBR que estão, como anteriormente referido, sob observação.

h) Perfil de Observação PO8 – Corpo Principal

Este perfil está instrumentado com um piezómetro hidráulico tipo LNEC, no contacto aterro/fundação (Ph50), dois piezómetros de tubo aberto, sendo um no aterro (Ph51) e um na fundação (Ph52), e dois piezómetros pneumáticos na fundação (Pp53 e Pp54) representados no perfil PO8 do Anexo 8. Na fig. 22 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes.

Neste perfil para além do dreno da 4ª fase de construção existe um tapete drenante das fases anteriores.

As leituras dos piezómetros hidráulicos do aterro e fundação são bastante estáveis e concordantes, mostrando que o nível freático se encontra um pouco abaixo da cota 243, na parte superior do tapete drenante das fases anteriores de construção. O gradiente hidráulico é muito baixo.

As leituras dos pneumáticos, situados entre os hidráulicos, que seguiram padrões anormais de comportamento desde a sua instalação até 2002, têm-se mantido sem variações erráticas desde essa data, mostrando uma subida dos níveis piezométricos com a subida da cota da albufeira. O nível registado no Pp53 é concordante com o nível dos piezómetros hidráulicos, sendo o do Pp54 inferior em 2 metros.

Neste perfil estão instalados os IBR 18 e 18A que evidenciaram uma descida de caudal de 2001 a 2005, mostrando de novo uma tendência de subida a partir desta data, e correspondendo o caudal medido a 90% do caudal estimado no modelo da barragem.

Os resultados mostram assim que no interior deste perfil o nível freático está localizado na cota superior do tapete drenante das fases anteriores de construção.

Este tapete está ligado ao dreno da 4ª fase de construção, dreno com maior capacidade drenante, que tem capacidade para drenar todos estes caudais, o que é revelado pelo aumento do caudal do IBR.

i) Perfil de Observação PO9 – Portela ME1

Este perfil está instrumentado com um piezómetro hidráulico tipo LNEC, na fundação (Ph55), dois piezómetros de tubo aberto, sendo um no aterro (Ph56) e um na fundação (Ph57), e dois piezómetros pneumáticos na fundação (Pp58 e Pp59) representados no perfil PO9 do Anexo 8. Na fig. 23 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

As pressões registadas no Ph 57 e Pp58, localizados a menor profundidade na fundação, são respectivamente 55KPa e 24 Kpa sendo a perda de carga entre eles de 0,33.

As pressões neutras registadas pelos piezómetros mais profundos na fundação são bastante elevadas, variando entre os 140 KPa no Ph55 e 130 KPa no Pp59. A perda de carga entre estes dois piezómetros é de 0,31. Este comportamento é também comprovado pelos piezómetros hidráulicos tipo CASAGRANDE, localizados imediatamente a jusante do aterro.

Os piezómetros da fundação evidenciam uma estratificação da mesma a nível hidrogeológico, uma vez que os piezómetros instalados a cotas superiores têm um comportamento substancialmente diferente dos localizados a cotas mais profundas, que se manifesta pelo acentuado aumento das pressões neutras acima dos 4 metros de profundidade.

O piezómetro do aterro está seco.

Este facto mostra que apesar de haver uma grande percolação pela fundação e de existirem condições para passagem de água da fundação para o aterro o sistema drenante deste aterro é eficaz e que a geomembrana cumpre adequadamente o seu papel como órgão de impermeabilização do aterro.

j) Perfil de Observação PO10 – Portela ME2

Este perfil está instrumentado com dois piezómetros na fundação, sendo um hidráulico tipo LNEC (Ph60) e um pneumático (Pp61), representados no perfil PO10 do Anexo 8. Na fig. 24 do Anexo 9 apresenta-se graficamente a variação dos níveis medidos nestes piezómetros.

O Pp62 está fora de serviço.

O Pp61 passa a registar pressão, embora muito reduzida, a partir de Julho 2006, altura em que a cota da albufeira atingiu o valor 250,61, estando estável desde essa data. O Ph60 apresenta uma carga piezométrica estável desde a sua instalação, aparentemente independente da cota da albufeira.

É neste perfil que está localizado o IBR15 que como foi anteriormente referido, regista um aumento do caudal médio bombeado desde a conclusão da última fase de construção, bem como o caudal medido corresponde a 74% do caudal esperado para este perfil.

3.7.2.2. Piezómetros hidráulicos tipo CASAGRANDE Existem 37 piezómetros hidráulicos tipo CASAGRANDE, estando 3 localizados a montante da barragem, 28 imediatamente a jusante do corpo principal e portelas ME1 e ME2, e 6 a jusante da BCL mas com um afastamento maior da barragem, instalados em 1993, 1999, 2003 e 2008. Estes piezómetros para além de permitirem a medição da pressão ou nível da água permitem ainda a colheita de amostras de água para análise química, dado o seu maior diâmetro.

Muitos dos piezómetros instalados em 1993 são ressurgentes, tendo sido desde o início efectuadas leituras de caudal. O dispositivo para medição da pressão foi unicamente instalado em 2003, aquando das obras de alteamento da barragem, pelo que a análise e representação gráfica dos resultados é feita a partir desta data.



Fotografia 13 – PCL: Piezómetros hidráulicos tipo CASAGRANDE



Fotografia 14 - PCL 36 – Fase de conclusão (Outubro de 2008)

a) Piezómetros hidráulicos de montante

Os três piezómetros hidráulicos de montante não são, dada a sua localização, nem dependentes nem influenciados pela cota de água da albufeira. Verifica-se que no PCL43 a cota de água é superior à cota da albufeira o que significa que esta zona é uma zona de alimentação da albufeira. A análise dos registos destes piezómetros é representada na fig. 25 do Anexo 10.

b) Piezómetros hidráulicos de jusante da BCL

Os piezómetros instalados a jusante do Corpo Principal da barragem (PCL1 a 12) localizam-se essencialmente entre os perfis de observação PO3 a PO6, representando-se na fig. 26 do Anexo 10, os níveis piezométricos por eles medidos.

A evolução do nível destes piezómetros ao longo do tempo mostra que eles são, até à data, independentes da cota da albufeira da BCL. Esta situação poderá dever-se ao facto da ponteira destes piezómetros estar a cotas inferiores à fundação da barragem, captando níveis de um aquífero mais profundo, sem influência da carga da albufeira.

Os piezómetros instalados a jusante da portela ME1 (PCL13 a 20) são também independentes da albufeira da BCL, dada a constância dos níveis piezométricos por eles medidos (fig. 27 do Anexo 10). Os níveis medidos são concordantes com os registados nos piezómetros hidráulicos, localizados a cotas mais profundas da fundação deste corpo da barragem.

Os piezómetros instalados a jusante da Portela ME2 (PCL21 a 28) são totalmente dependentes da cota da albufeira da BCL, tal como representado na fig. 28 do Anexo 10.

Os piezómetros localizados a jusante da BCL mas mais afastados desta (PCL31 a 35) não evidenciam, em termos de níveis piezométricos nenhuma dependência da albufeira (fig. 29 do Anexo 10).

Relativamente ao PCL36 não são apresentados dados por ter sido instalado no final do ano de 2008.

3.8. Segurança Ambiental – Análises químicas da água da albufeira, IBR e PCL

A água armazenada na albufeira do Cerro do Lobo, a água captada nos poços das diferentes infiltrações e a água captada nos piezómetros hidráulicos de montante e jusante são submetidas a análise química de acordo, com o estabelecido no Plano de Observação da Barragem do Cerro do Lobo, apresentado na pág. 4.

A análise dos resultados obtidos permite avaliar, por um lado, o impacte da albufeira do Cerro do Lobo no aquífero a jusante e, por outro, avaliar a eficácia do sistema aterro/fundação no seu funcionamento como filtro e consequente contribuição para a melhoria da qualidade da água de percolação.

Os piezómetros localizados a montante da barragem têm uma importância capital, pois servem de padrão ou referência uma vez que se situam em locais que não sofrem a influência da albufeira.

Os valores médios, máximos e mínimos determinados no ano de 2008, dos parâmetros analisados na água da albufeira do Cerro são os indicados no Quadro 11.

	pH	Condutividade	Cálcio	Cloretos	Nitratos	Sulfatos
	(esc.Sor.)	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Média	7,7	4.539	807	368	7	2.275
Máx.	10,9	5.100	910	480	10	2.530
Mín.	4,0	3.800	630	113	4	1.850

Quadro 11 - Valores característicos da água da albufeira do Cerro do Lobo no ano de 2008.

Os valores médios, máximos e mínimos, determinados no ano de 2008, dos parâmetros analisados na água das infiltrações da barragem do Cerro são os indicados no Quadro 12, indicando-se entre parêntesis a infiltração em que foram determinados.

	pH	Condutividade	Cálcio	Cloretos	Nitratos	Sulfatos
	(esc.Sor.)	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Média	6,2	4.283	456	306	12	2414
Máx.	7,8 (IBR27A)	6.500 (IBR27)	630 (IBR16)	472 (IBR17)	30 (IBR27)	4600 (IBR27)
Mín.	3,6 (IBR26)	3.243 (IBR31)	99 (IBR27A)	40 (IBR31)	4 (IBR31)	390 (IBR31)

Quadro 12 - Valores característicos da água das infiltrações da BCL no ano de 2008.

Os valores médios dos parâmetros analisados na água dos PCL, no ano de 2008, a montante, jusante de cada corpo e mais afastados da barragem do Cerro do Lobo são os indicados no Quadro 13, apresentando-se no Anexo 11 os valores máximos e mínimos para cada localização.

Localização	pH	Condutividade	Cálcio	Cloretos	Nitratos	Sulfatos
	(esc.Sor.)	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Montante BCL	8,5	1.671	62	337	21	75
Corpo Principal	7,3	3.313	363	336	9	1.371
ME1	7,2	5.263	250	1.116	14	1076
ME2	7,8	2.292	150	240	11	761
Jusante BCL	7,3	1.954	133	280	19	376

Quadro 13 - Valores médios da água dos PCL no ano de 2008.

É a montante da albufeira que são mais baixos os teores de cálcio e sulfatos como seria de esperar, uma vez que não há interferência da água da albufeira no aquífero.

Há uma diminuição dos teores de sulfatos e de cálcio da água da albufeira para a água das infiltrações e desta para a água dos piezómetros hidráulicos, como seria de esperar, uma vez que se verifica o efeito de filtro do sistema aterro/fundação, bem como o efeito de diluição com a água do aquífero a jusante.

No entanto, e analisando a barragem corpo a corpo, verifica-se que é na água captada nos piezómetros imediatamente a jusante do corpo principal que é maior o teor de sulfatos e cálcio, o que é natural dado que é nessa zona que se regista a maior carga hidráulica.

Também se regista que, apesar de haver uma diminuição do teor de sulfatos e cálcio da albufeira para jusante, este teor tem vindo progressivamente a aumentar, concordantemente com o avanço da pluma de contaminação da albufeira.

É a montante da albufeira da barragem do Cerro do Lobo que se encontra o mais elevado teor de nitratos, situação esperada dado ser uma zona sem influência directa da albufeira mas com influência da agricultura praticado na mesma. Para jusante verifica-se uma diminuição do teor de nitratos, quer devido à diluição com a água da albufeira, quer devido ao facto da não existência de agricultura há um longo período de tempo. Os nitratos estão em muito baixa concentração na água da albufeira.

Confirma-se a anomalia, possivelmente de origem geológica, existente na zona da ME1, que se caracteriza quer pelos elevados teores de cloretos quer pelos elevados valores de condutividade, medidos tanto na água das infiltrações como na dos piezómetros hidráulicos.

3.9. Acelerógrafos

A barragem está equipada com dois acelerógrafos, do tipo “Strong Motion”, modelo ETNA da KINEMATRICS, instalados no mês de Março.



Fotografia 15 - Acelerógrafo do coroamento do corpo principal



Fotografia 16 - Acelerógrafo a jusante da barragem

Estes equipamentos permitem o registo contínuo das acelerações sísmicas segundo duas componentes ortogonais no plano horizontal e uma componente vertical, com uma capacidade máxima de leitura (full scale FS) de 2g.

Os acelerógrafos encontram-se instalados no Perfil de Observação PO5, estando um no coroamento e outro no terreno natural, a jusante da barragem, numa zona já não influenciada pela obra, e estão sincronizados entre si através da sua ligação a um GPS, sendo o registo iniciado em simultâneo nos dois equipamentos.

Os acelerógrafos dispõem de um dispositivo de accionamento denominado “trigger” que detecta o sismo e acciona o registo. O dispositivo instalado a jusante da barragem foi programado com maior sensibilidade do que o instalado no coroamento, sendo os patamares de “trigger” de 0,002g (0,1% FS) e 0,02g (1% FS) respectivamente.

Desde a sua instalação até ao final de 2008 não foram registadas quaisquer acções sísmicas.

4. CONCLUSÕES

O aterro de resíduos do Cerro do Lobo, também designado por barragem do Cerro do Lobo (BCL) é monitorizado de acordo com o Plano de Observação aprovado para a 4ª fase de construção, que inclui instrumentos instalados nas anteriores fases de construção.

O Plano de Observação da BCL cumpre integralmente o disposto na legislação em vigor, nomeadamente o Decreto-lei 344/2007 de 15 de Outubro, que aprova o Regulamento de Segurança de Barragens, e a Portaria nº 846/93, de 10 de Setembro, que define as Normas de Inspeção e Observação de Barragens.

Durante o ano de 2008 foram bombeados para a albufeira da BCL 7.365.018 m³ de polpa de rejeitados, correspondentes a um caudal de 839 m³/h., tendo sido recirculados, para utilização no processo industrial 5.882.880 m³ de água, equivalentes a 670 m³/h.

As toneladas de rejeitados, depositadas na albufeira em 2008 foram 1.937.763, estando já depositadas neste aterro 25.299.580 toneladas. Estas toneladas ocupam um volume de 15.059.274 m³, correspondente a uma taxa de ocupação de 89,8% da capacidade útil da albufeira para armazenamento de rejeitados. A capacidade ainda disponível na barragem é de 10%, relativamente ao volume útil para armazenamento de rejeitados.

A precipitação total registada na estação meteorologia do Monte Branco foi 449,9 mm, tendo a evaporação sido 1271,1 mm, valores inferiores aos valores médios do período 1961-2008, para estes mesmos parâmetros.

No final de 2008 a albufeira estava à cota 252,64, tendo sofrido um acréscimo de 0,86 metros relativamente a 2007.

A inspecção visual de rotina mostrou de um modo geral o bom estado dos paramentos de montante e jusante do aterro bem como o bom nivelamento do coroamento. Regista-se um desgaste da camada de revestimento simples do coroamento, situação que deverá ser corrigida em 2009. A jusante do corpo principal, na zona do IBR16, e a jusante da portela ME2 apareceram, durante o ano, zonas húmidas. Estas situações apesar de normais, dado o aumento da carga hidráulica, estiveram todo o ano sob observação e deverão ser corrigidas em 2009.

O comportamento estrutural, hidráulico e ambiental da barragem em 2008 foi concordante com o definido no modelo da barragem e dentro do esperado para este tipo de barragens.

Os deslocamentos em altimetria mostram um assentamento máximo de 35 mm, no perfil mais alto do corpo principal, correspondente a 1% do último alteamento efectuado, valor considerado normal em barragens de aterro.

Em planimetria foi registado um deslocamento máximo de 12 mm, valor muito pequeno, pouco significativo e também considerado normal em barragens de aterro.

Os deslocamentos internos são também pouco significativos.

Do ponto de vista hidráulico registou-se em 2008 um caudal total de percolação de 36,8 m³/h, correspondendo a um aumento de 11.5% relativamente a 2007, considerado normal e estando relacionado com o aumento da carga hidráulica na albufeira. Este aumento foi mais acentuado nos poços de infiltração localizados na parte mais baixa dos vales principais atravessados pelos aterros. A maior contribuição vem naturalmente do corpo principal, onde a carga hidráulica é maior.

Os caudais de percolação medidos são muito inferiores aos caudais estimados no modelo da barragem. Uma vez que o sistema drenante foi dimensionado com base nos caudais estimados podemos afirmar que, nesta data, este sistema tem suficiente capacidade de drenagem dos caudais por ele captados.

As pressões medidas nos diferentes piezómetros também, de um modo geral, acompanham a subida de cota da albufeira, evidenciando um comportamento normal dos aterros e uma resposta adequada dos diferentes equipamentos instalados.

O comportamento hidráulico dos dois maiores perfis de observação da barragem, PO5 e PO6, do corpo principal, é muito semelhante, com a linha de saturação praticamente à mesma cota, mostrando um comportamento adequado deste aterro.

As zonas mais húmidas que estão a aparecer a jusante do corpo principal, na zona do IBR16, e a jusante da portela ME2, estão relacionadas com o aumento da carga hidráulica na albufeira e com o facto de a percolação na fundação estar a ocorrer a um nível mais profundo que o dos poços de infiltração nestas zonas, não sendo por isso captada por eles. Este comportamento era já expectável, sendo por isso considerado normal. Estas situações serão corrigidas em 2009, com a instalação de novos poços de infiltração.

Do ponto de vista ambiental o desempenho da barragem foi adequado.

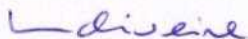
Apesar de haver uma progressão da pluma de contaminação verificou-se uma melhoria da qualidade da água, da albufeira para jusante, mostrando a eficácia do sistema aterro/fundação na sua actuação como filtro.

Os dois acelerógrafos previstos para a barragem foram instalados no mês de Março, não tendo sido, até ao final de 2008, registadas quaisquer acções sísmicas.

A análise dos dados da monitorização da barragem do Cerro do Lobo permite afirmar que esta barragem teve em 2008, e desde a conclusão da 4ª fase de construção, um comportamento estrutural, hidráulico e ambiental adequado, dentro do definido no modelo da barragem e do esperado para barragens de aterro.

Nesta data, para além de pequenas intervenções que é necessário efectuar, não há nenhum dado da monitorização da barragem que possa indiciar um deficiente comportamento do aterro.

Neves Corvo, 14 de Maio de 2009



Mafalda Oliveira

Técnico Responsável pela Exploração da barragem do Cerro do Lobo
Chefe do Departamento de Barragens e Águas da Somincor

ANEXO 1

Planta geral da barragem e planta com a indicação
dos perfis de observação

ANEXO 2

Recomendações CENORGE



BARRAGEM DE CERRO DO LOBO

ASSITÊNCIA TÉCNICA

NOTA TÉCNICA Nº 1 DE 31 MARÇO DE 2008

No âmbito da Assistência técnica aos trabalhos na barragem do Cerro do Lobo efectuou-se uma visita à barragem com a Dr.^a Mafalda Oliveira, onde foram analisados alguns problemas que se prendem com a degradação do pavimento do coroamento da barragem e com o aparecimento de zonas húmidas a jusante da barragem. As conclusões desta visita são as seguintes.

1 – Degradação do pavimento no coroamento da barragem

Ao longo do coroamento da barragem e nas rampas de acesso foi aplicado, nas faixas de circulação, um pavimento constituído por tout-venant de pedreira com espessura mínima de 0,20 m e por um revestimento betuminoso superficial simples. Trata-se de um pavimento ligeiro concebido para um tráfego reduzido e para veículos leves. O revestimento betuminoso destinou-se a estabilizar o tout-venant e a proporcionar uma impermeabilização superficial do coroamento.

Logo depois da entrada em serviço apareceram algumas zonas com o pavimento degradado, agravadas com a circulação intensa de camiões. As zonas mais extensas têm entre 1 e 2 dezenas de metro quadrados e situam-se nas portelas MD, ME1 e ME2B. Aparecem ainda alguns buracos dispersos no pavimento e algumas bermas deformadas nas saídas para as rampas onde se verificou que a largura pavimentada era insuficiente para o tráfego de camiões.

A causa mais provável para a degradação local do pavimento deve prender-se com a heterogeneidade do tout-venant, com teor em finos argilosos mais elevado, tendo maior capacidade de reter as águas pluviais. De referir que não foram detectados materiais argilosos nos ensaios de caracterização e de controlo do tout-venant nem nas inspecções visuais em obra.

Tendo em conta que, em serviço normal, não se assiste a uma evolução acentuada e generalizada da degradação do pavimento, as medidas correctivas poderão passar por intervenções localizadas do tipo:



- Escarificação e/ou levantamento parcial da camada de tout-venant;
- Reposição da camada com tout-venant de boa qualidade;
- Reposição do revestimento betuminoso.

Esta intervenção deverá ser efectuada por uma empresa da especialidade, devendo esta propôr a solução com melhores garantias de durabilidade.

2 – Zonas húmidas no pé de jusante da barragem

Aparecem algumas zonas de humidade no pé do aterro da barragem nos seguintes locais:

- Na portela MD, ao PK0+375;
- Na portela do Corpo Principal (PCP), próximo do IBR16 entre os PK1+080 e PK1+130;
- Na portela do Corpo Principal (PCP), próximo do IBR18 ao PK1+420.

Esta zonas de humidade aparecem localizadas ou em extensão até várias dezenas de metros e persistem mesmo em tempo seco. Manifestam-se também pelo aparecimento de pedras do enrocamento tingidas pela precipitação de sulfatos. No entanto, não se observa até à data um escoamento contínuo. As causas deste fenómeno poderão relacionar-se:

- Com passagens de água da albufeira, percolando pelo maciço de fundação, através de fracturas, e que não são captadas eficazmente pelo tapete drenante, ou
- Com as águas das chuvas que se infiltram no paramento da barragem.

Tratando-se de zonas húmidas sem escoamento de água aparente, não se preconiza qualquer tipo de intervenção. Contudo, a evolução destas zonas deverá ser observada atentamente nas inspecções visuais periódicas da barragem.

3 – Ressurgência junto aos piezómetros PCL11 e PCL12



Recentemente foi detectada uma nascente de águas ricas em sulfatos junto aos piezómetros PCL11 e PCL12, situados a jusante do Corpo Principal, ao perfil PK0+740, a cerca de 90 m do pé da barragem. Estas águas surgem numa zona muito limitada e escoam-se à superfície misturando-se com as águas que saem por artesianismo moderado dos piezómetros. Nas zonas de águas mais estagnadas os sulfatos precipitam.

Para evitar a contaminação das águas da ribeira, as águas da nascente deverão ser captadas e conduzidas graviticamente em tubagem para o IBR5B. Para verificar se existe desnível suficiente é necessário efectuar um levantamento topográfico.

Para captação das águas contaminadas serão necessários os seguintes trabalhos:

- Remoção dos blocos colocados em torno dos piezómetros;
- Saneamento do terreno superficial encharcado e escavação até se detectar o ponto ou pontos de chegada das águas;
- Execução de uma bacia em betão para recuperação das águas contaminadas e separação das águas provenientes dos piezómetros, e da tomada para o tubo que irá conduzir as referidas águas até ao IBR5B.

O tubo será em PEAD com diâmetro mínimo de 3" e enterrado em toda a extensão.

4 – Ressurgência ao PK1+130 a jusante da barragem

A cerca de 50 m a jusante do aterro da barragem, ao perfil PK1+130 existe uma zona húmida alimentada por água da albufeira que circula no maciço de fundação, através de alguma fractura aberta.

Esta zona húmida mantém-se durante os períodos secos e estende-se já por algumas dezenas de metros quadrados, o que leva a admitir que existe uma alimentação com um caudal persistente e com tendência a aumentar.

Por agora pensamos que bastará um acompanhamento desta ressurgência. Em tempo oportuno deverá pensar-se na captação através de um tapete drenante e encaminhamento por tubagem enterrada para o IBR23.

5 – Águas contaminadas na vala junto à vedação ao PK2+200



Durante os trabalhos de alteamento da barragem foi aberta uma vala com mais de 2 m de profundidade ao longo da vedação de modo a captar a maior parte das águas contaminadas que surgiam no terreno vizinho.

Na situação actual as águas contaminadas circulam ao longo da vala e são encaminhadas para a linha de água da Portela ME1, acabando por entrar no terreno vizinho. Para evitar esta situação é necessário captar as águas contaminadas dentro da vala e encaminhá-las graviticamente para o IBR17. Os trabalhos a realizar são os seguintes:

- Construir uma parede em betão (verdume) para retenção das águas na vala, junto ao vértice da vedação próximo dos tanques;
- Nesta parede será amarrado o tubo em PEAD que conduzirá as águas para o IBR17.

Deverá ser feito um levantamento topográfico para verificação do desnível existente e deverá prever-se uma purga para limpeza da conduta no ponto mais baixo. As águas pluviais deverão ser desviadas do trecho da vala a montante da captação.

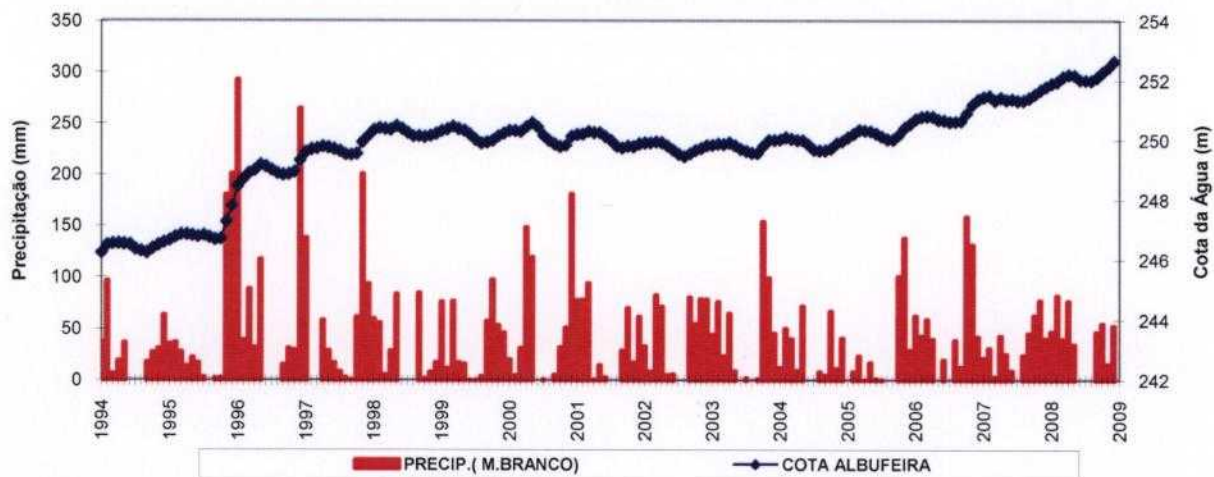
Lisboa, 31 de Março de 2008

Eng.º Manuel Romeiro

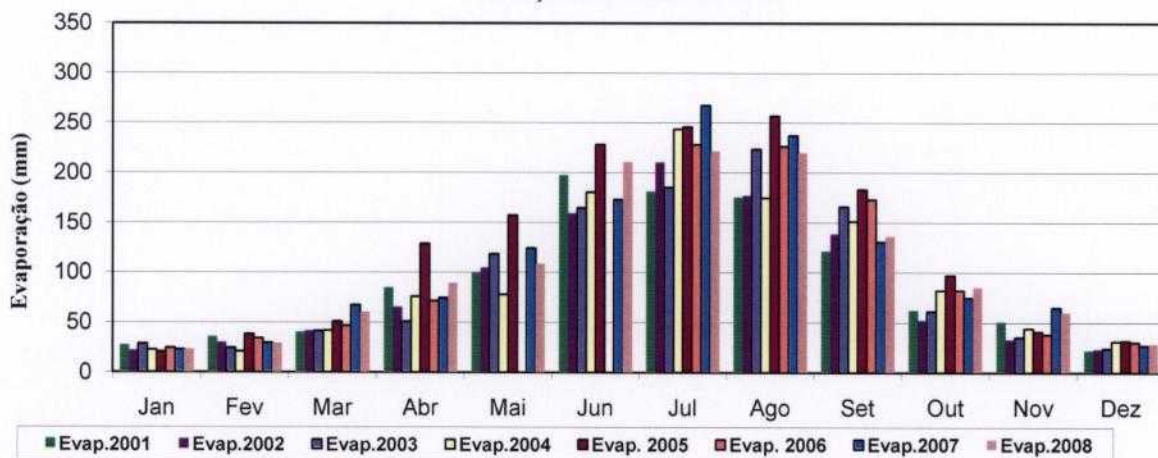
ANEXO 3

Metereologia

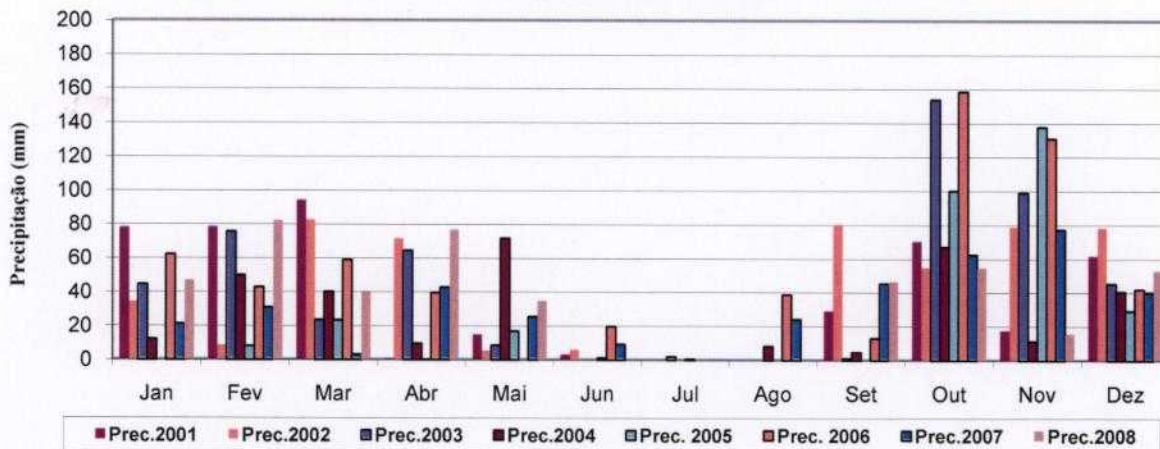
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO Evolução da Cota da Água / Precipitação



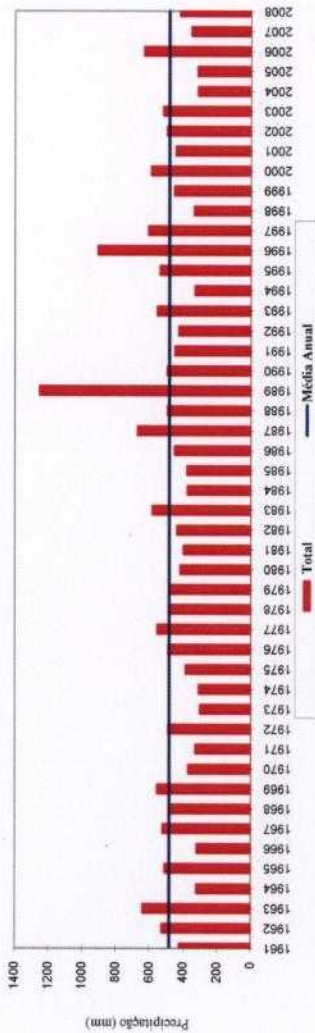
EVAPORAÇÃO 2001-2008 Estação do Monte branco



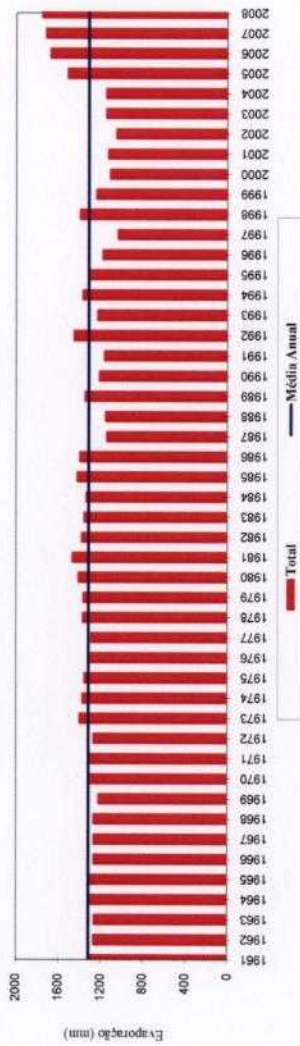
PRECIPITAÇÃO 2001-2008 Estação do Monte Branco



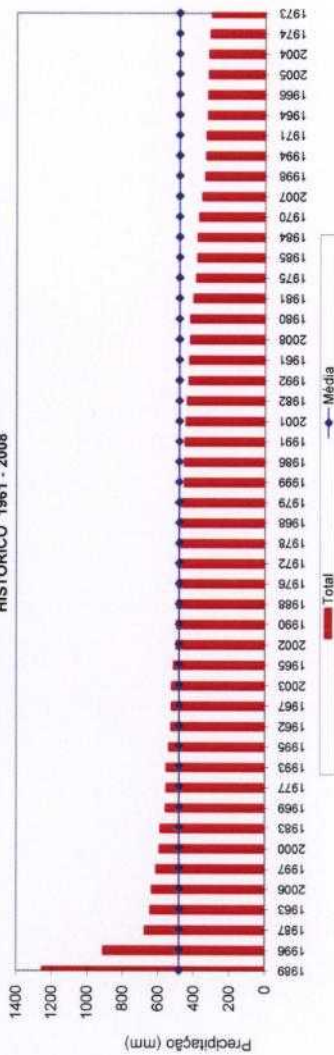
HISTÓRICO DA PRECIPITAÇÃO
1961 - 2008



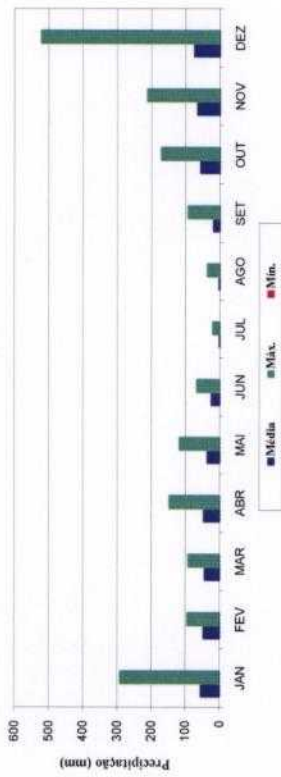
HISTÓRICO DA EVAPORAÇÃO CORRIGIDA
1961 - 2008



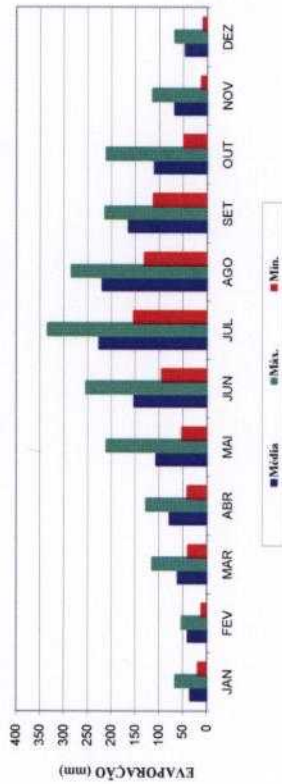
ORDENAÇÃO ANUAL POR PLUVIOSIDADE DECRESCENTE
HISTÓRICO 1961 - 2008



PRECIPITAÇÃO MENSAL
HISTÓRICO 1961 - 2008



EVAPORAÇÃO CORRIGIDA MENSAL
HISTÓRICO 1961 - 2008



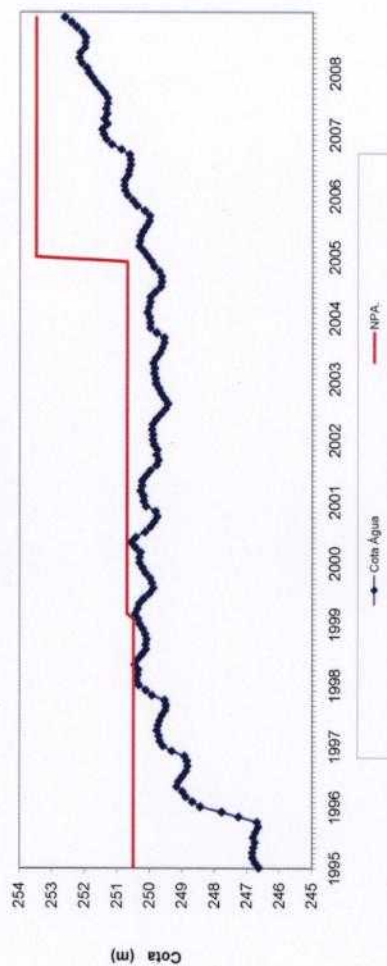
ANEXO 4

Evolução da cota da albufeira

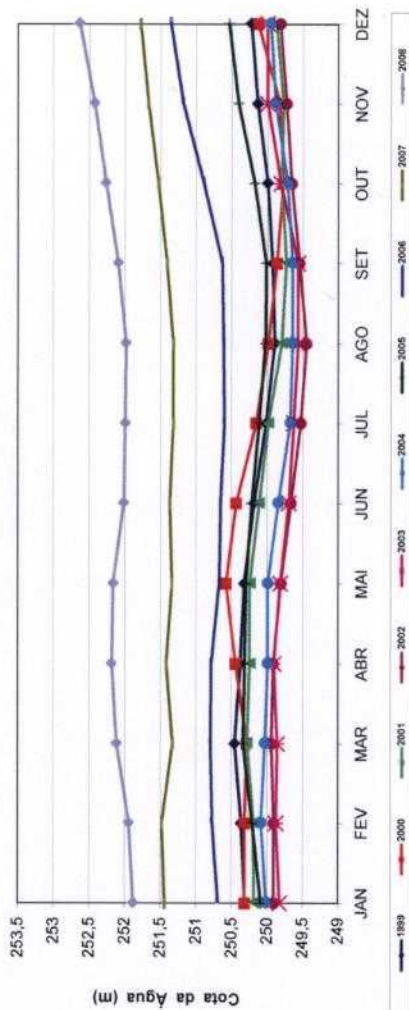
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

Evolução da Cota da Água da Albufeira

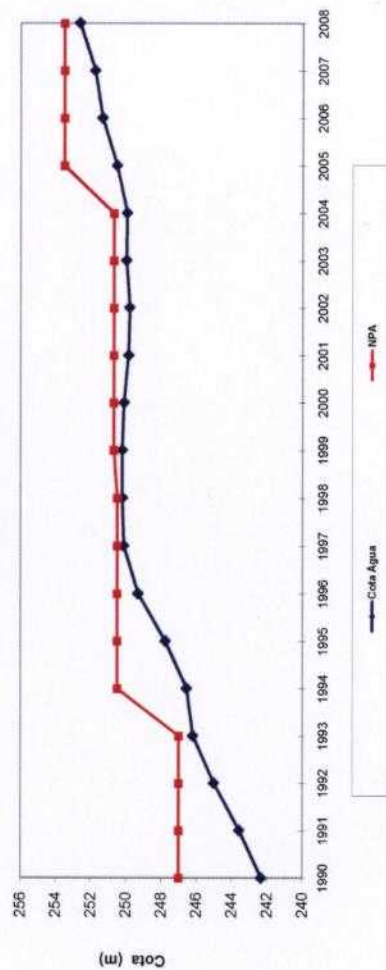
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Cota da Água 1995 - 2008



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Cota da Água 1999 - 2008



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Variação Anual da Cota da Água



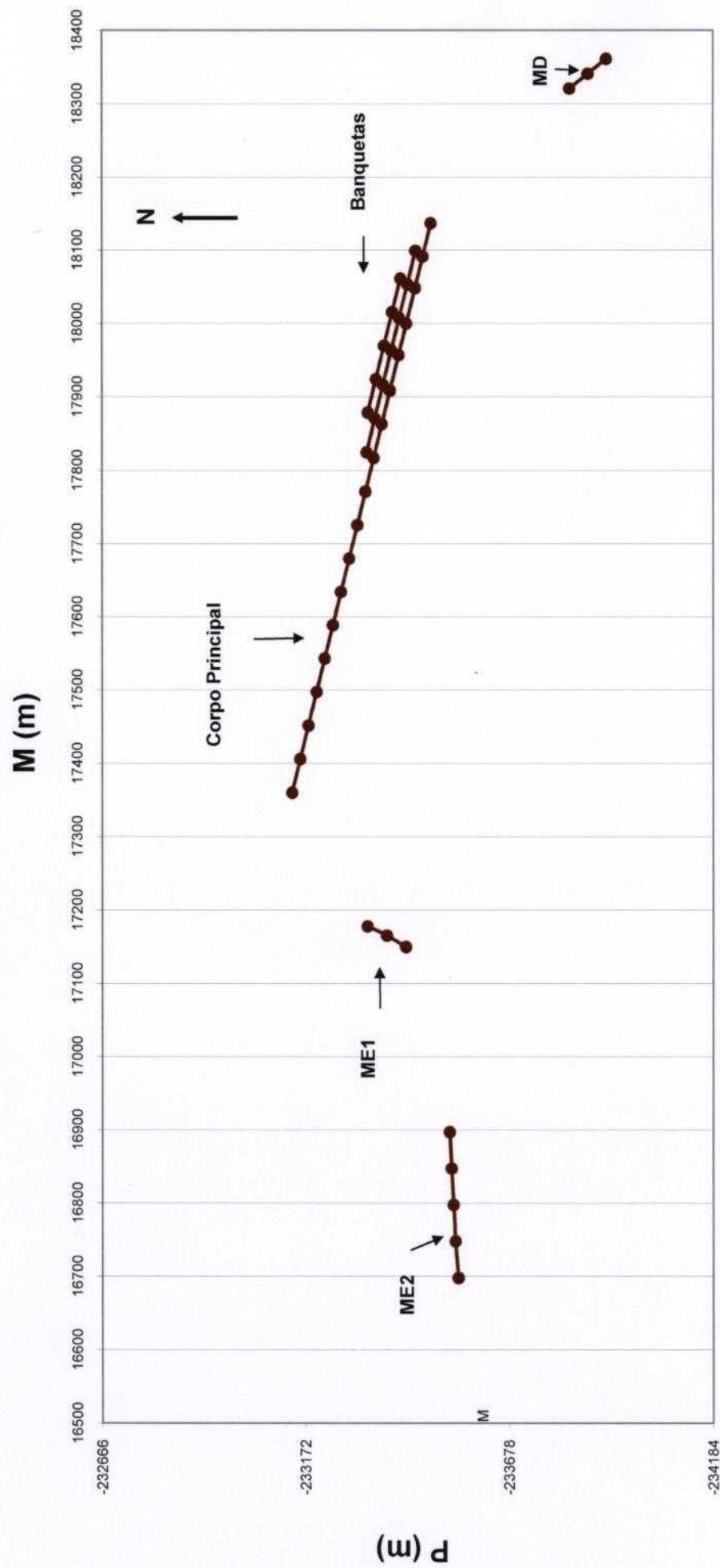
ANEXO 5

Deslocamentos:

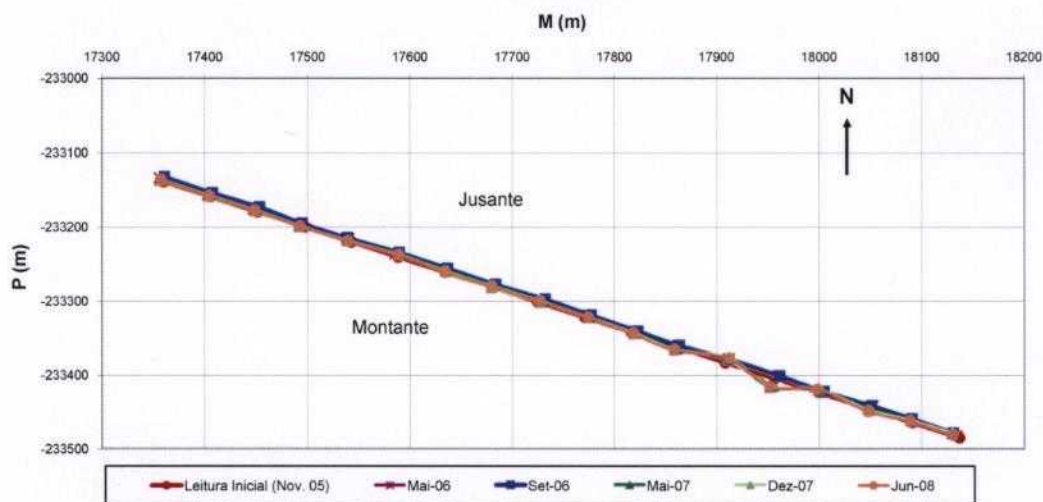
- Planimetria;
- Altimetria

BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

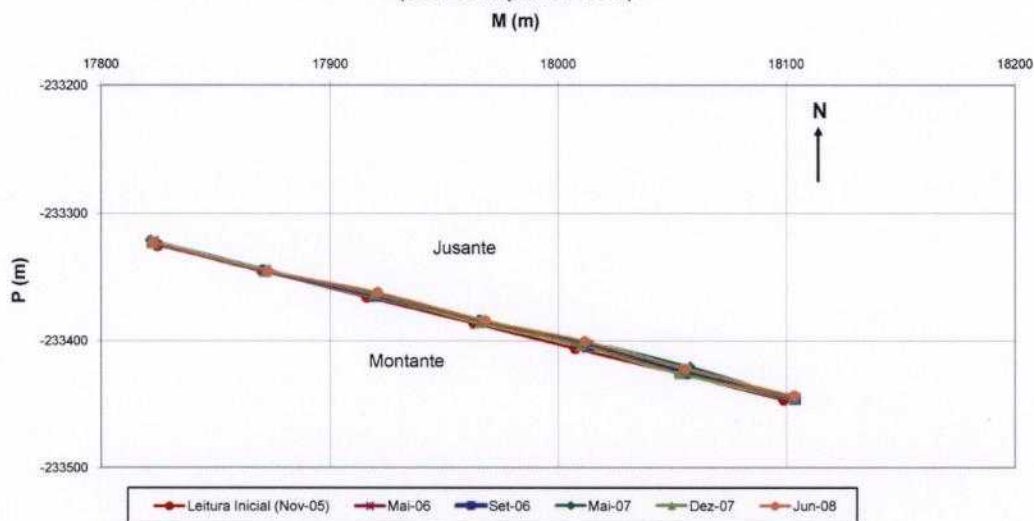
Localização das Marcas Superficiais



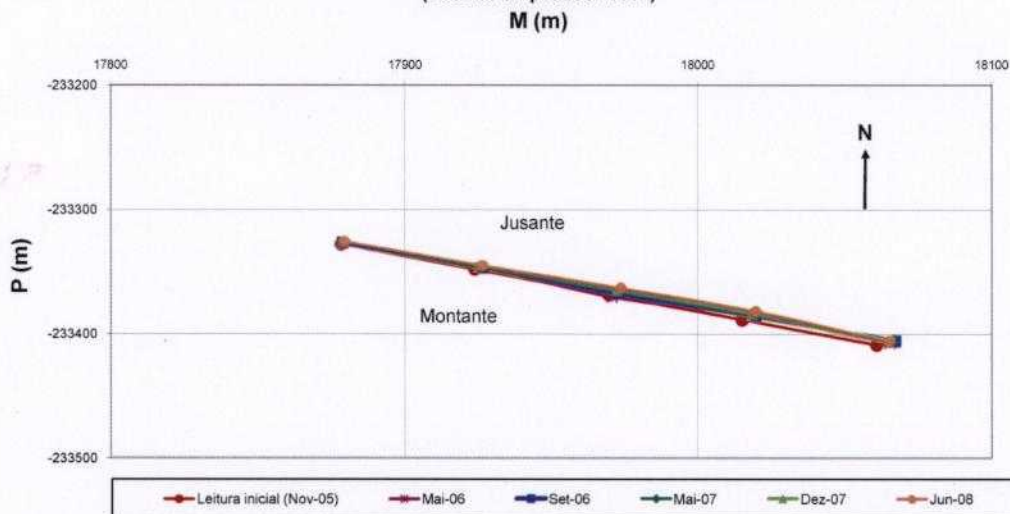
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Deslocamentos Horizontais das Marcas do Coroamento do Corpo Principal
(Desvios Ampliados 1000x)



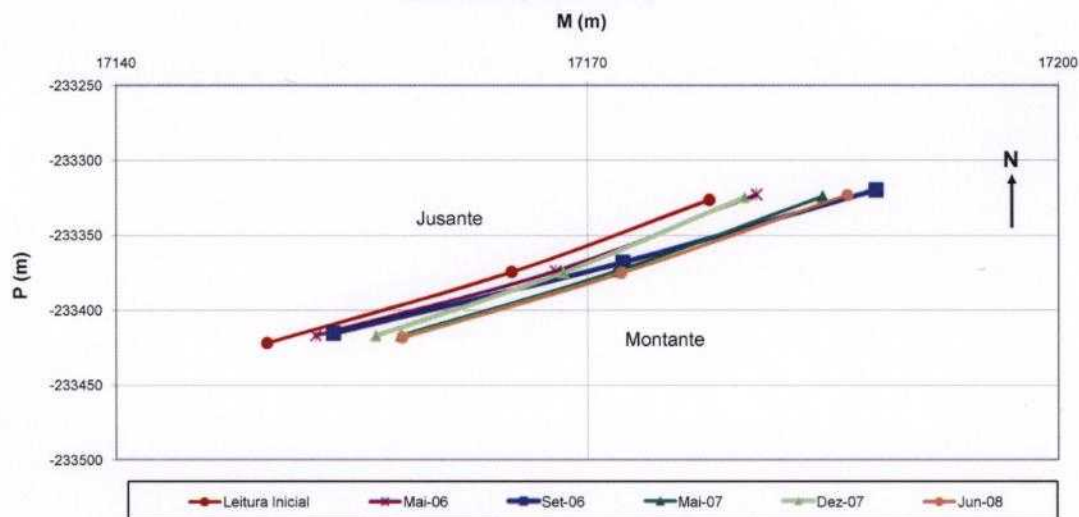
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Deslocamentos Horizontais das Marcas da 3ª Banqueta do Corpo Principal
(Desvios ampliados 1000x)



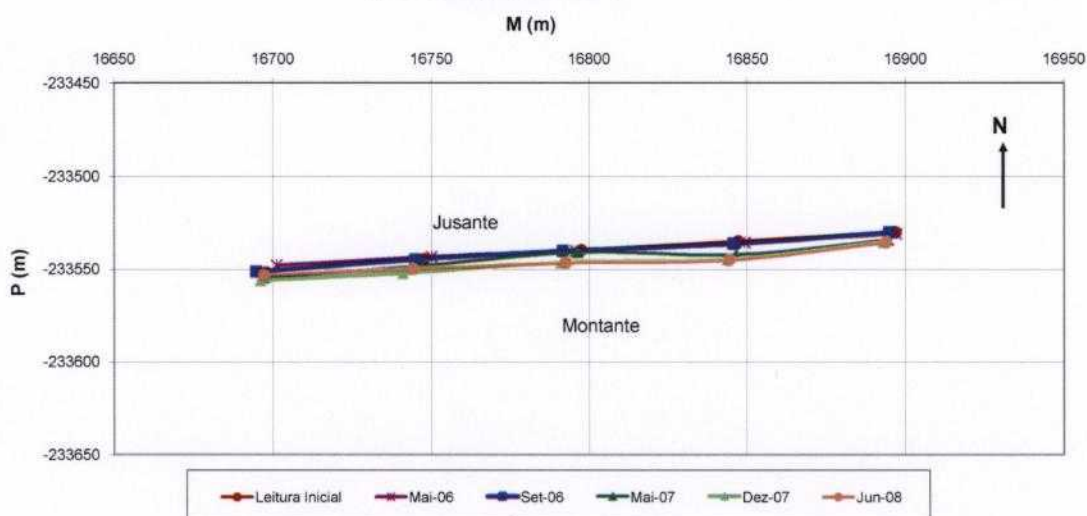
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Deslocamentos Horizontais das Marcas da 2ª Banqueta do Corpo Principal
(Desvios ampliados 1000x)



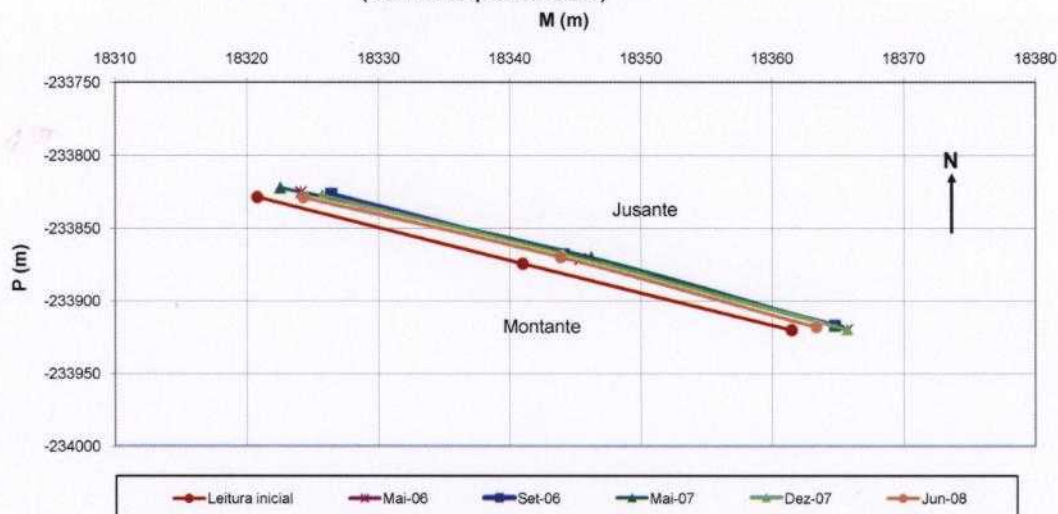
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Deslocamentos Horizontais das Marcas da Portela ME1
(Desvios Ampliados 1000x)



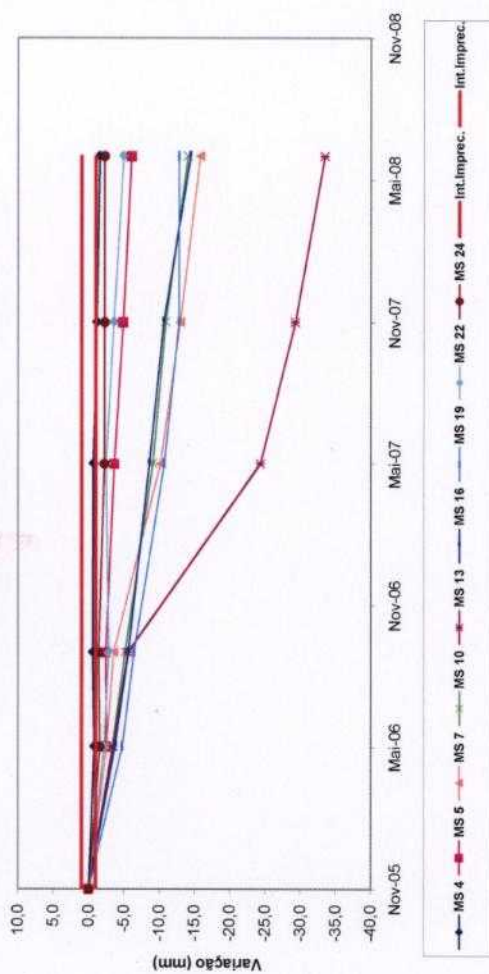
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Deslocamentos Horizontais das Marcas da Portela ME2
(Desvios Ampliados 1000x)



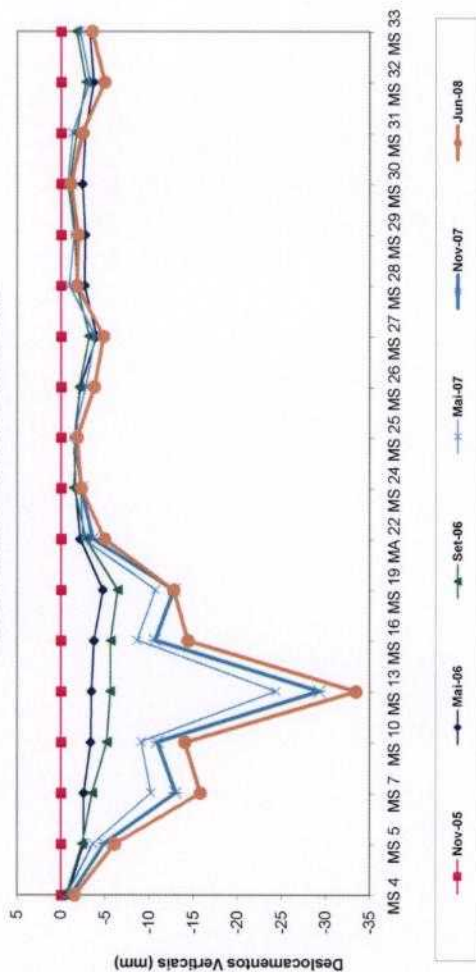
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Deslocamentos Horizontais das Marcas da Portela MD
(Desvios Ampliados 1000x)



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO Variações Altimétricas Acumuladas - Corpo Principal



BCL - Corpo Principal - Coroamento Deslocamentos Verticais Acumulados

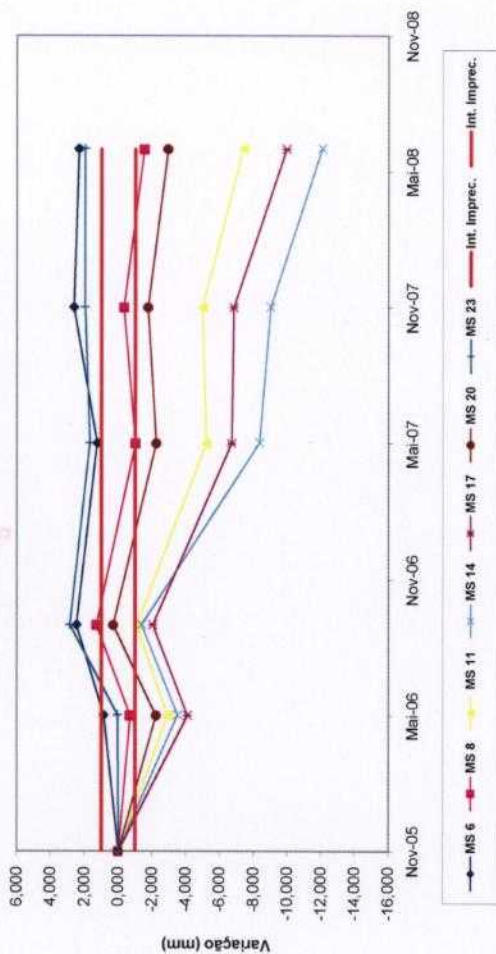


BARRAGEM DO CERRO DO LOBO Variações Altimétricas Acumuladas - Portela do Corpo Principal



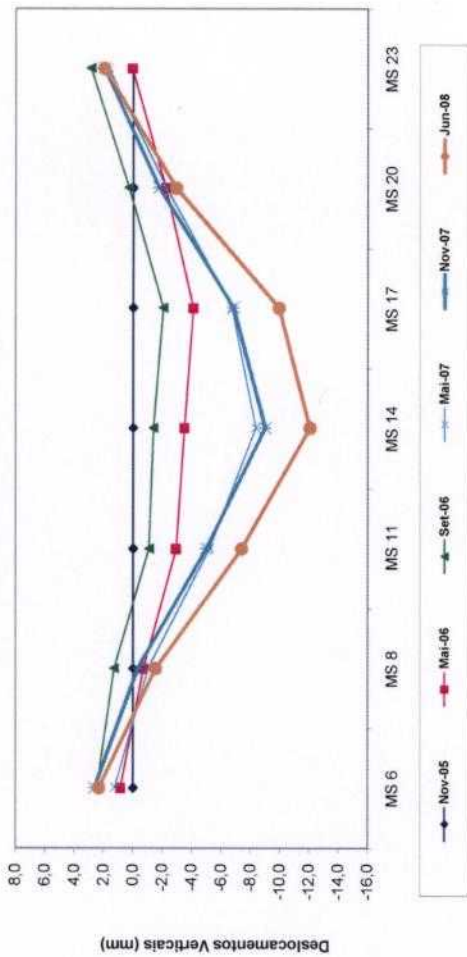
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

Variações Altimétricas Acumuladas - 3ª Banqueta



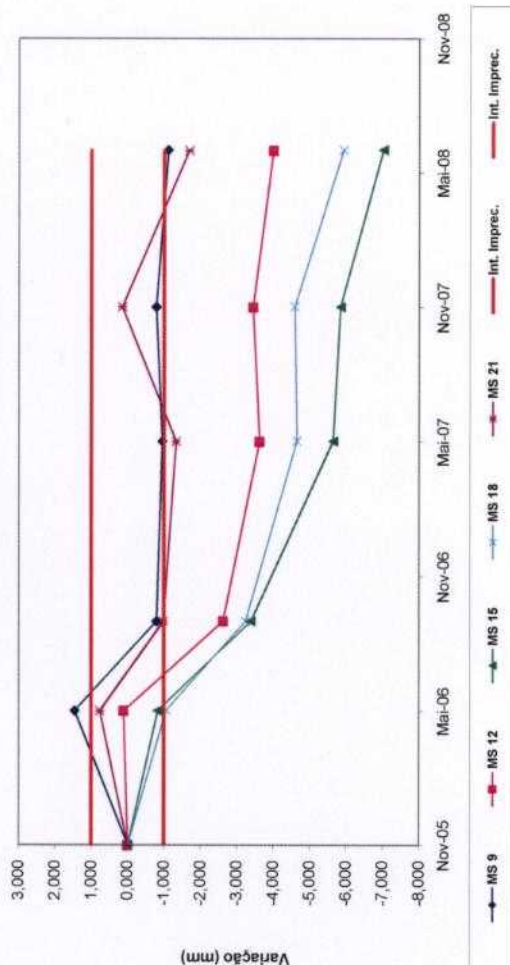
BCL - Corpo Principal - 3ª Banqueta

Deslocamentos Verticais acumulados



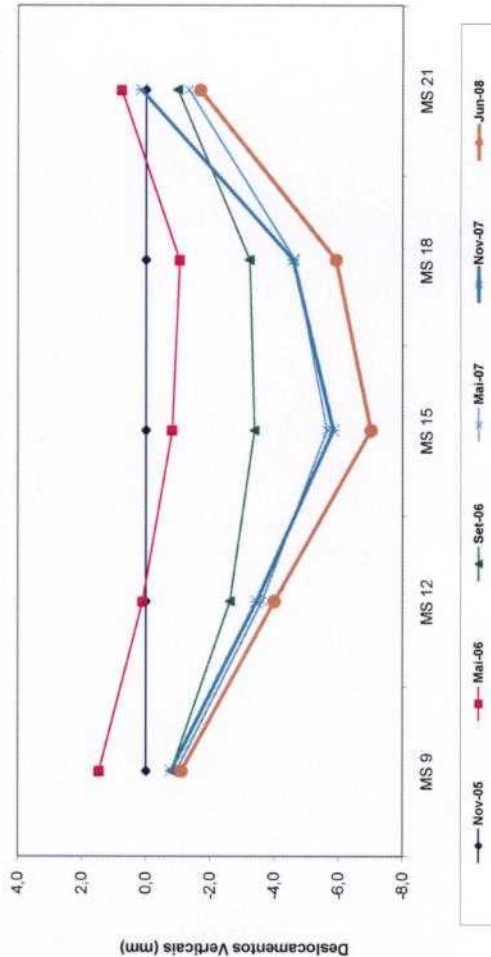
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

Variações Altimétricas Acumuladas - 2ª Banqueta

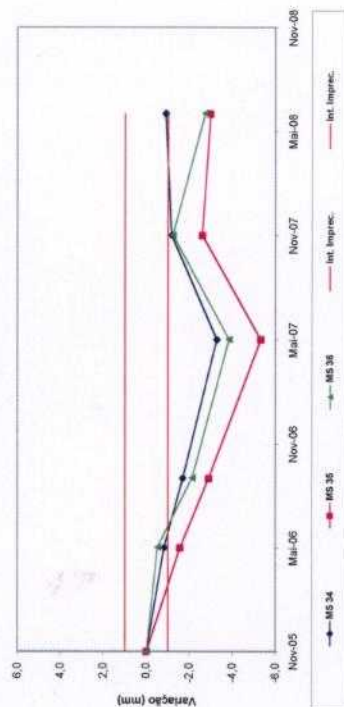


BCL - Corpo Principal - 2ª Banqueta

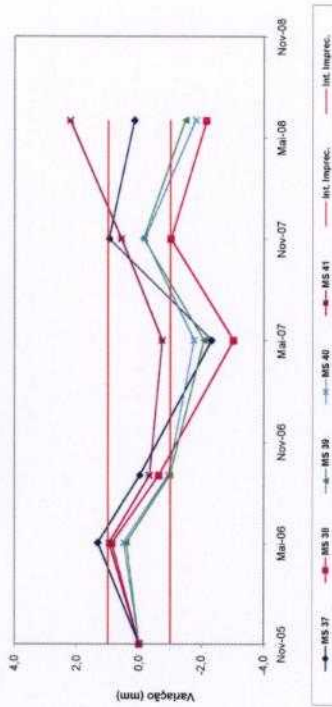
Deslocamentos Verticais acumulados



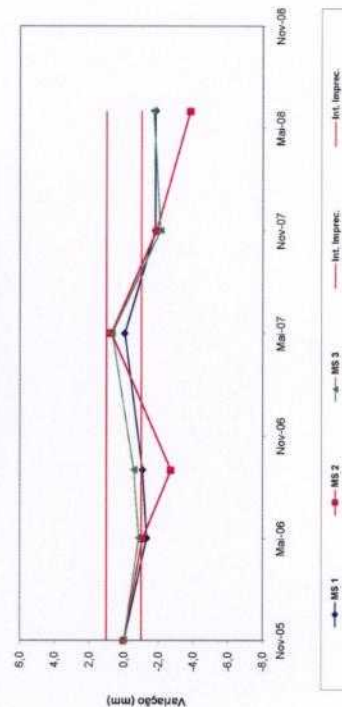
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Variações Altimétricas Acumuladas na Portela ME1



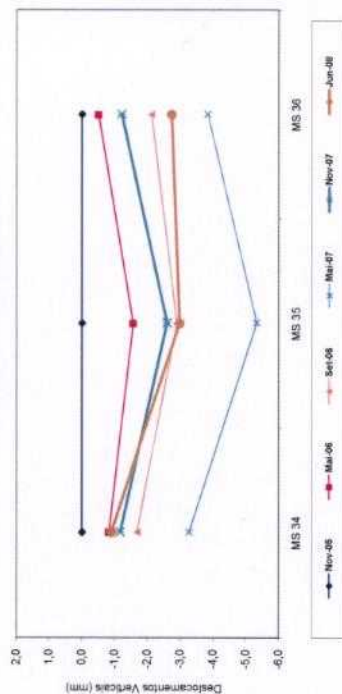
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Variações Altimétricas Acumuladas na Portela ME2



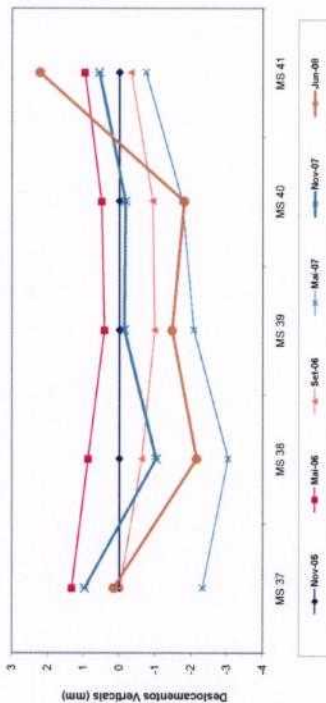
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Variações Altimétricas Acumuladas na Portela MD



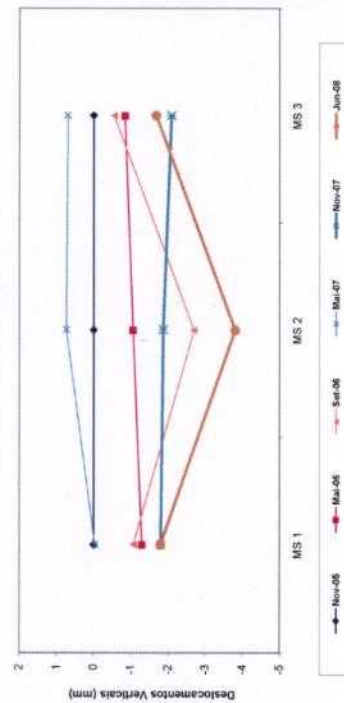
BCL - PORTELA ME1
Deslocamentos Verticais Acumulados



BCL - Portela ME2
Deslocamentos Verticais Acumulados



BCL - Portela MD
Deslocamentos Verticais Acumulados



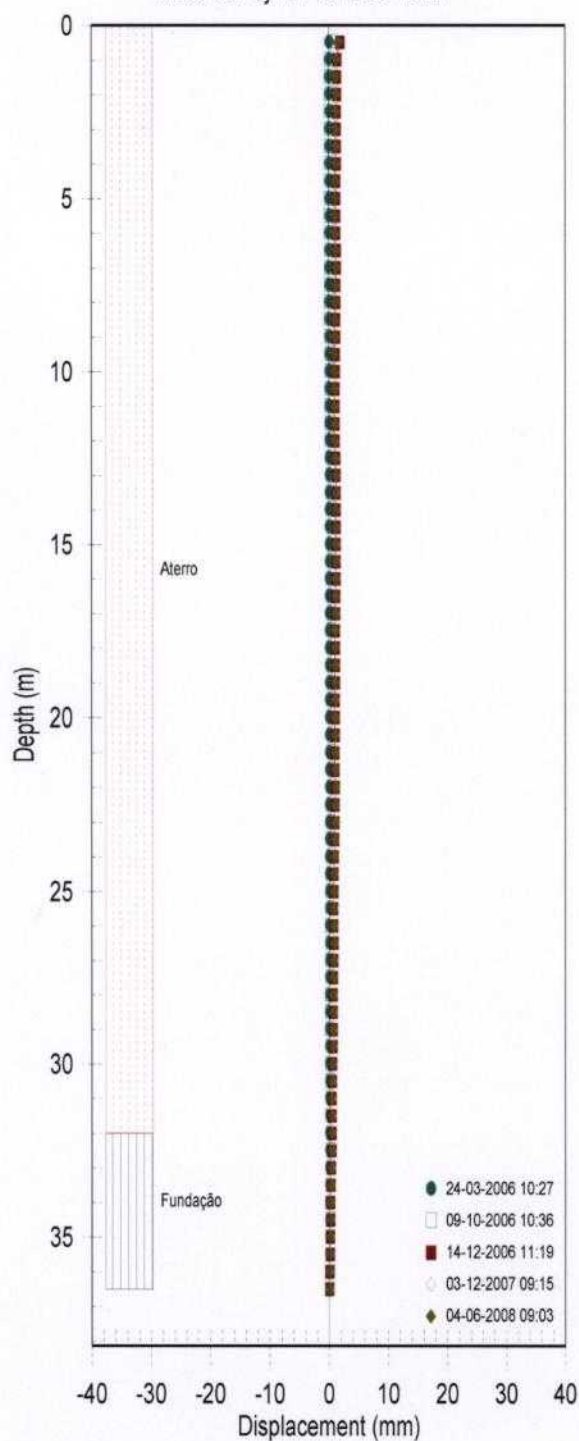
ANEXO 6

Deslocamentos Internos:

- Inclínómetros

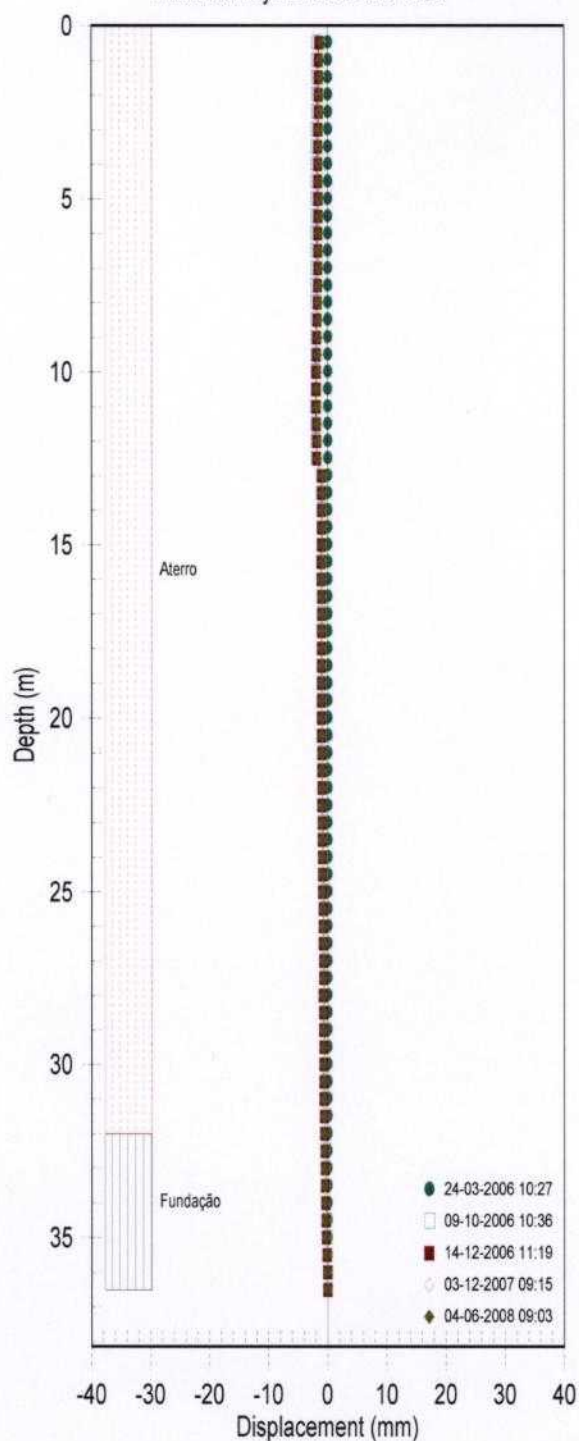
BCLINC:I 1 - A Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 10:27



BCLINC:I 1 - B Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 10:27



PROJECT:

SITE:

INSTALLATION:

COMPANY:

CLIENT:

NOTE:

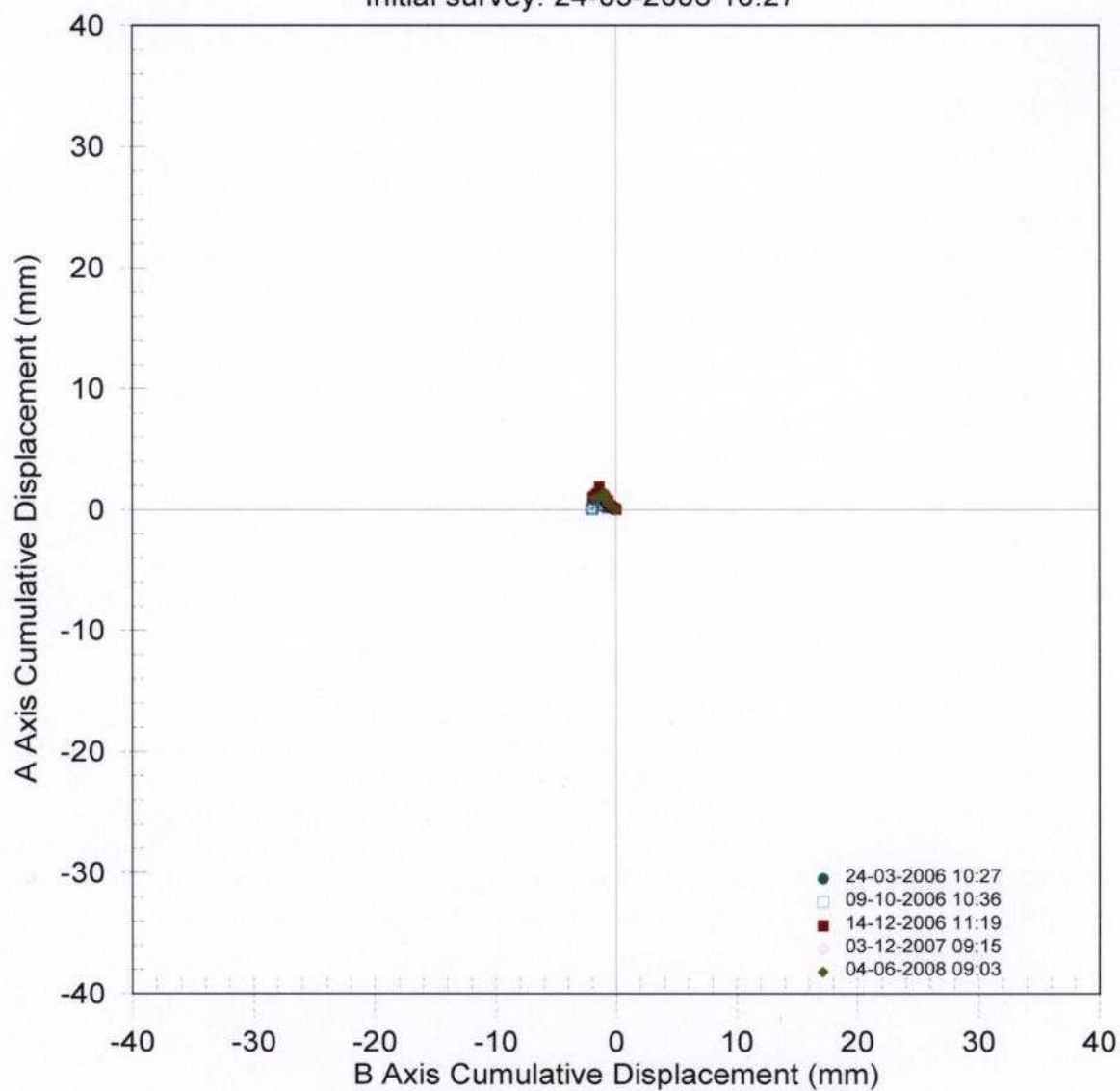
Barragem do Cerro do Lobo

Inclinómetro 1

SOMINCOR

BCLINC:I 1 - A Axis vs B Axis

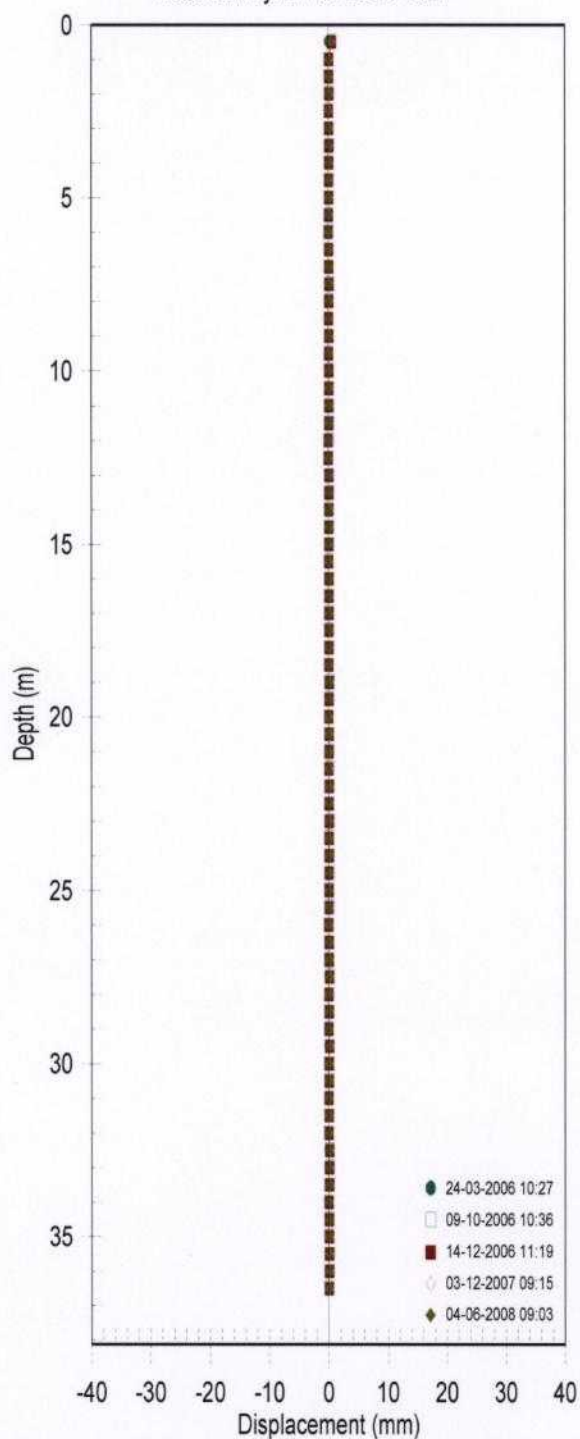
Initial survey: 24-03-2006 10:27



PROJECT:
SITE: Barragem do Cerro do Lobo
INSTALLATION: Inclínómetro 1
COMPANY: SOMINCOR
CLIENT:
NOTE:

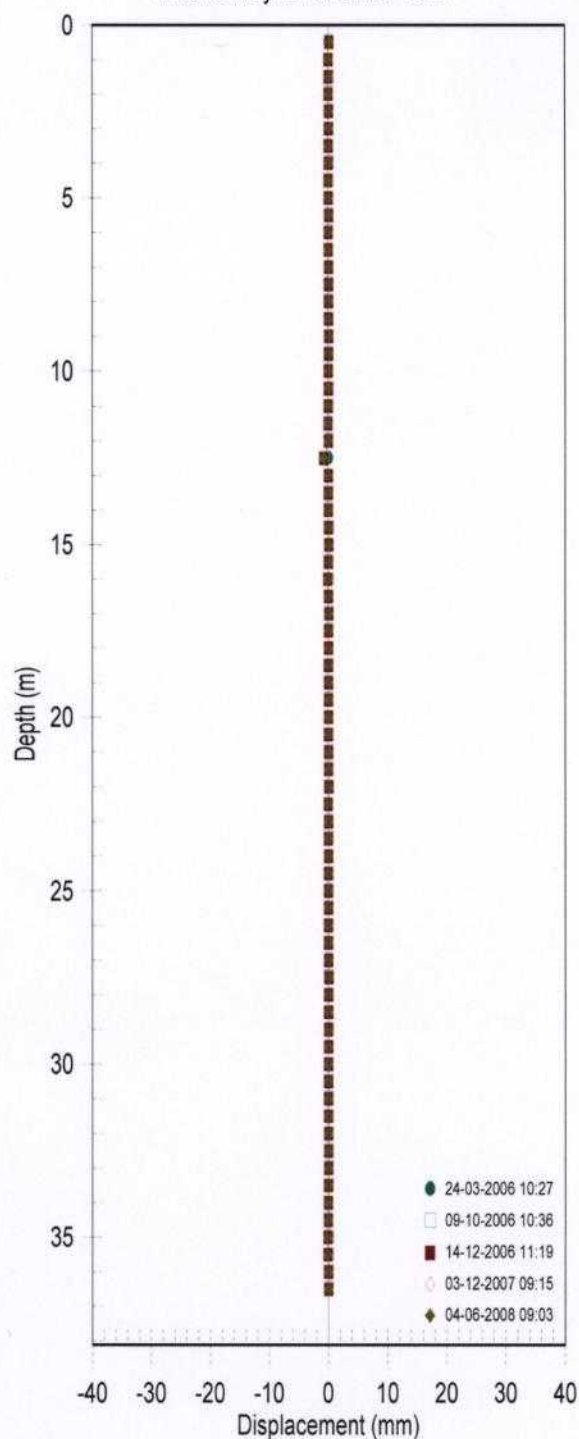
BCLINC:I 1 - A Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 10:27



BCLINC:I 1 - B Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 10:27



PROJECT:

SITE: Barragem do Cerro do Lobo

INSTALLATION: Inclínómetro 1

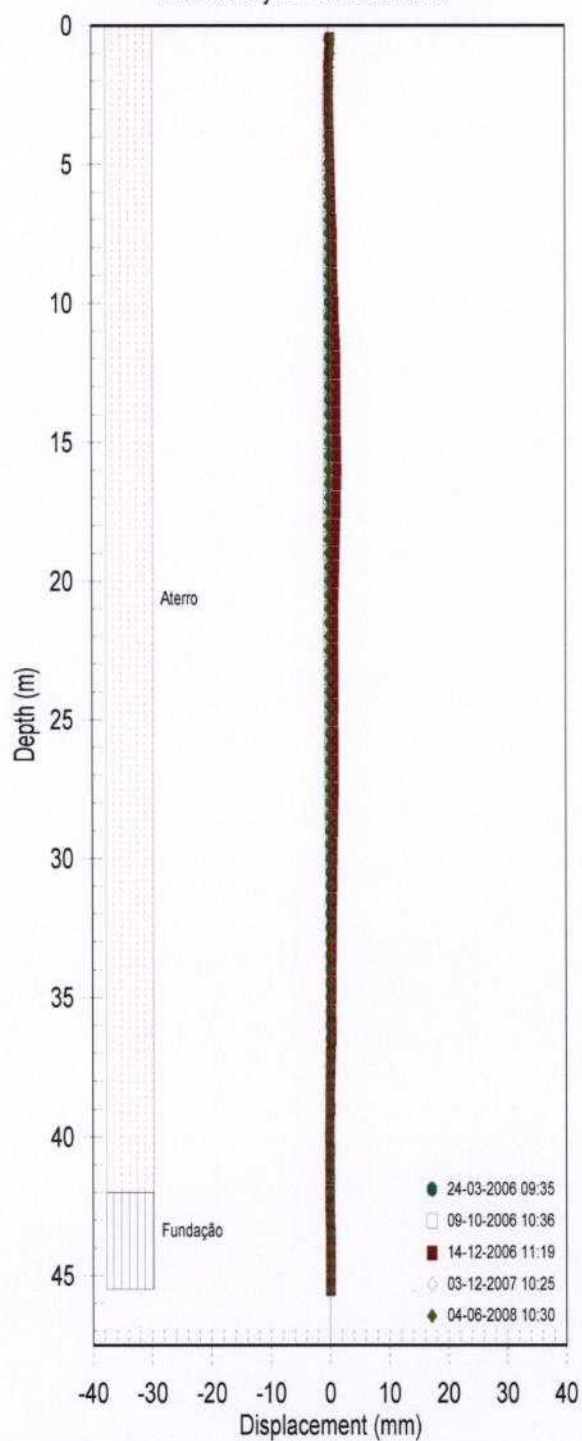
COMPANY: SOMINCOR

CLIENT:

NOTE:

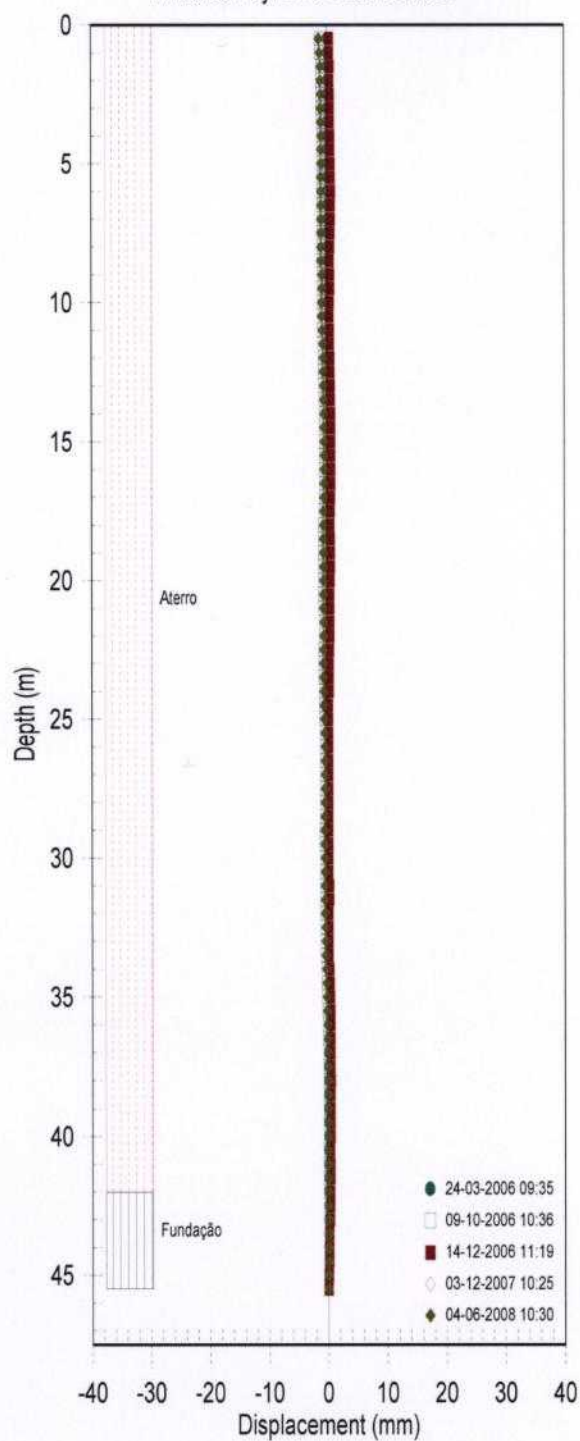
BCLINC:I 2 - A Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 09:35



BCLINC:I 2 - B Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 09:35



PROJECT:

SITE:

INSTALLATION:

COMPANY:

CLIENT:

NOTE:

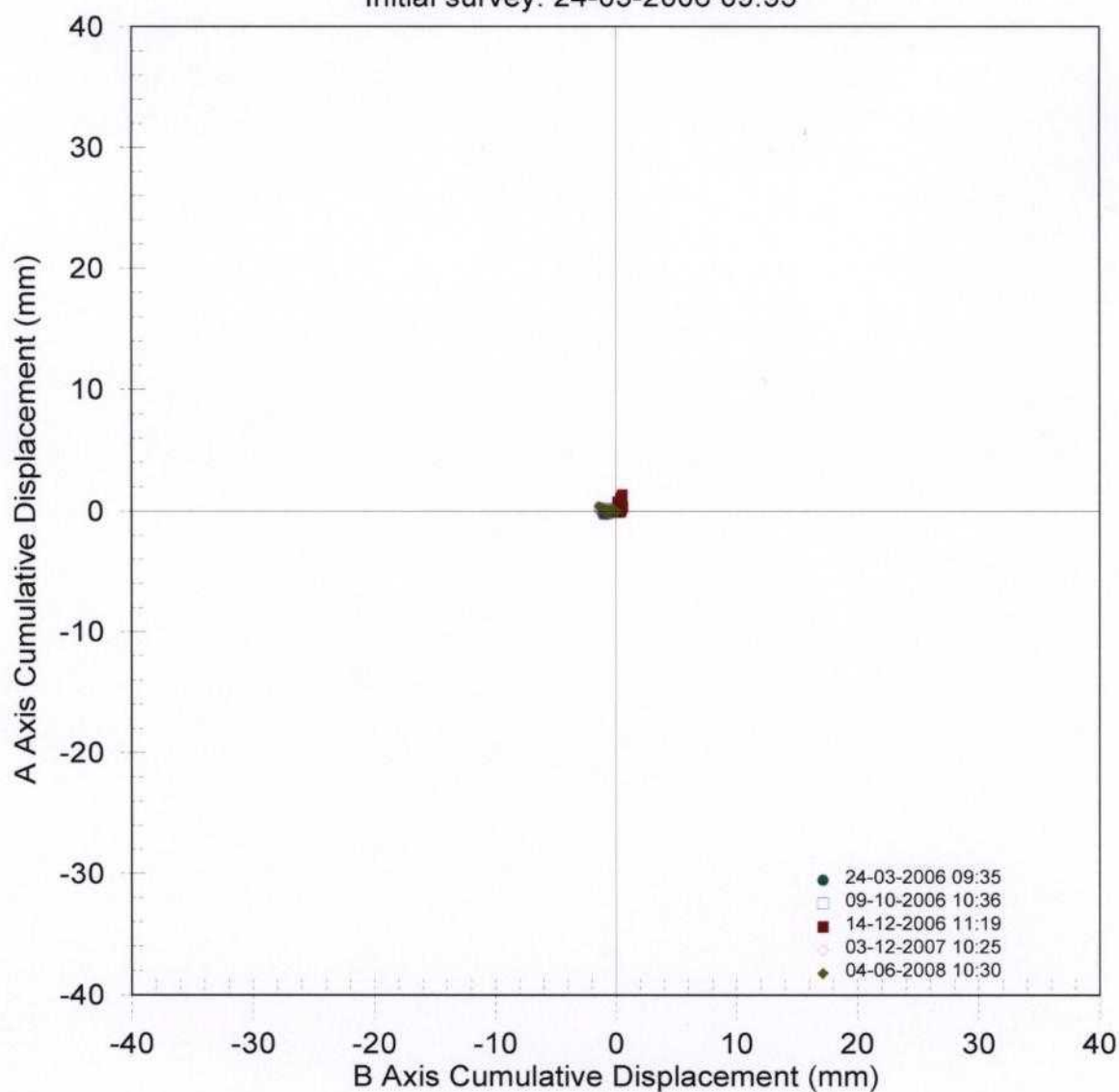
Barragem do Cerro do Lobo

Inclinómetro 2

SOMINCOR

BCLINC:I 2 - A Axis vs B Axis

Initial survey: 24-03-2006 09:35



PROJECT:

SITE: Barragem do Cerro do Lobo

INSTALLATION: Inclínómetro 2

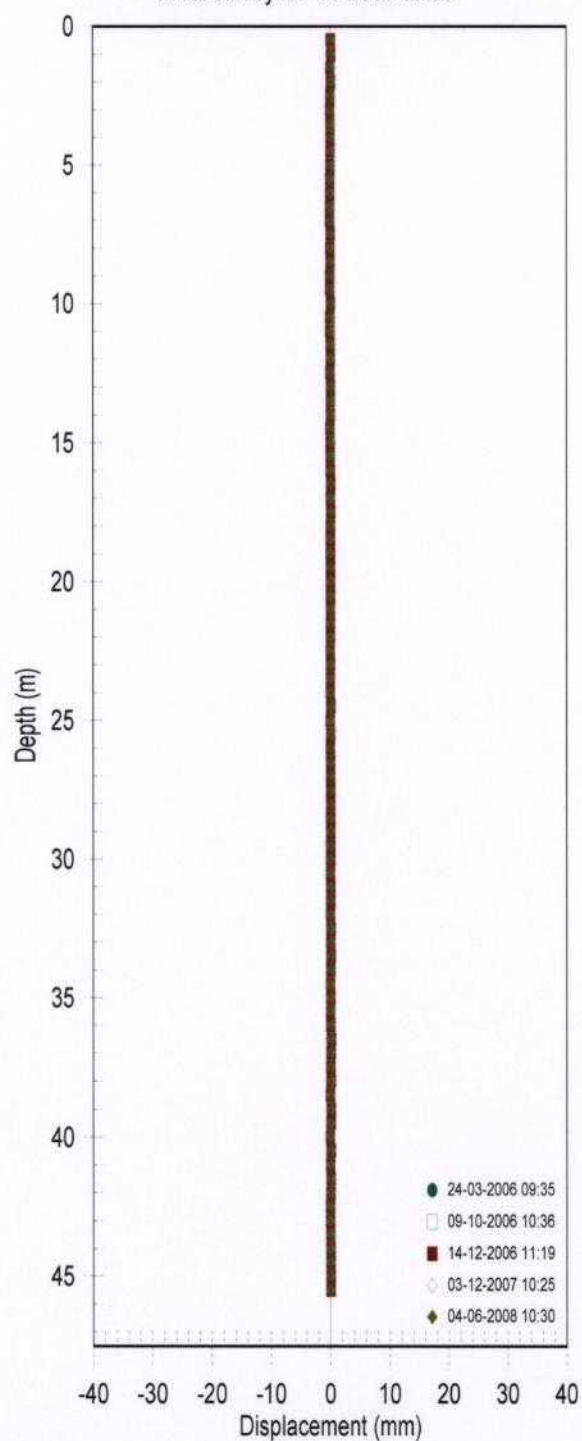
COMPANY: SOMINCOR

CLIENT:

NOTE:

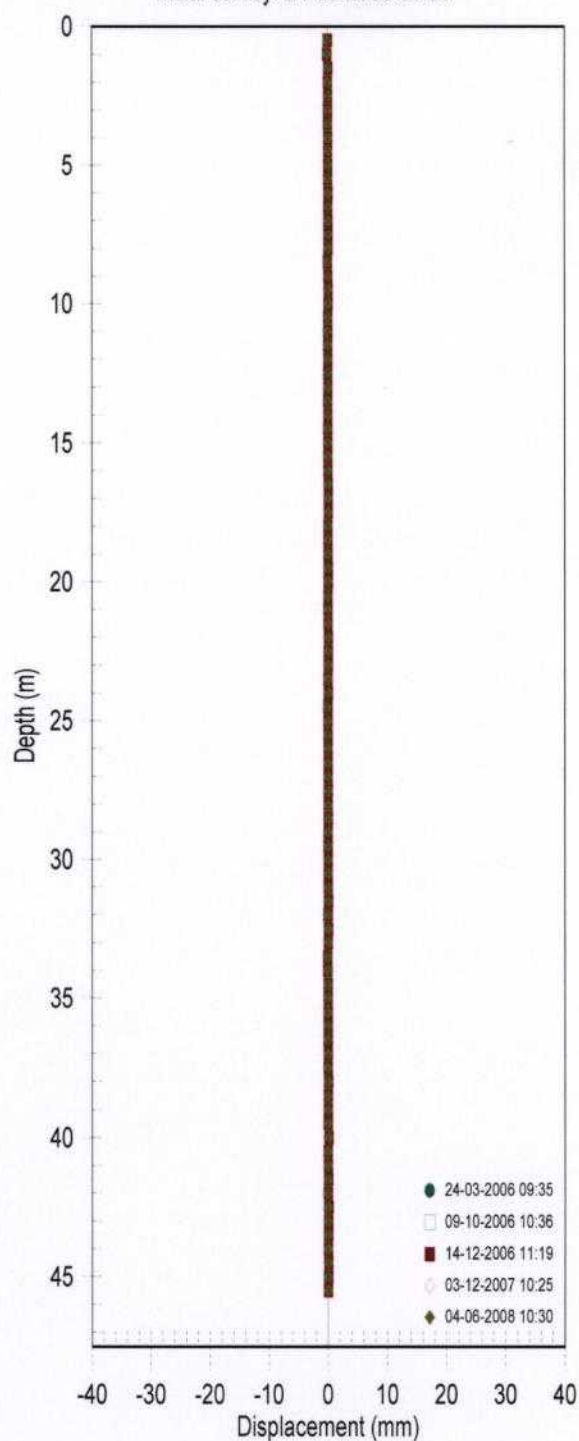
BCLINC:I 2 - A Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 09:35



BCLINC:I 2 - B Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 09:35



PROJECT:

SITE: Barragem do Cerro do Lobo

INSTALLATION: Inclínómetro 2

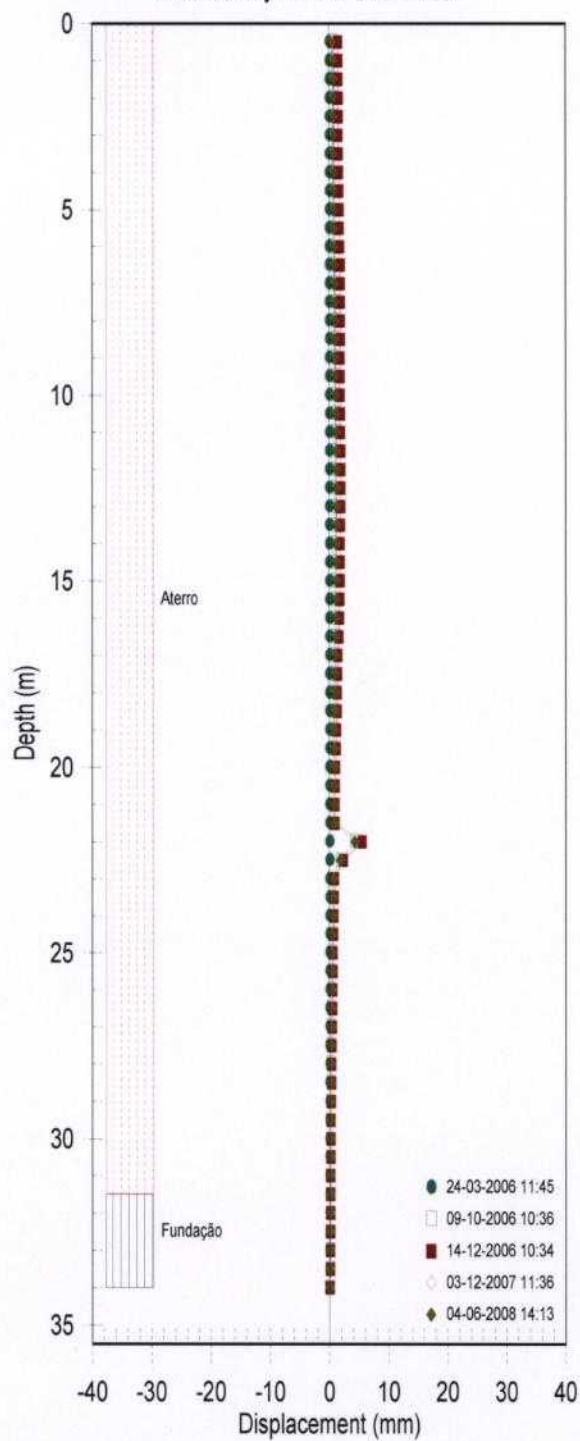
COMPANY: SOMINCOR

CLIENT:

NOTE:

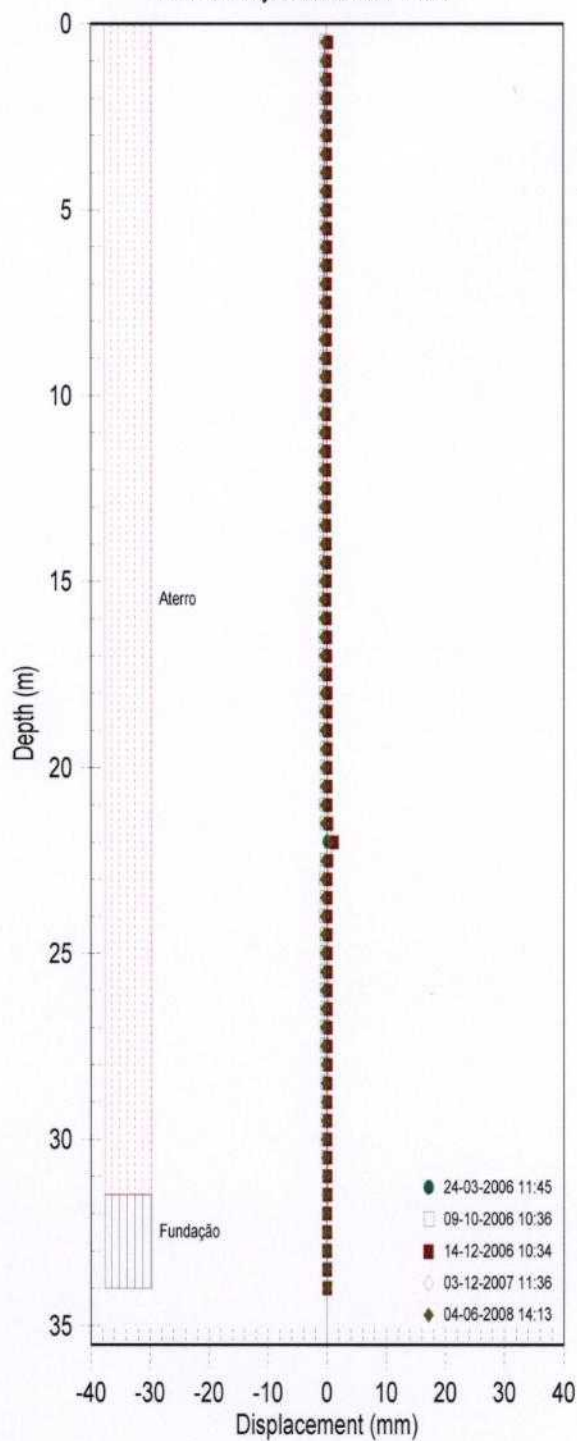
BCLINC:I 3 - A Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 11:45



BCLINC:I 3 - B Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 11:45



PROJECT:

SITE: Barragem do Cerro do Lobo

INSTALLATION: Inclínometro 3

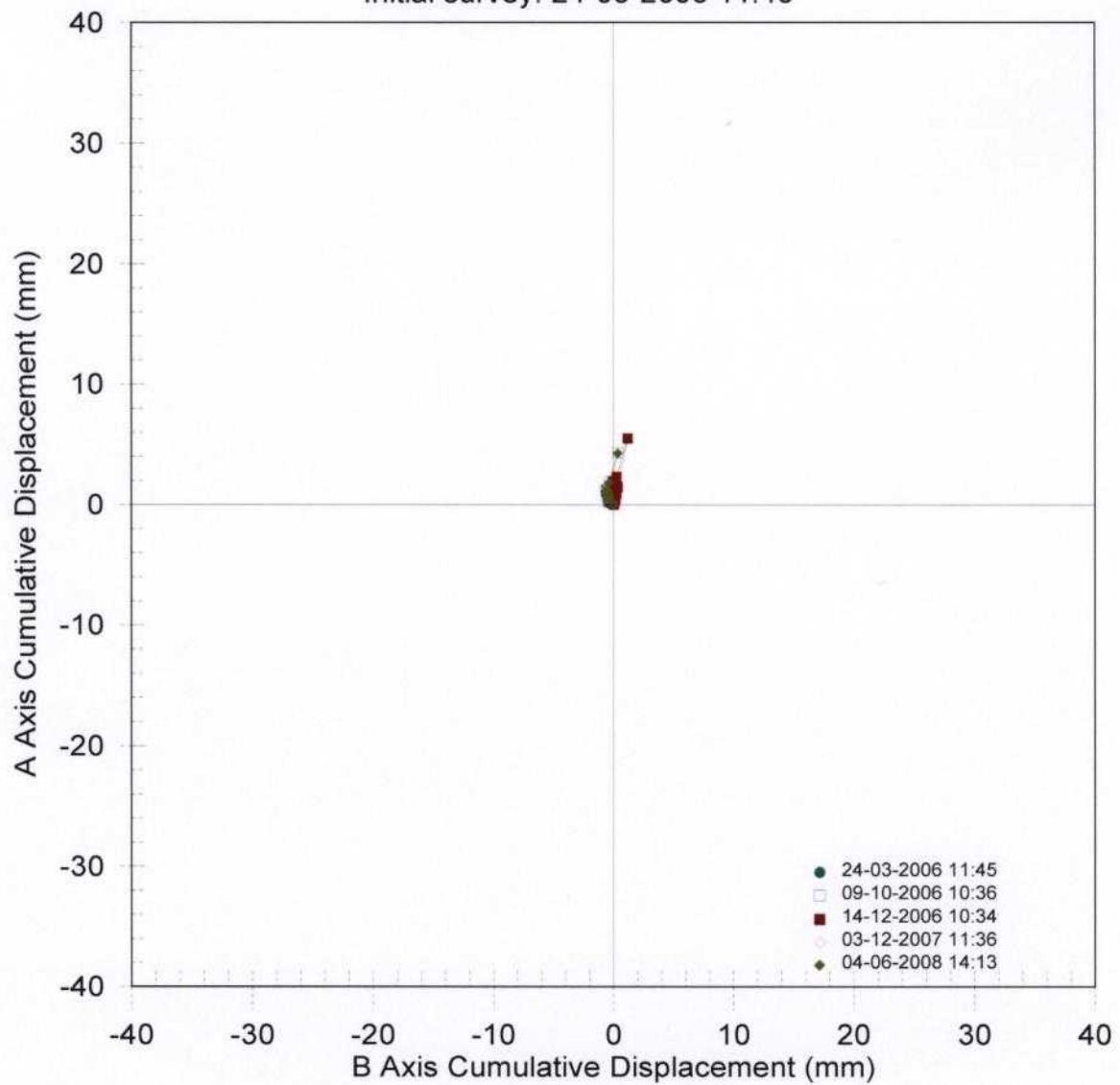
COMPANY: SOMINCOR

CLIENT:

NOTE:

BCLINC:I 3 - A Axis vs B Axis

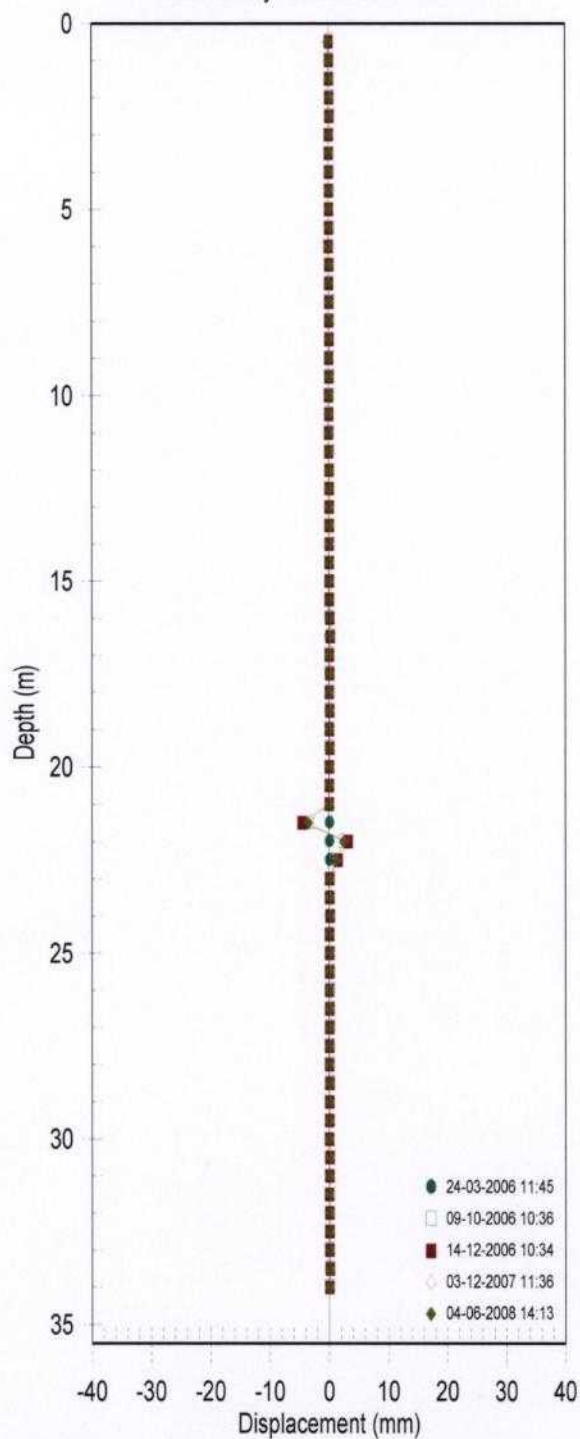
Initial survey: 24-03-2006 11:45



PROJECT:
SITE: Barragem do Cerro do Lobo
INSTALLATION: Inclínómetro 3
COMPANY: SOMINCOR
CLIENT:
NOTE:

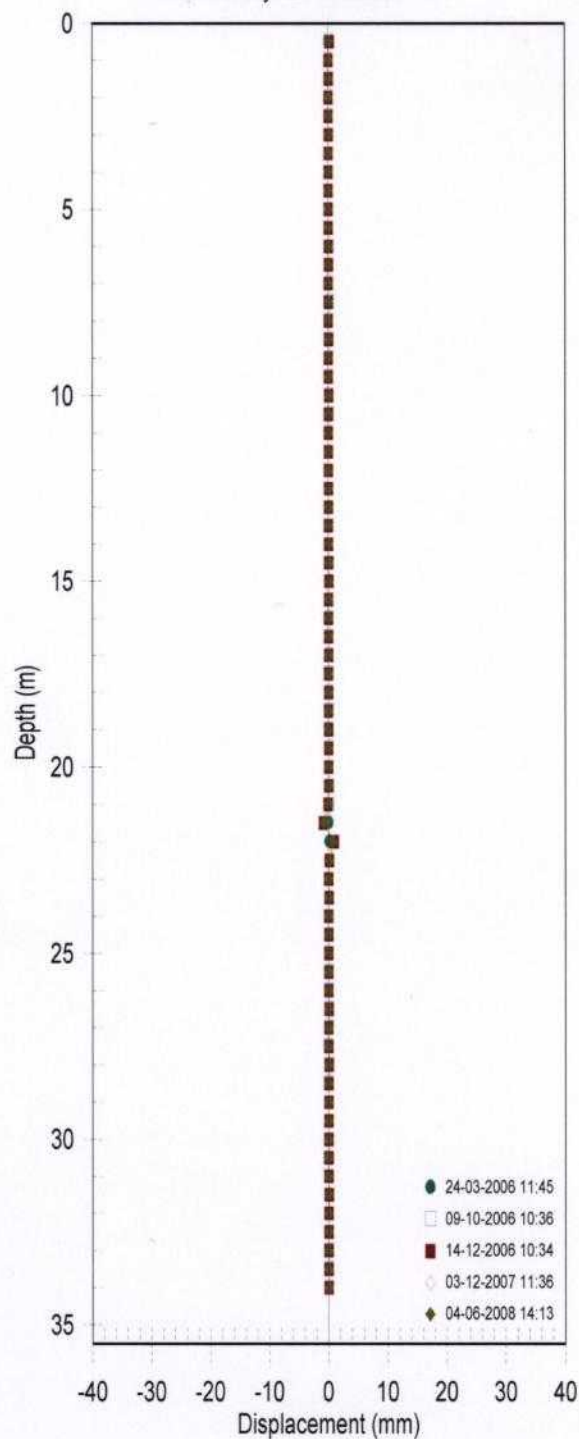
BCLINC:I 3 - A Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 11:45



BCLINC:I 3 - B Axis Incremental

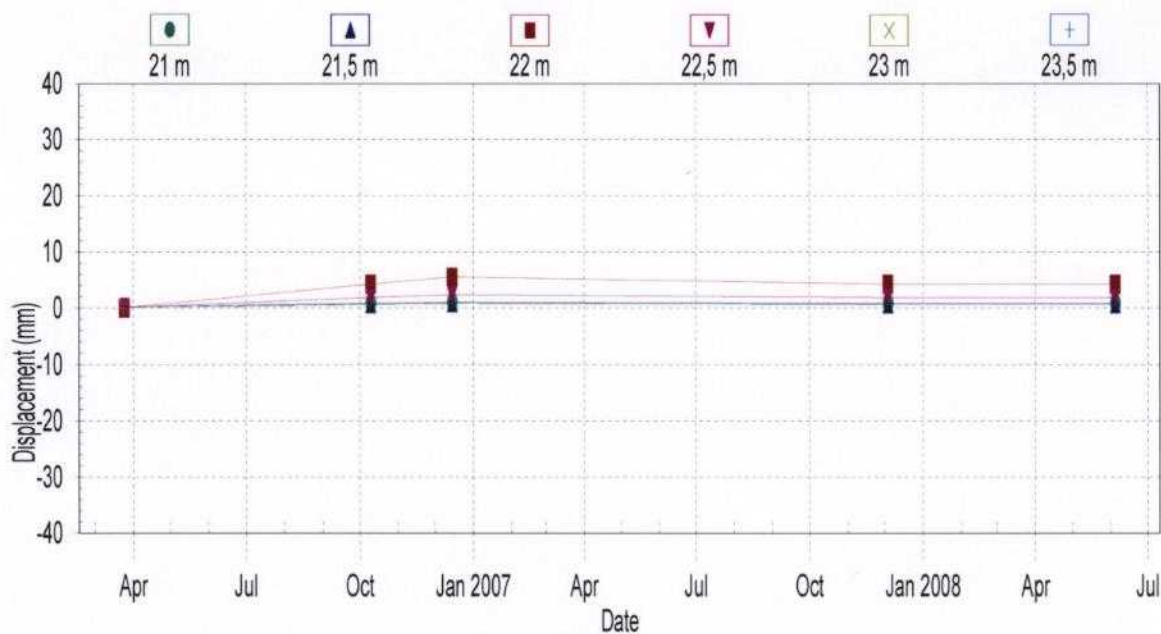
Initial survey: 24-03-2006 11:45



PROJECT:
 SITE: Barragem do Cerro do Lobo
 INSTALLATION: Inclínómetro 3
 COMPANY: SOMINCOR
 CLIENT:
 NOTE:

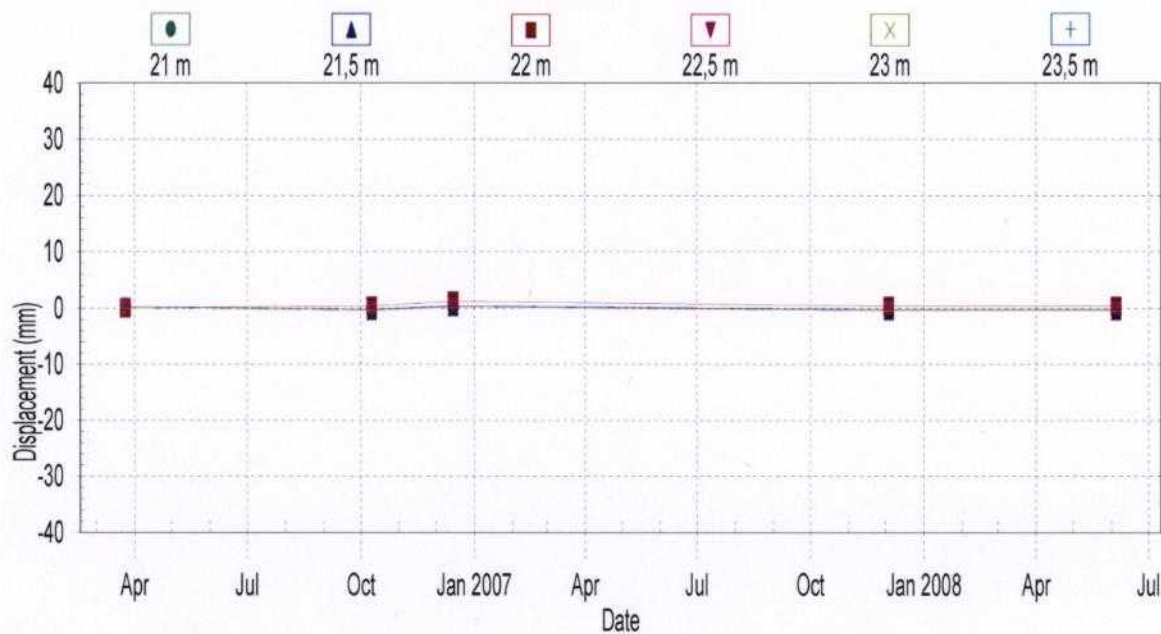
Deflection at Depths - BCLINC:I 3 - A Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 11:45



Deflection at Depths - BCLINC:I 3 - B Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 11:45



PROJECT:

SITE:

INSTALLATION:

COMPANY:

CLIENT:

NOTE:

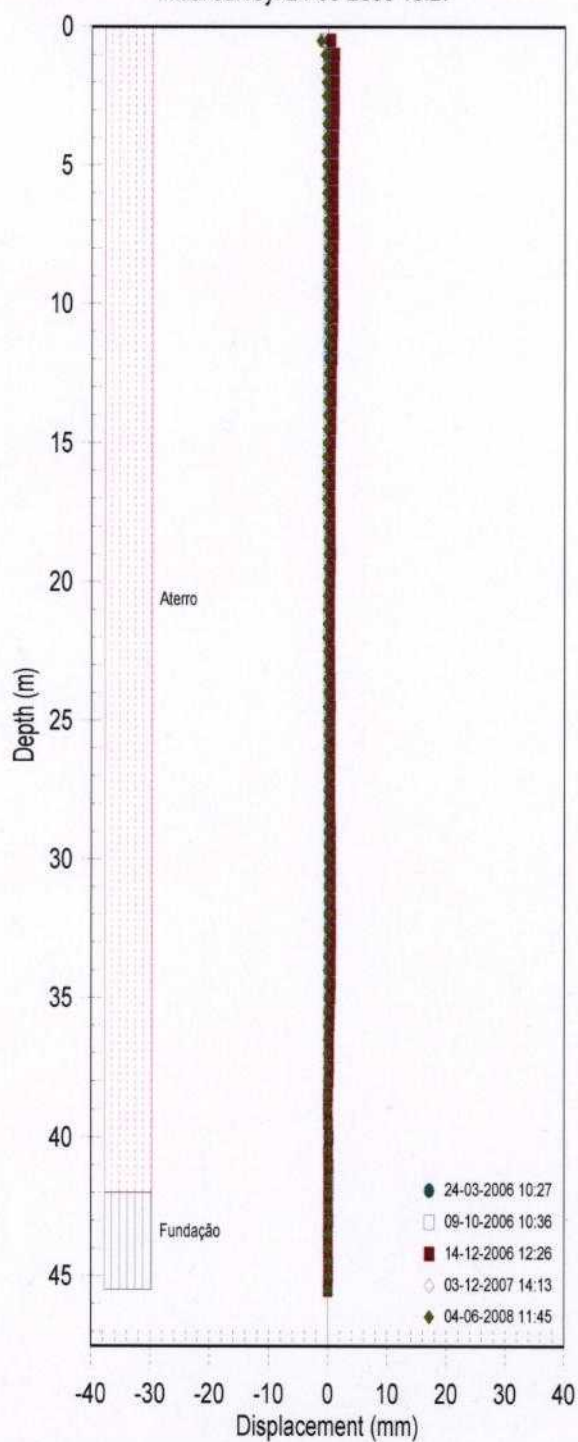
Barragem do Cerro do Lobo

Inclinómetro 3

SOMINCOR

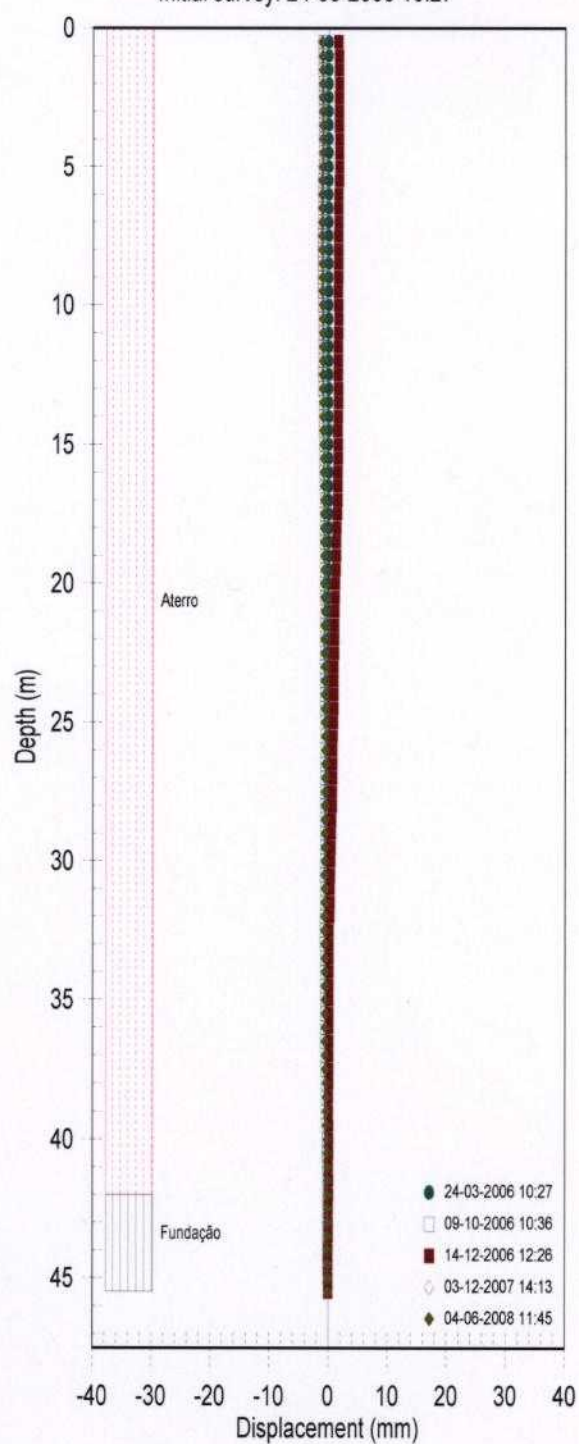
BCLINC:I4 - A Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 10:27



BCLINC:I4 - B Axis Cumulative

Initial survey: 24-03-2006 10:27



PROJECT:

SITE:

INSTALLATION:

COMPANY:

CLIENT:

NOTE:

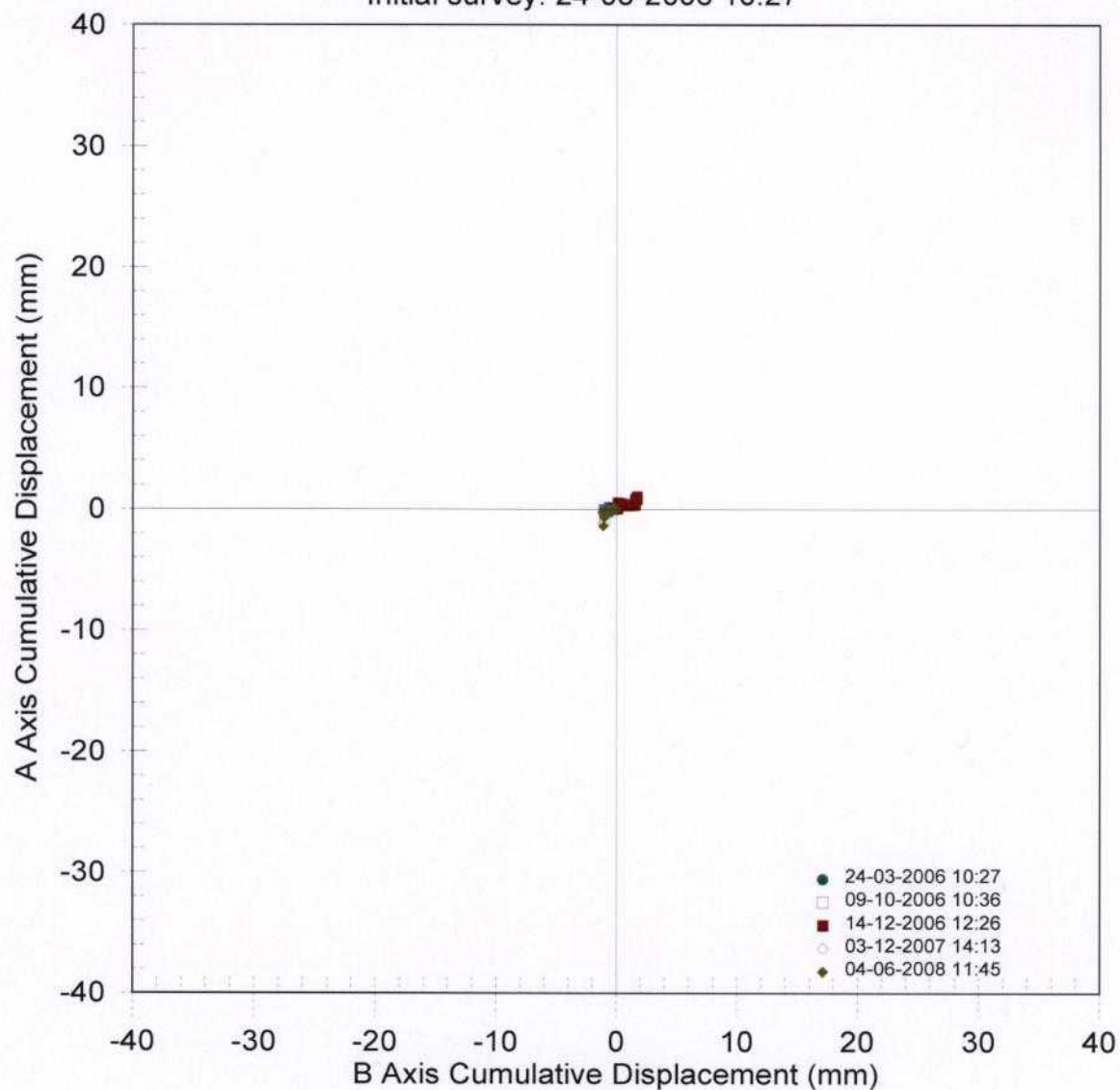
Barragem do Cerro do Lobo

Inclinómetro 4

SOMINCOR

BCLINC:I4 - A Axis vs B Axis

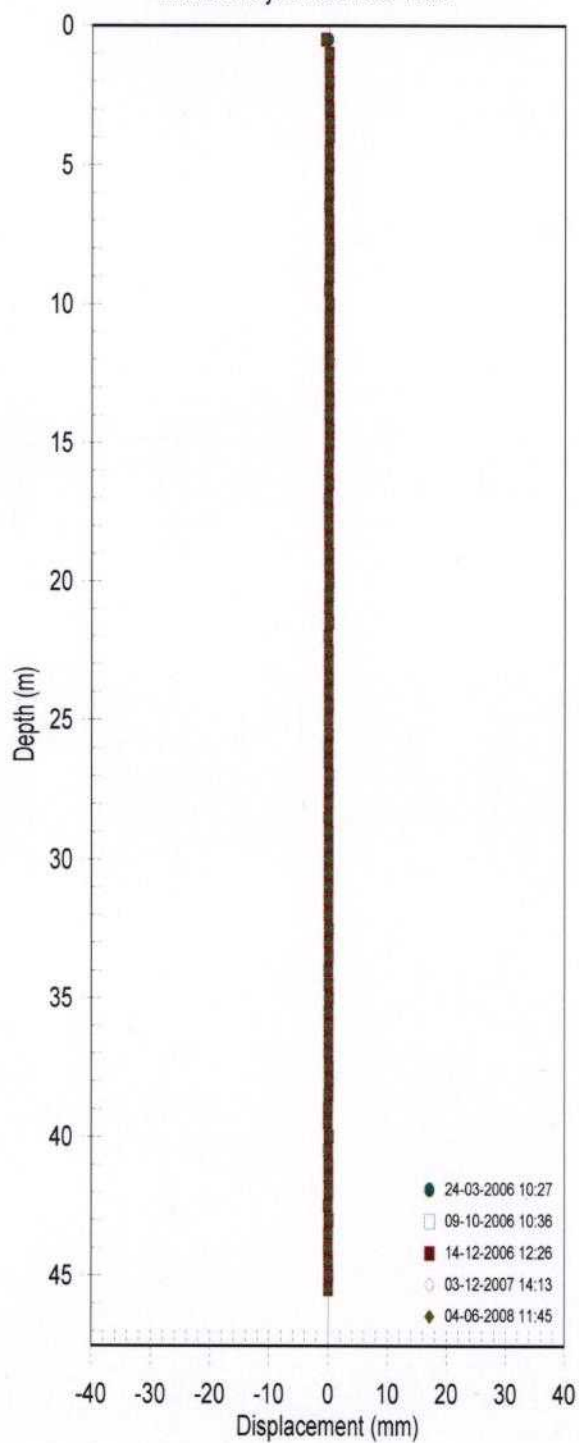
Initial survey: 24-03-2006 10:27



PROJECT:
SITE: Barragem do Cerro do Lobo
INSTALLATION: Inclínómetro 4
COMPANY: SOMINCOR
CLIENT:
NOTE:

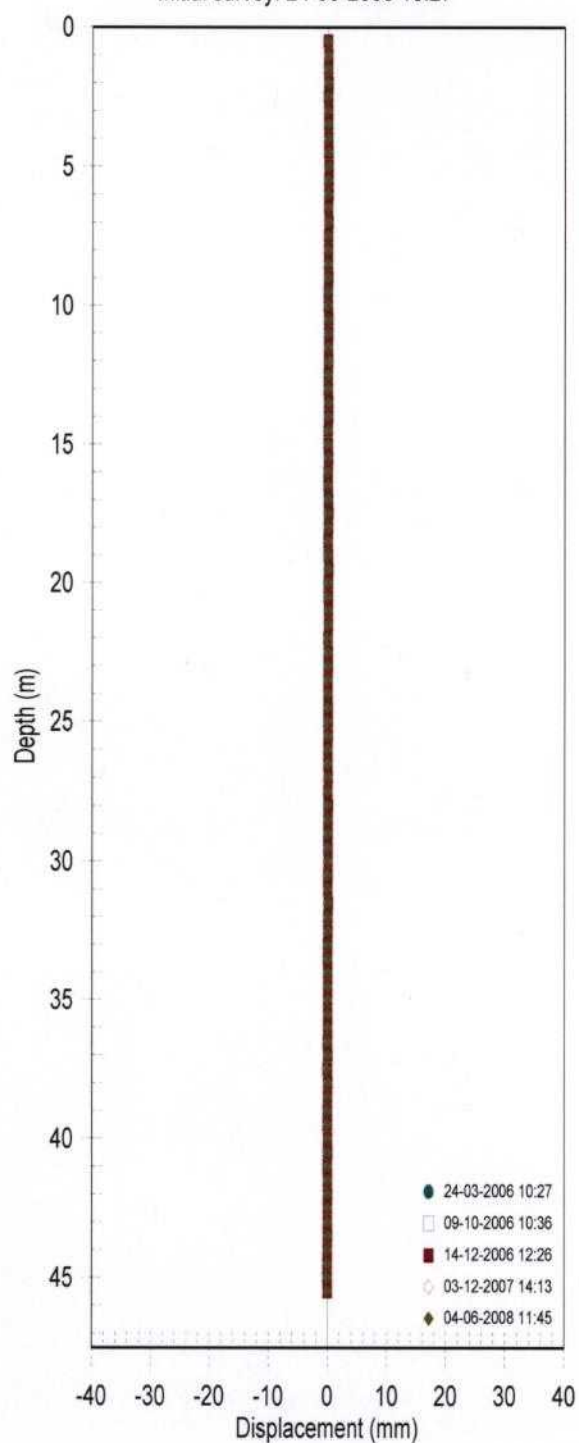
BCLINC:I4 - A Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 10:27



BCLINC:I4 - B Axis Incremental

Initial survey: 24-03-2006 10:27



PROJECT:

SITE: Barragem do Cerro do Lobo

INSTALLATION: Inclínómetro 4

COMPANY: SOMINCOR

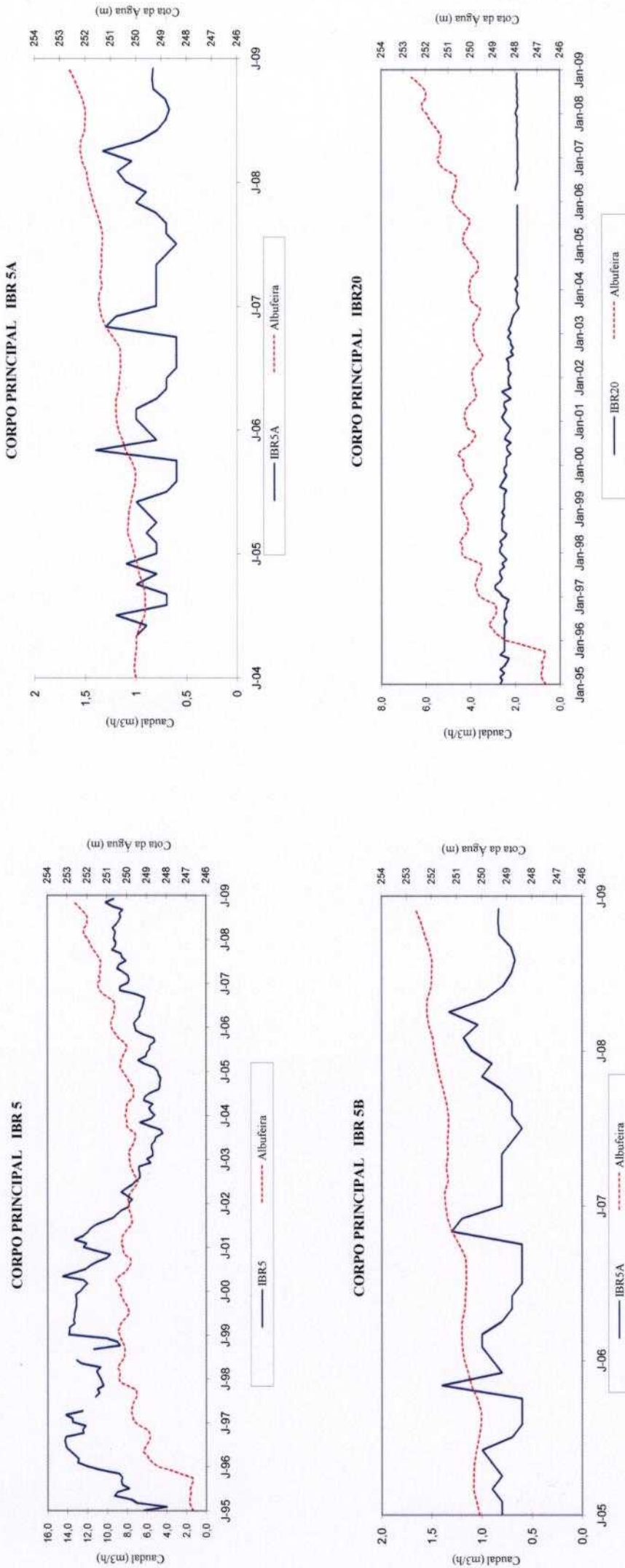
CLIENT:

NOTE:

ANEXO 7

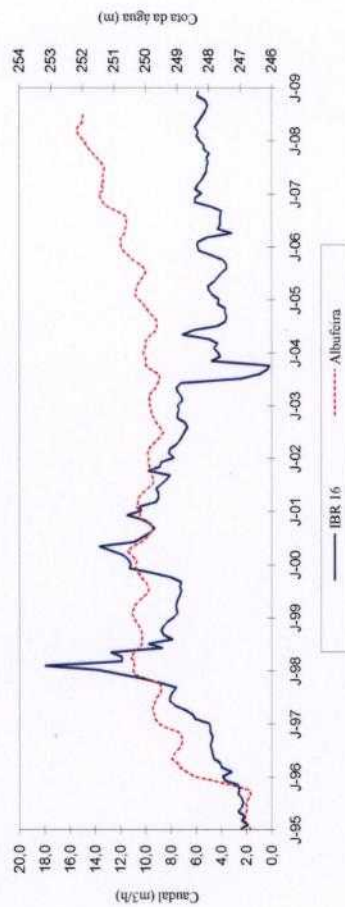
Caudais de percolação (Poços IBR)

BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
CORPO PRINCIPAL
Caudais Médios Mensais das Infiltrações: 1995-2008

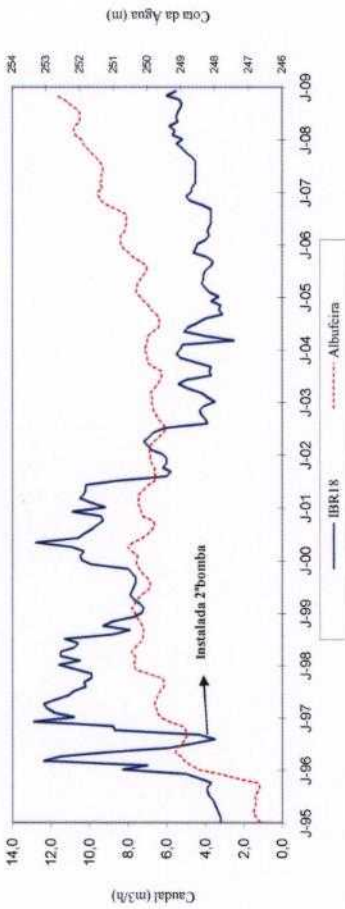


BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
CORPO PRINCIPAL
Caudais Médios Mensais das Infiltrações: 1995-2008

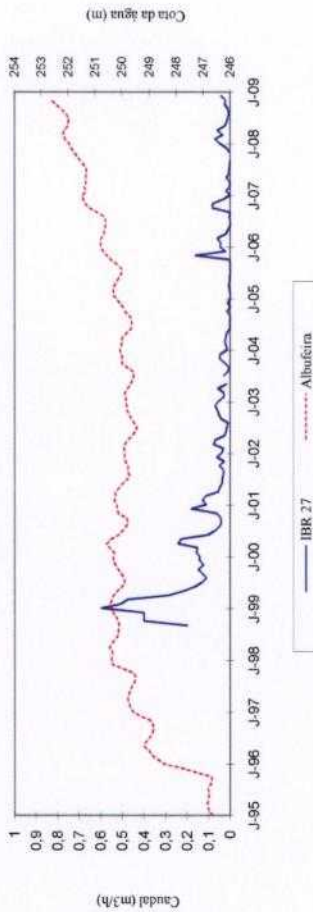
CORPO PRINCIPAL IBR 16



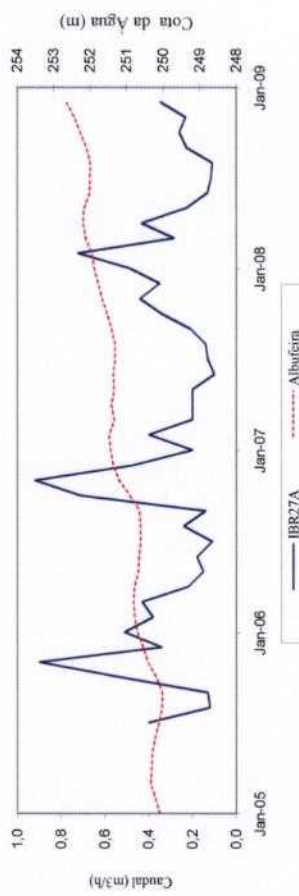
CORPO PRINCIPAL IBR 18



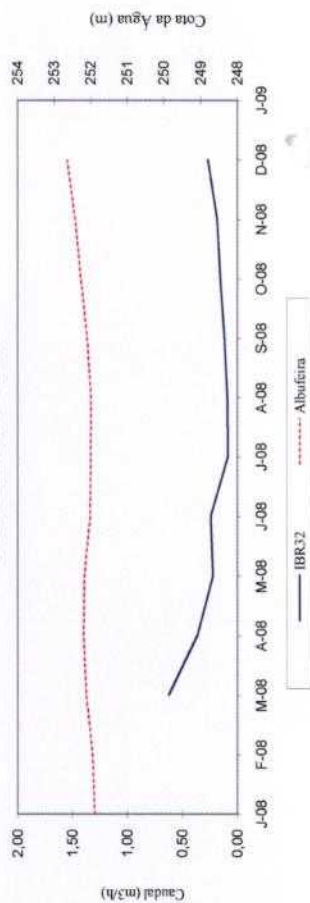
CORPO PRINCIPAL IBR 27



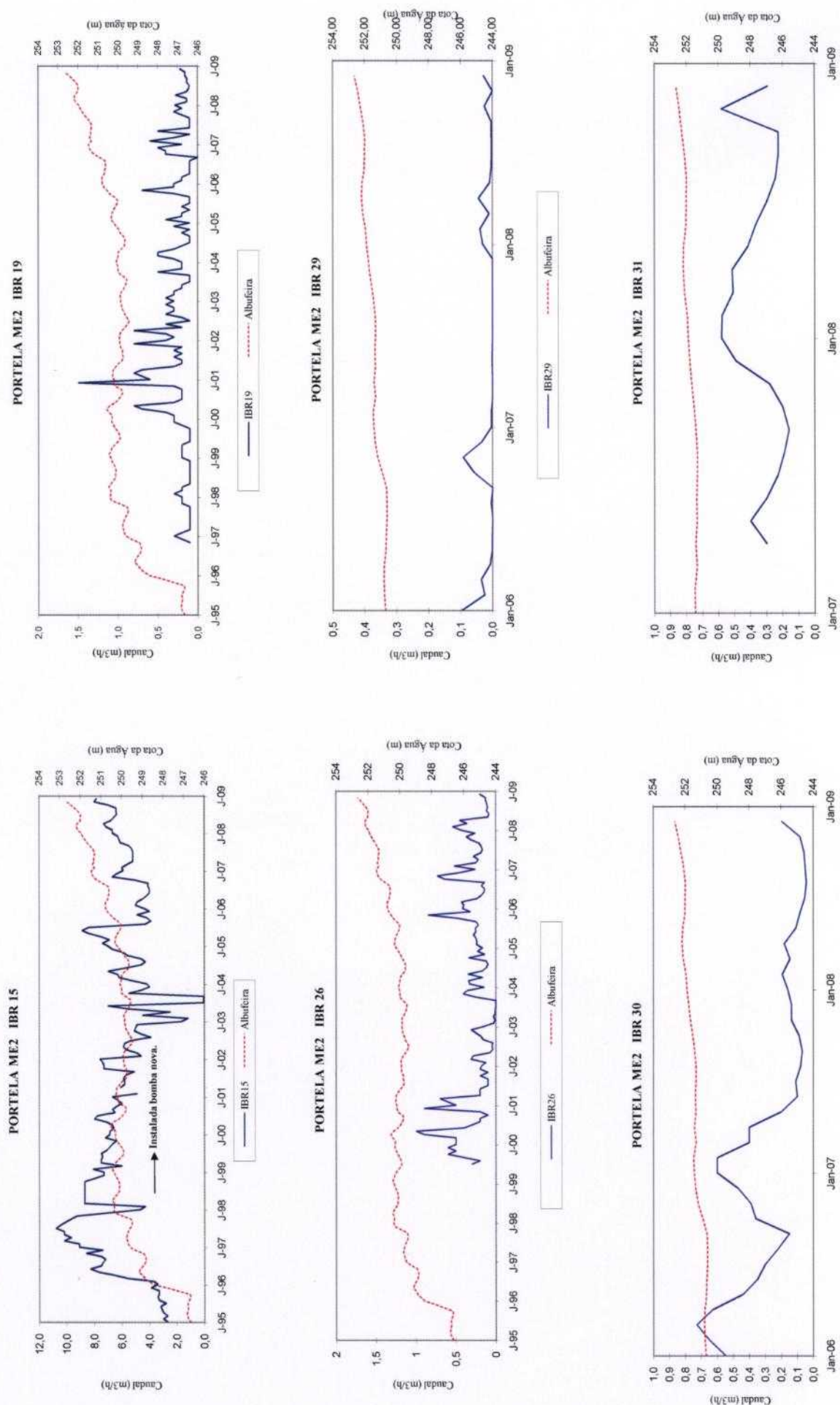
CORPO PRINCIPAL IBR 27A



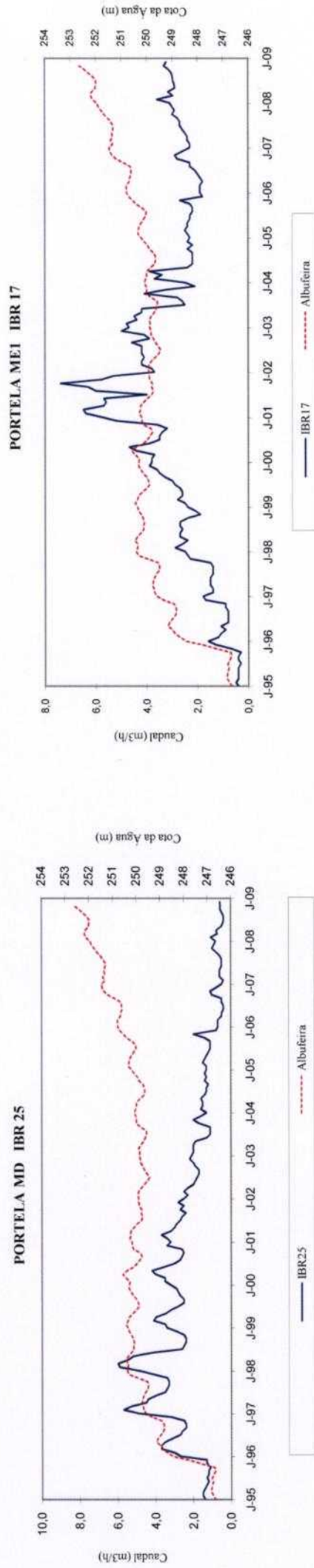
CORPO PRINCIPAL IBR 32



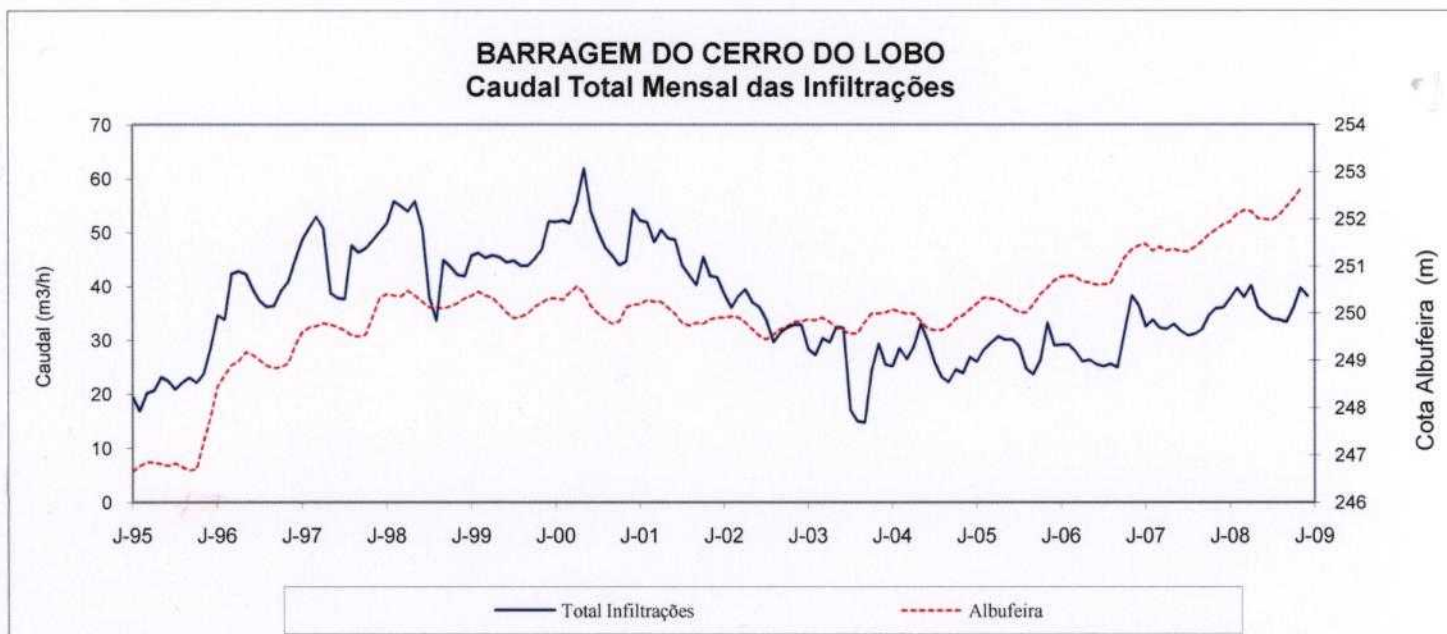
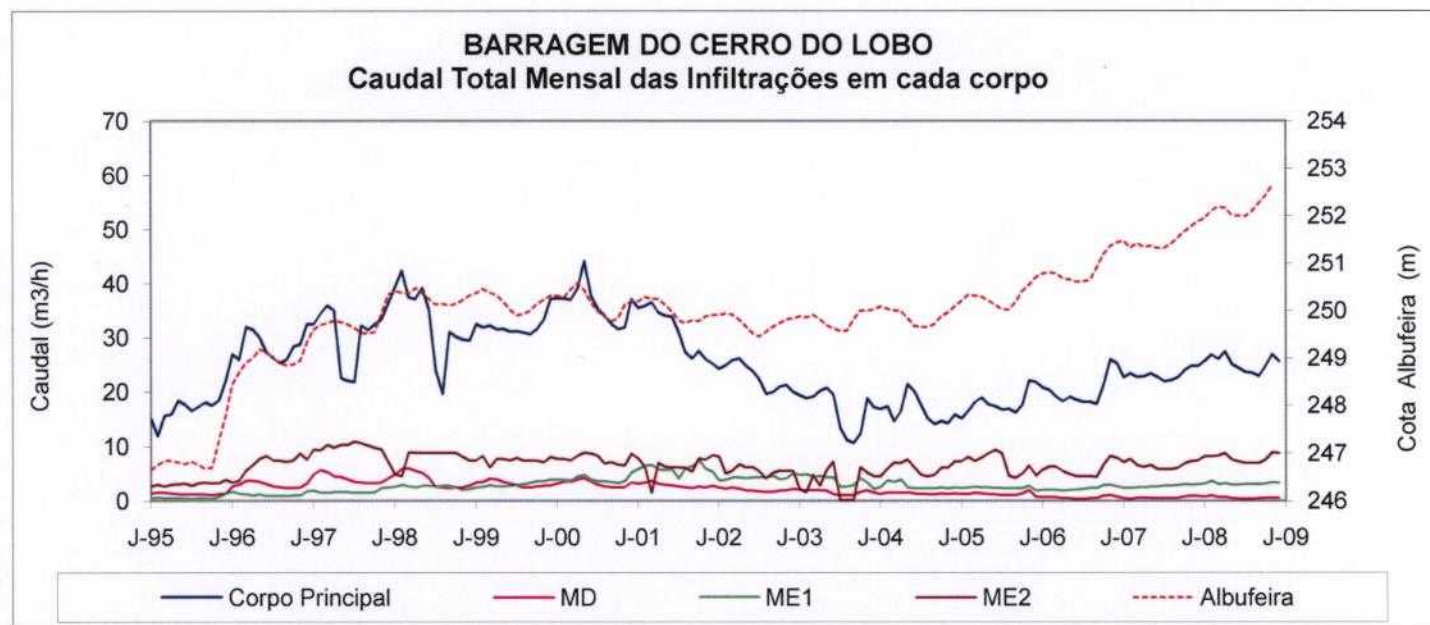
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
PORTELA ME2
 Caudais Médios Mensais das Infiltrações: 1995-2008



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
PORTELA ME1 e PORTELA MD
Caudais Médios Mensais das Infiltrações: 1995-2008

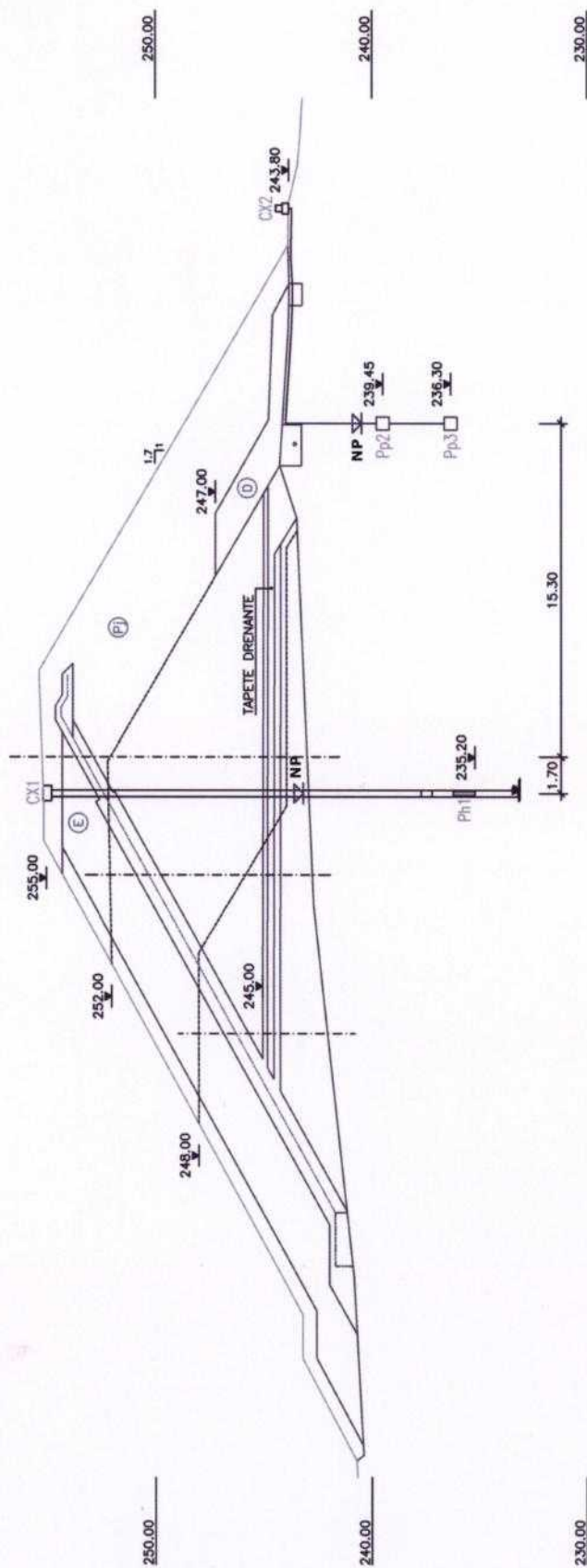


BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
Análise dos Caudais das Infiltrações : 1995 - 2008



ANEXO 8

Perfis de observação com representação dos Níveis
Piezométricos (NP) nos Piezómetros



NOTAS:
 - Os caminhos dos tubos dos piezômetros pneumáticos nos alicerces das fases anteriores de construção são trocados a título indicativo
 - Designação anterior: Perfil 32

CAIXA	POSICÃO AO EIXO	APARELHO
CX1	PK 0+190	Ph1
CX2	PK 0+200	Pp2 E Pp3

SOMINOR
 Engenharia e Arquitetura

BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO

Observação: FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTIMETRIA PARA A COTA 255

ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Lda

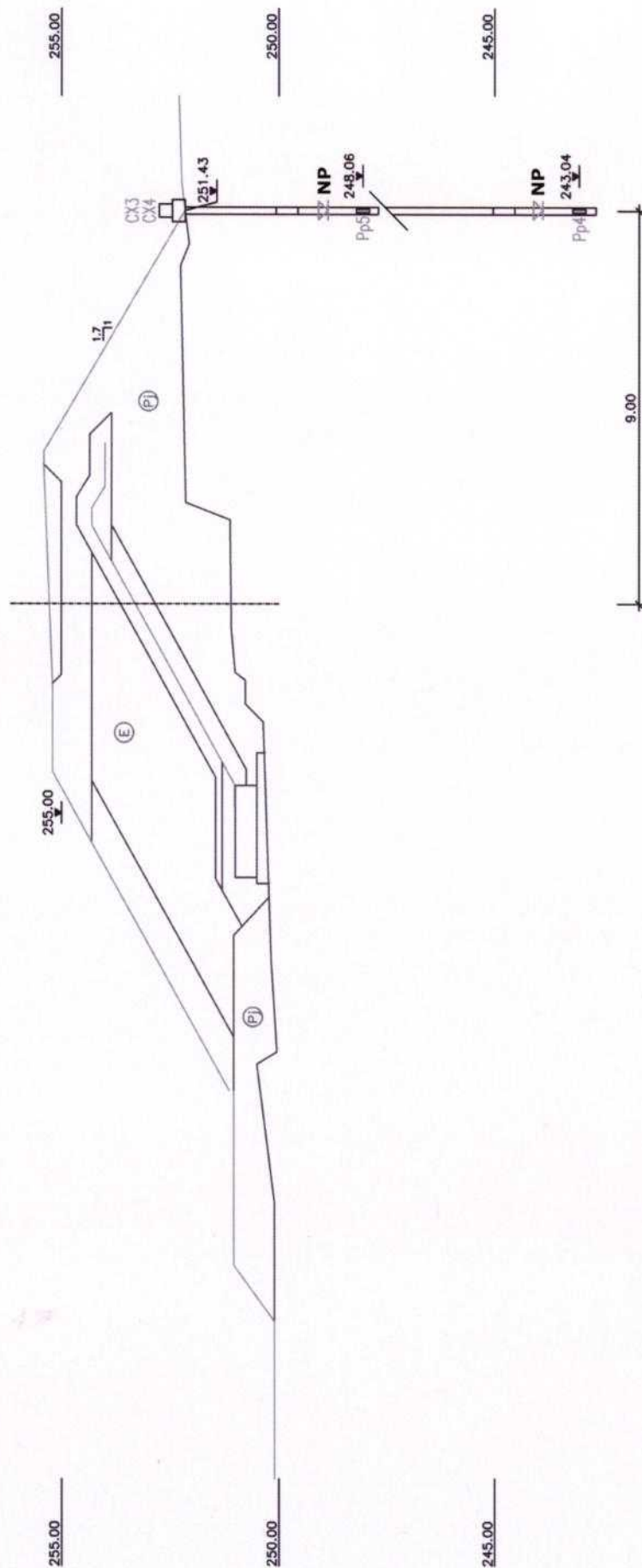
55.459.01/169

23

Propriedades		Observações	
Argila	82.2%		
Areia	17.8%		
Unidade	181.10		
Unidade	181.10		
Unidade	181.10		
Unidade	181.10		

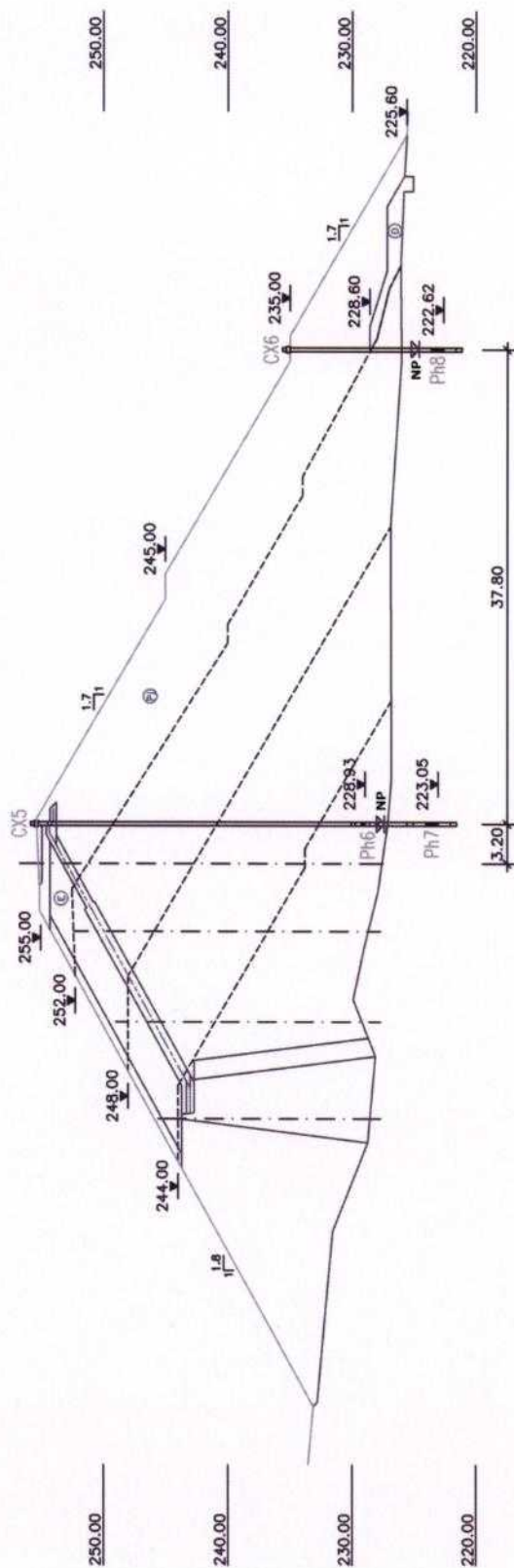
1/200

OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM
 PORTELA MID
 PERFIL PO1 - PK 0+190



CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX3	PK 0+496	Pp4
CX4	PK 0+497	Pp5

SOMINCOR Engenharia e Construção Civil	BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO		
	4ª FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 255		ENGENHARIA GEOTÉCNICA, LDA
Proprietário Construtor Executor Emissor	02/05/08 02/05/08 02/05/08	55.459.01/170 2551 0000	24
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM CORPO PRINCIPAL PERFIL P02 - PK 0+497			1/100

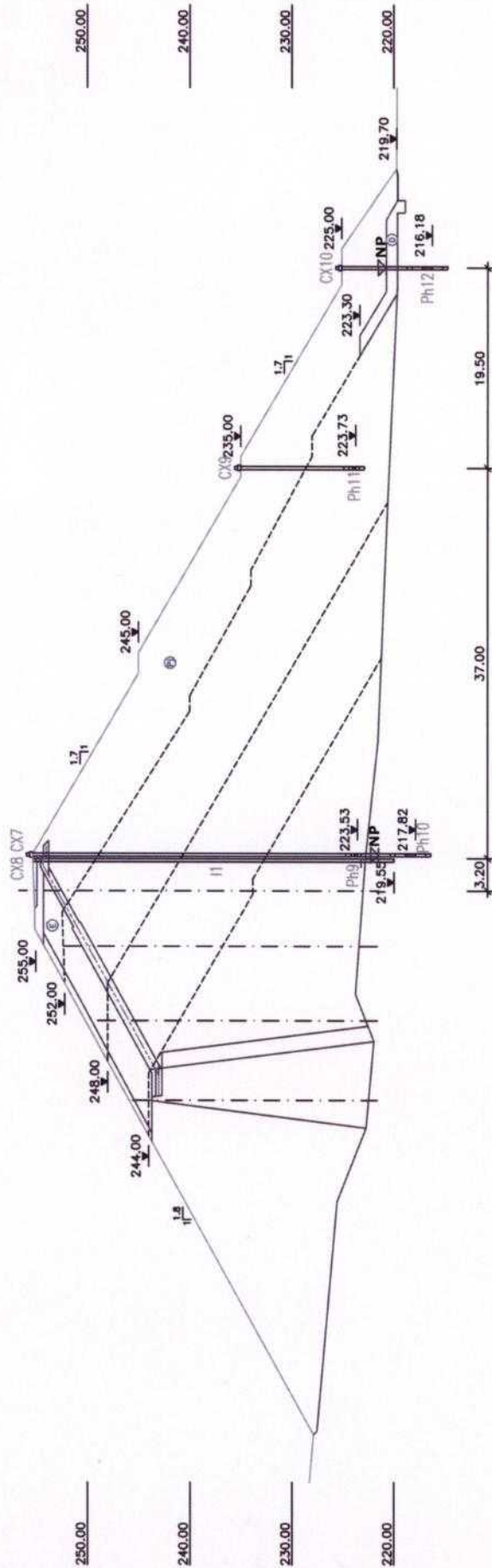


NOTAS:

- Neste Desenho estão indicadas as cotas da base das ponteiros dos piezômetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório relatório final de construção;
- Quadro 6.3.1. Relatório n°1
- Quadro 6.3.2. Relatório n°2
- Designação anterior: Perfil 28A

CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX5	PK 0+750	Ph6 e Ph7
CX6	PK 0+748	Ph8

 BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO		 ENGENHARIA GEOTECNICA, LDA	
6ª FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 155		55.459.01/171	
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM CORPO PRINCIPAL PERFIL P03 - PK 0+750		25	
1/400		0000	

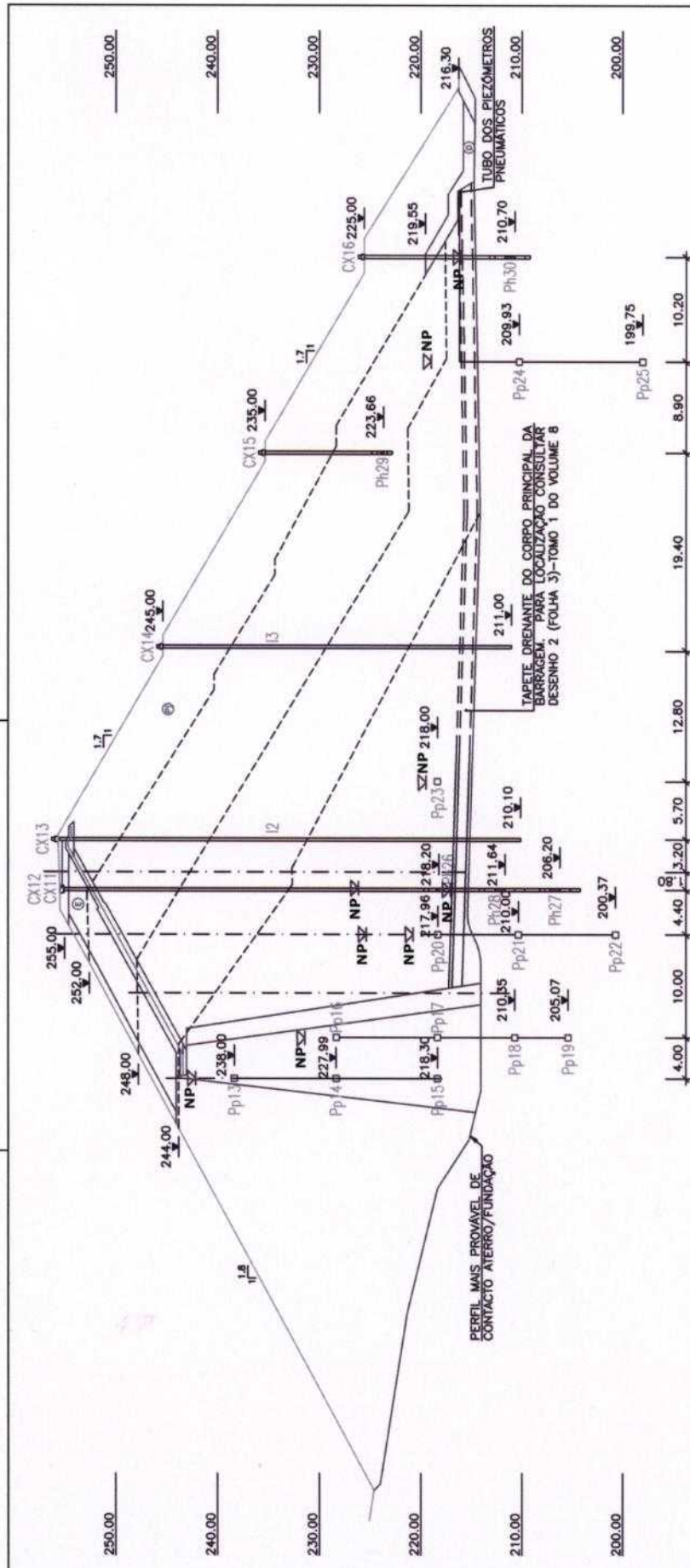


NOTAS:

- Neste Desenho estão indicadas as cotas da base das pontas dos piezômetros e da base das inclinomêtras. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório final de construção.
- Quadro 6.2.1. Relatório nº1
- Quadro 6.3.3. Relatório nº3
- Quadro 6.3.4. Relatório nº4
- Quadro 6.3.5. Relatório nº5
- Designação anterior: Perfil 28

CAIXA	POSICÃO AO EIXO	APARELHO
CX7	PK 0+795	Ph9 e Ph10
CX8	PK 0+805	I1
CX9	PK 0+794	Ph11
CX10	PK 0+795	Ph12

 SOMINOR Engenharia e Construção		 Engenheiros Engenharia Geotécnica, Lda	
Obra: Barragem de Rejeitados do Cerro do Lobo		Nº de Projeto: 55.459.01/172	
Observação da Barragem Corpo Principal		Nº de Folha: 26	
Perfil PO4 - PK 0+795		Data: 25/03/2000	
Escala: 1:400		Data: 00/00	



CAIXA	POSICÃO AO EIXO	APARELHO
CX11	PK 0+854	Ph26 e Ph27
CX12	PK 0+865	Ph28
CX13	PK 0+850	I2
CX14	PK 0+850	I3
CX15	PK 0+854	Ph29
CX16	PK 0+854	Ph30

- NOTAS:
- Os caminhos das tubagens dos piezômetros pneumáticos nos alicerces das fases anteriores de construção são traçados a título indicativo
 - Neste Desenho estão indicadas as cotas da base das ponteiros dos piezômetros e da base dos inclinômetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório final de construção:
 - Quadro 6.2.2. Relatório n°2
 - Quadro 6.2.3. Relatório n°3
 - Quadro 6.3.6. Relatório n°6
 - Quadro 6.3.7. Relatório n°7
 - O tapete drenante que se indica neste desenho tem uma posição obliqua ao eixo da barragem, e situa-se à esquerda da antiga descarga de fundo
 - Designação anterior: 27 e 27A



BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO

FASE DA CONSTRUÇÃO: AUMENTO PARA A COTA 281

55.459.01/173

2584

0000

27

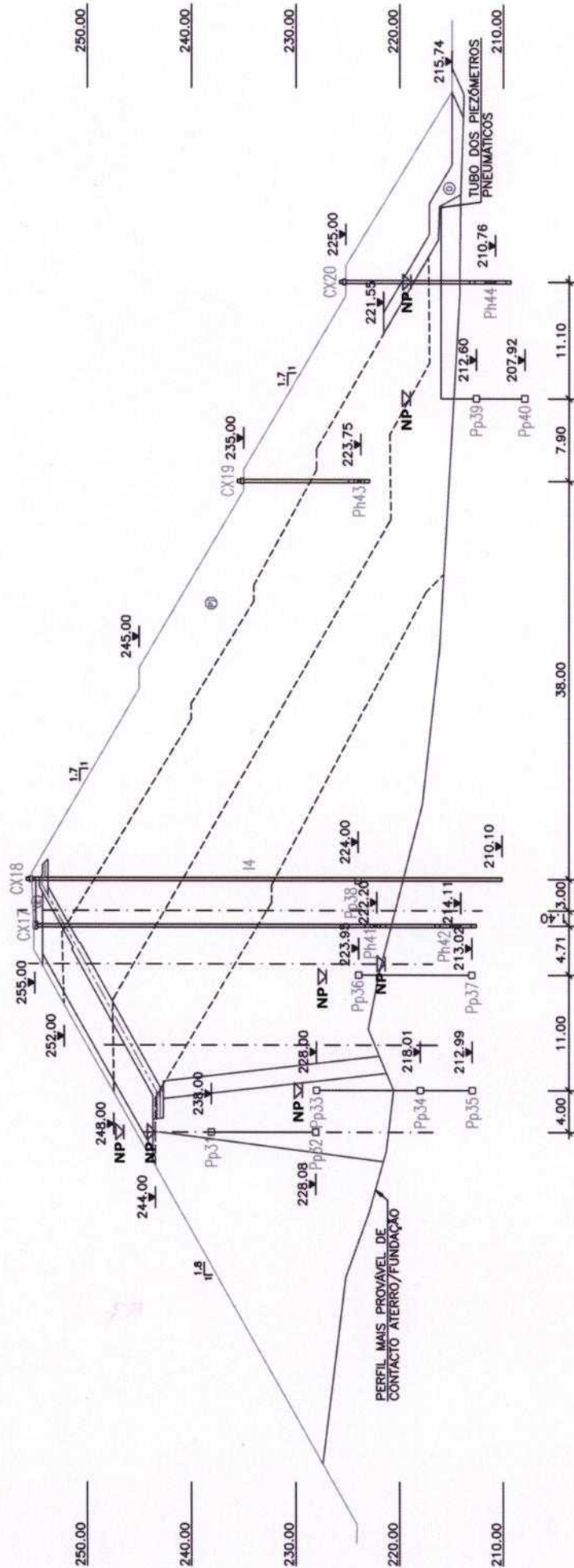
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM

CORPO PRINCIPAL

PERFIL POS - PK 0+854

1/1000

0000



NOTAS:

- Os caminhos dos tubagens dos piezômetros pneumáticos nos alicerces das fossas anteriores de construção são traçados a título indicativo
- Pp37 e Pp39 estão fora de serviço
- Neste Desenho estão indicados as cotas da base das ponteiros dos piezômetros e da base dos inclinômetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório final de construção.
- Quadro 6.2.4. Relatório nº4
- Quadro 6.3.8. Relatório nº8
- Quadro 6.3.9. Relatório nº9
- Designação anterior: 25B

CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX17	PK 0+910	Ph41 e Ph42
CX18	PK 0+905	I4
CX19	PK 0+910	Ph43
CX20	PK 0+910	Ph44

BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO

4ª FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 265

Engenharia Geotécnica, Lda

55.459.01/174

2585

0000

Observação da Barragem

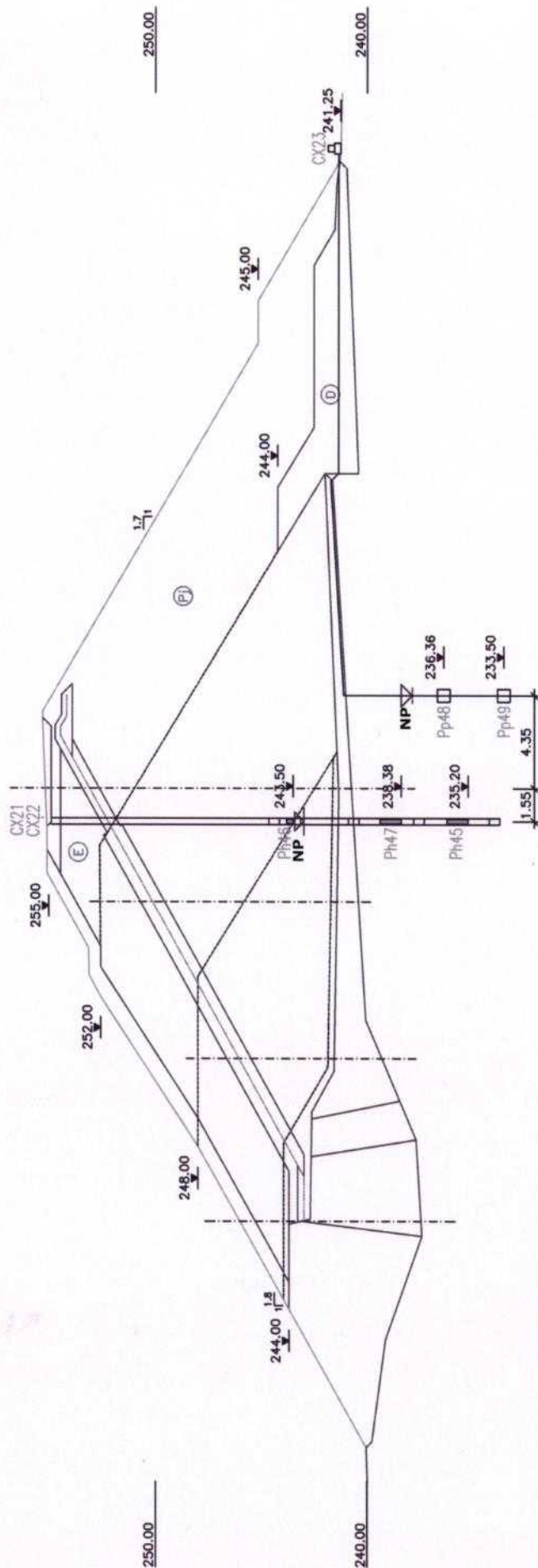
Corpo Principal

Perfil P06 - PK 0+910

1/400

Legenda:

Figuras	DET 05
Desenhos	DET 05
Verificações	DET 05
Estados	

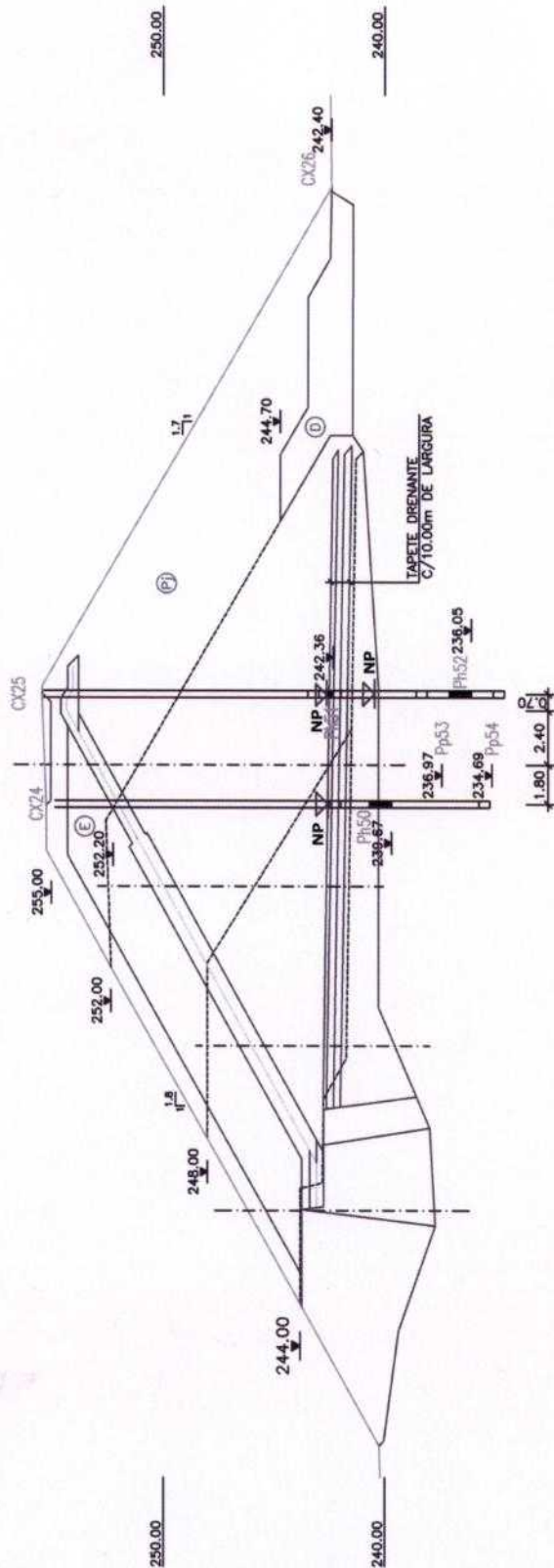


NOTAS:

- Os caminhos dos tubagens dos piezômetros pneumáticos nos aterros das fases anteriores de construção são traçados a título indicativo
- Designação anterior: Perfil 24A

CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX21	PK 1+150	Ph45
CX22	PK 1+167	Ph46 e Ph47
CX23	PK 1+150	Pp48 e Pp49

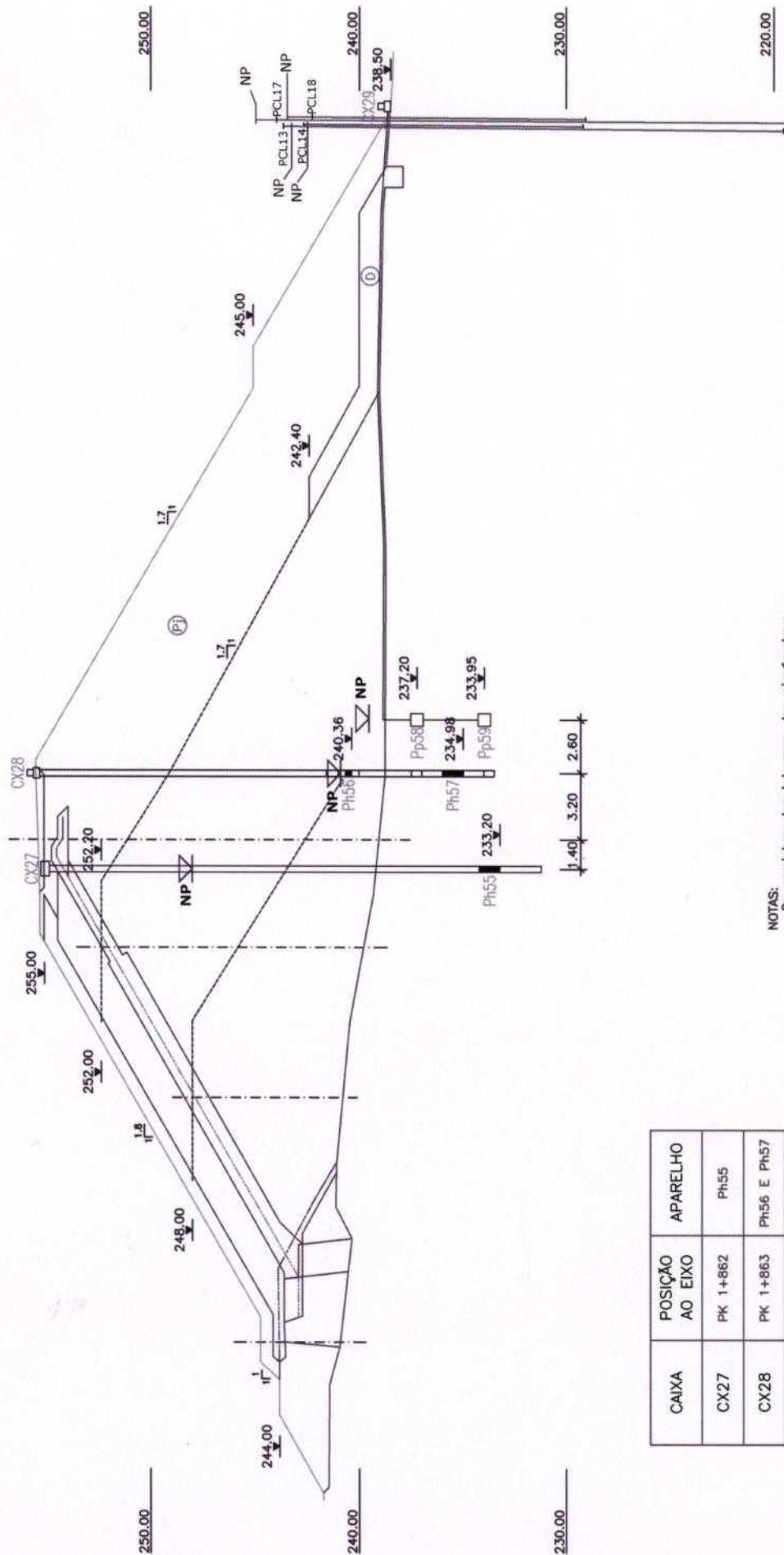
SOMINOR CONSULTORIA E PROJETOS		Engigeo ENGENHARIA GEOTECNICA, LDA	
Barragem de Rejeitados do Cerro do Lobo		55.459.01/175	
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM		2586	
PORTELA DO CORPO PRINCIPAL		0000	
PERFIL P07 - PK 1+159		29	
1/200		0000	



- NOTAS:
- Na perfuração para os piezômetros PH51 e PH52, instalados nesta fase de construção, não foi detectado o tapete drenante
 - Os caminhos das tubagens dos piezômetros pneumáticos nos aterros das fases anteriores de construção são tropados a título indicativo
 - Na CX26 está instalado um medidor de caudal da água que circula na manga de protecção dos tubos hidráulicos do PP53 e PP54
 - Neste Desenho estão indicadas as cotas da base das ponteiros dos piezômetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 5 do relatório relatório final de construção:
 - Quadro 6.3.10. Relatório nº10
 - Designação anterior: Perfil 20

CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX24	PK 1+445	PH50
CX25	PK 1+445	PH51 e PH52
CX26	PK 1+438	PP53 e PP54

BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO		
6ª FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 225		Nº de Autores: 55.459.01/176 Nº de Autores: 2587 Data: 00/00
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM PORTELA DO CORPO PRINCIPAL PERFIL P08 - PK 1+445		30
Escala: 1:200		

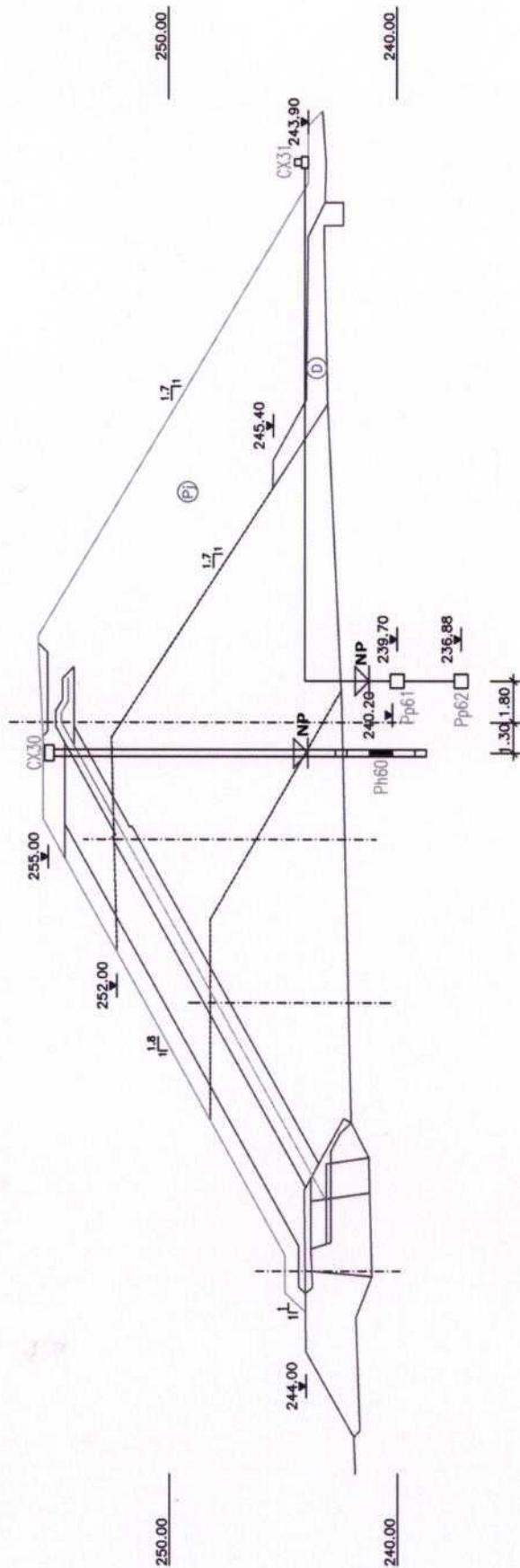


NOTAS:

- Os caminhos dos tubos dos piezômetros pneumáticos nos alicerces das fases anteriores de construção são traçados a título indicativo
- Neste Desenho estão indicadas as cotas da base das pontas dos piezômetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório relatório final da construção;
- Quadro 6.3.11. Relatório nº11
- Designação anterior: Perfil 13

CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX27	PK 1+862	Ph55
CX28	PK 1+863	Ph56 E Ph57
CX29	PK 1+860	Pp58 E Pp59

 SOMINOR Engenharia e Arquitetura		 Geogeo Engenharia Geotécnica, Lda	
Rua 17 de Abril 1700-001 Lisboa		Rua 17 de Abril 1700-001 Lisboa	
Projeto: 307.05 Desenho: 307.05 Verificação: 307.05 Escala: 1/200		Observação da Barragem PORTELA ME1 Perfil P09 - PK 1+862	
55.459.01/177		31	



NOTAS:

- Os caminhos das tubagens dos piezómetros pneumáticos nos alicerces das fases anteriores de construção são traçados a título indicativo
- Pp62 está desactivado
- Designação anterior: Perfil 8

CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX30	PK 2+337	Ph60
CX31	PK 2+335	Pp61 e Pp62

 SOMINCOR SÓLIDOS MINERAIS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, Lda		 Engenheiro ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Lda	
Projecto: BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO		Nº de Desenho: 55.459.01/178	
Execução: 1ª FASE DA CONSTRUÇÃO - AUMENTO PARA A COTA 255		Nº de Edição: 2588	
Observação: OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM PORTELA MEZA		Escala: 1:200	
Perfil: PO10 - PK 2+335		Data: 0000	
Folha: 32		Total: 32	

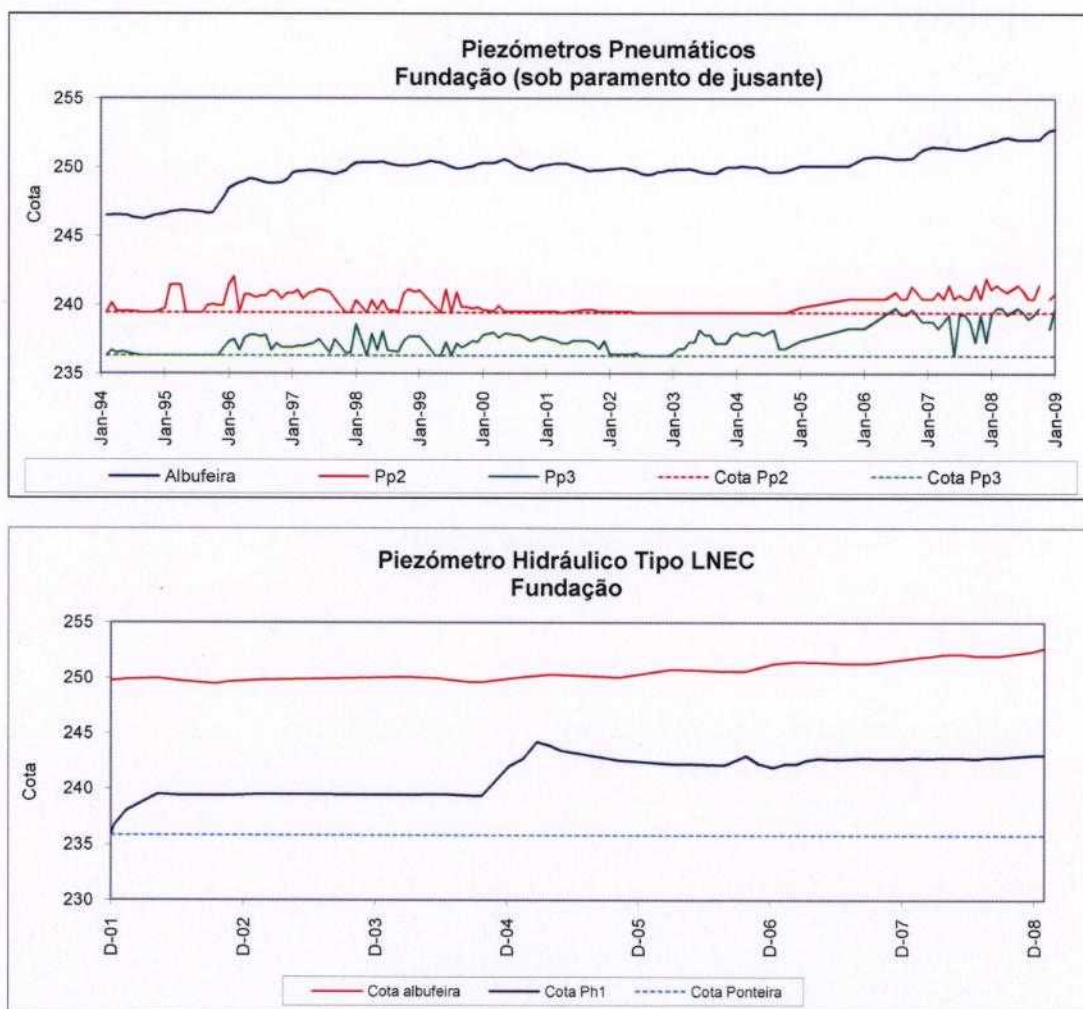
ANEXO 9

Gráficos das variações dos níveis piezométricos em
cada piezômetro

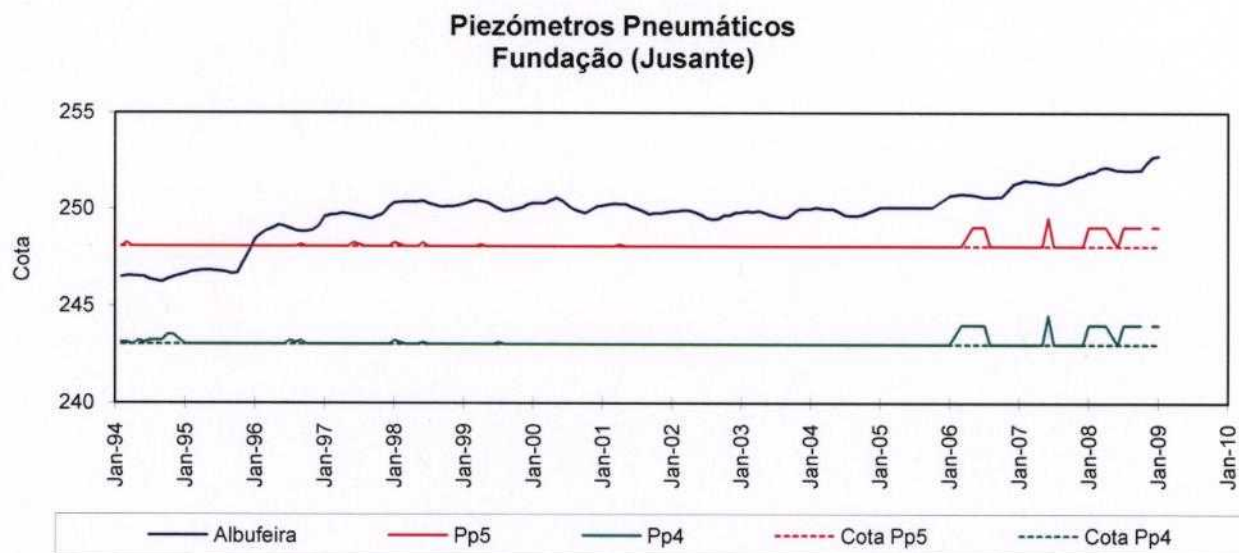
Barragem do Cerro do Lobo

Perfil PO1 - PK 0+190

Análise Piezométrica



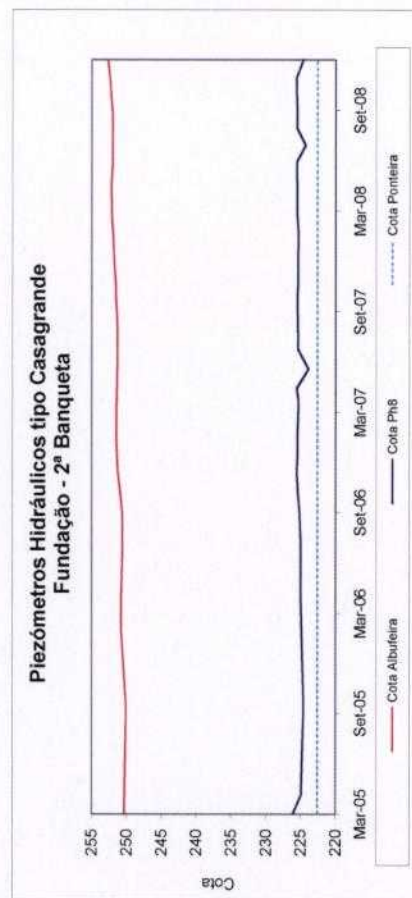
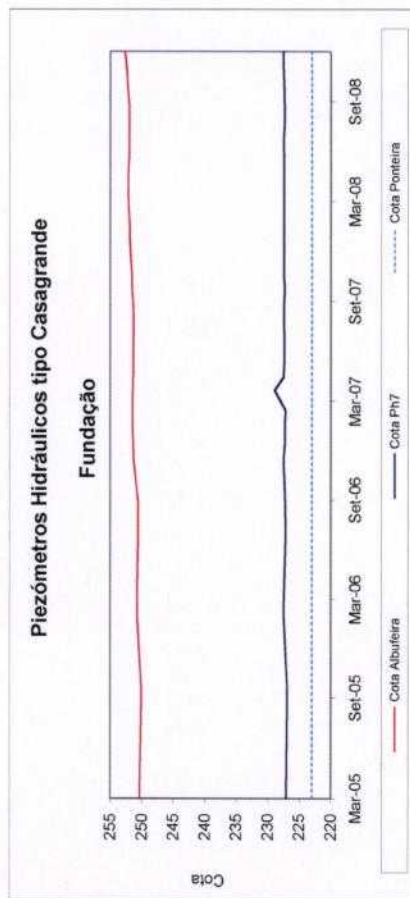
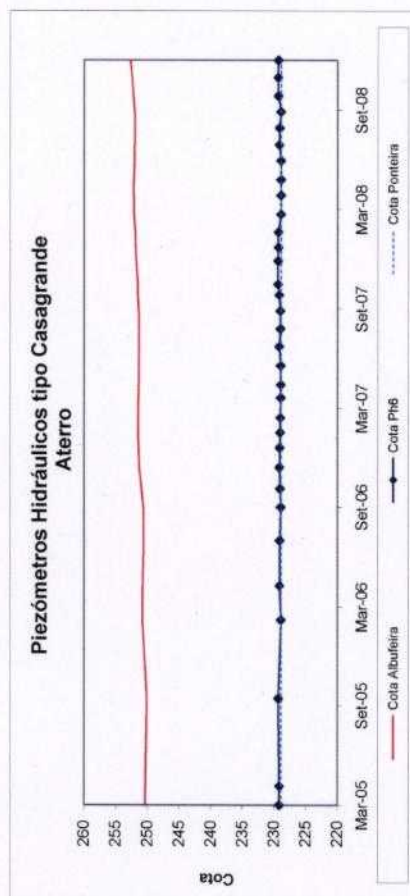
Barragem do Cerro do Lobo
Perfil PO2 - PK 0+497
Análise Piezométrica



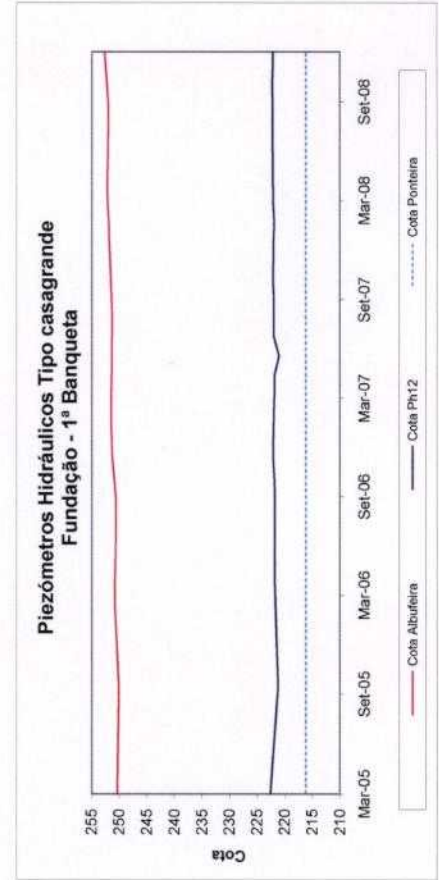
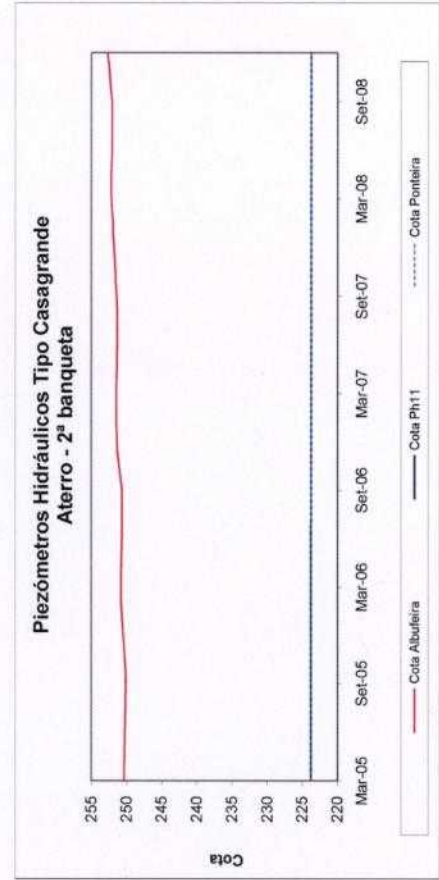
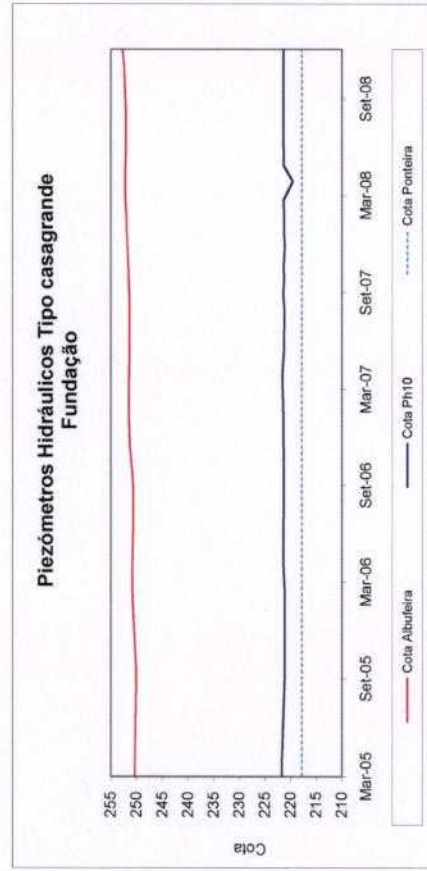
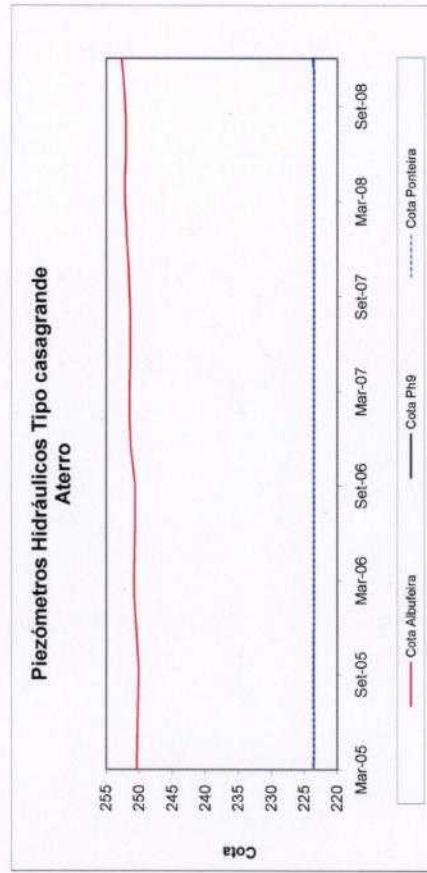
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

Perfil PO 3 - PK 0+750

Análise Piezométrica



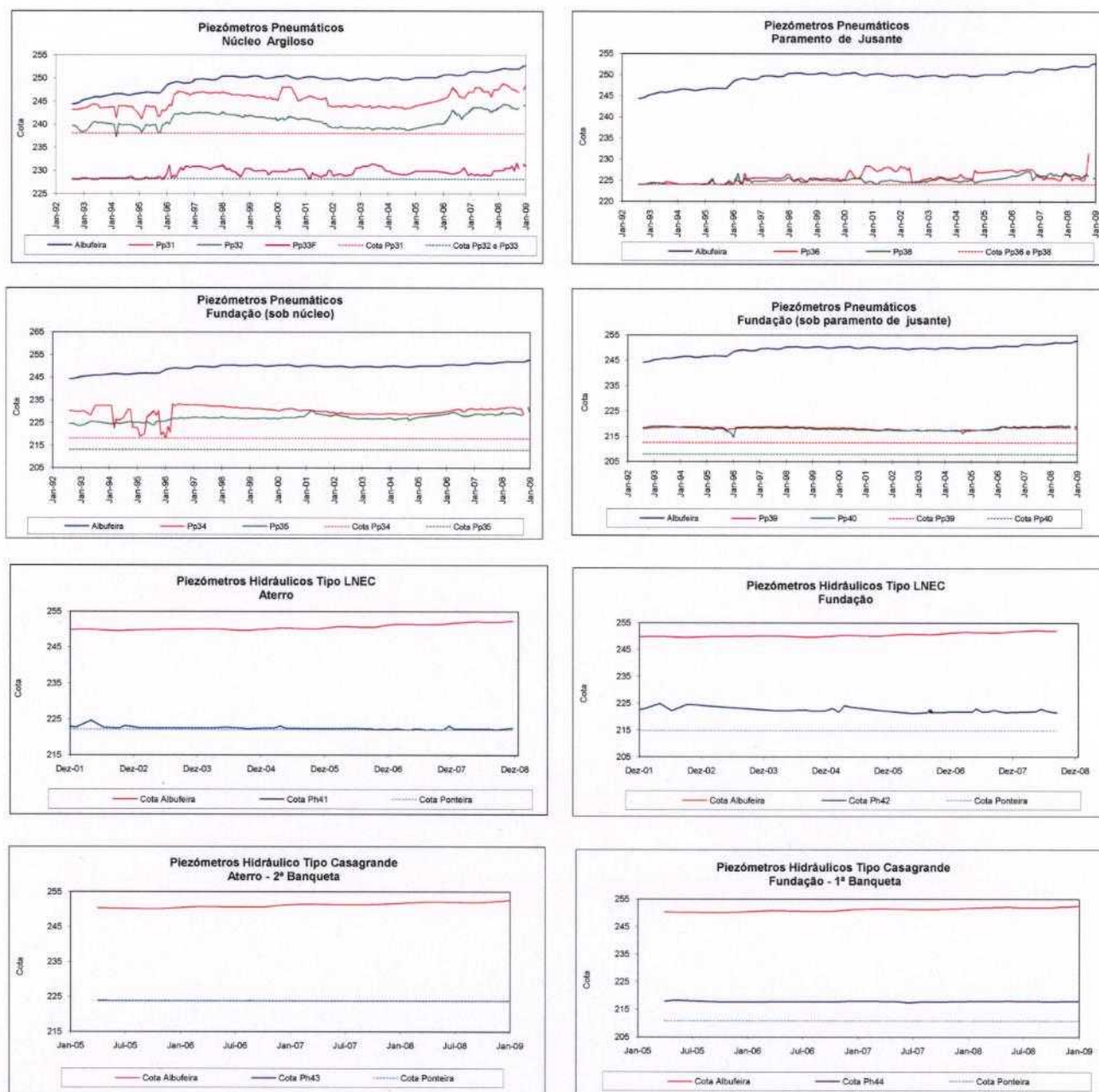
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO **Perfil PO4 - PK 0+795** **Análise Piezométrica**



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
PERFIL PO5 - PK 0+854
Análise Piezométrica



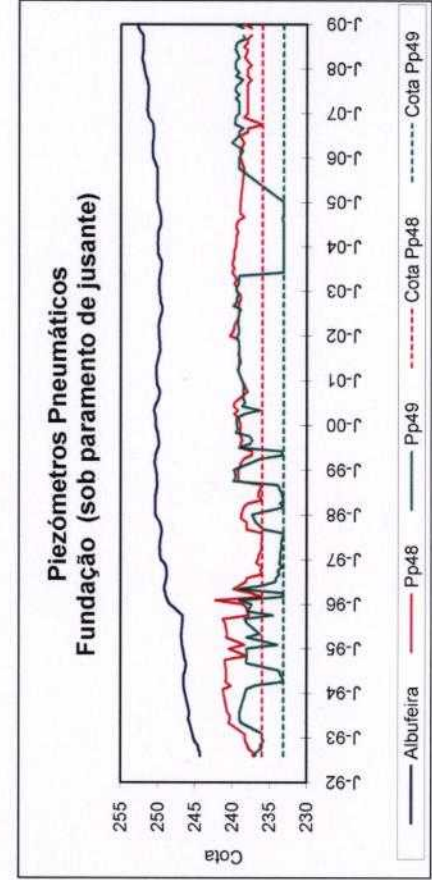
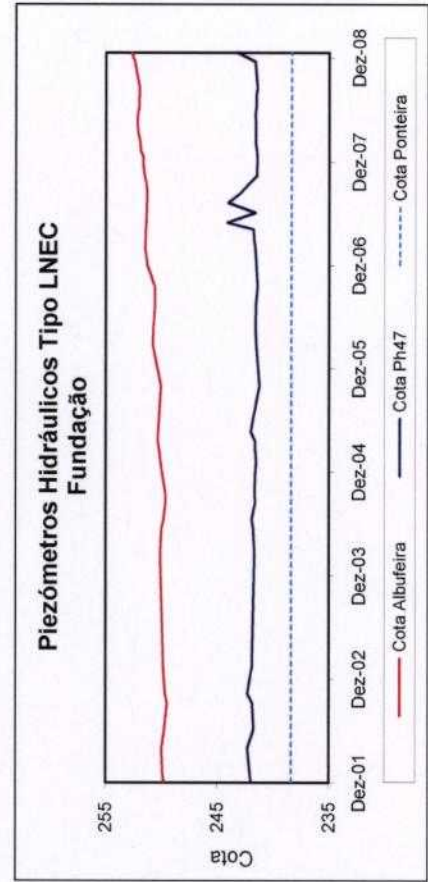
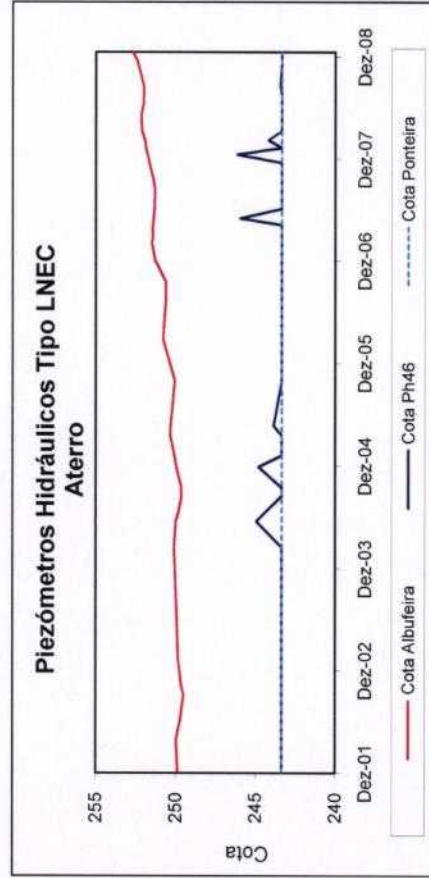
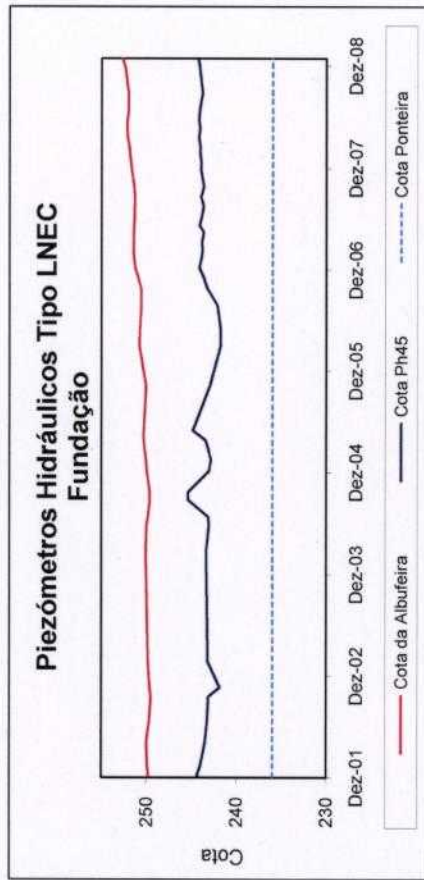
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
PERFIL PO6 - PK 0+910
Análise Piezométrica



Barragem do Cerro do Lobo

Perfil PO7 - PK 1+159

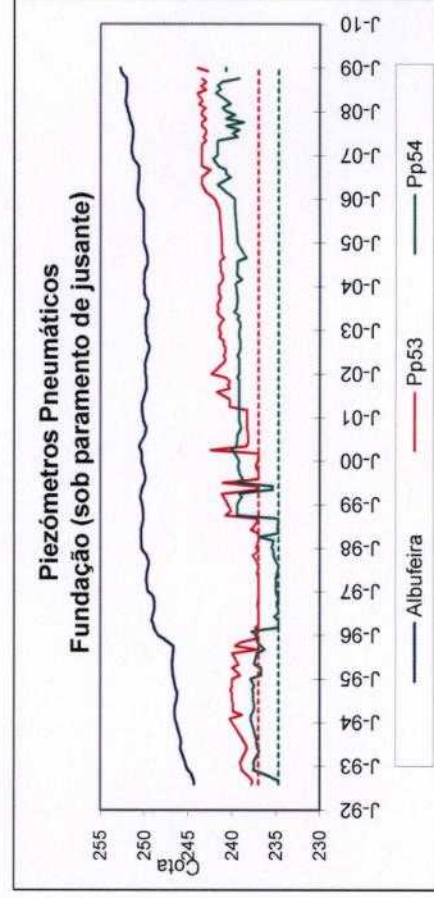
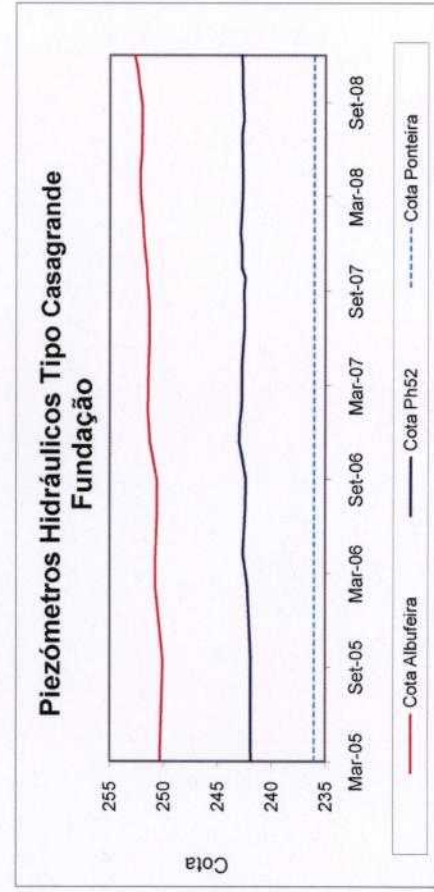
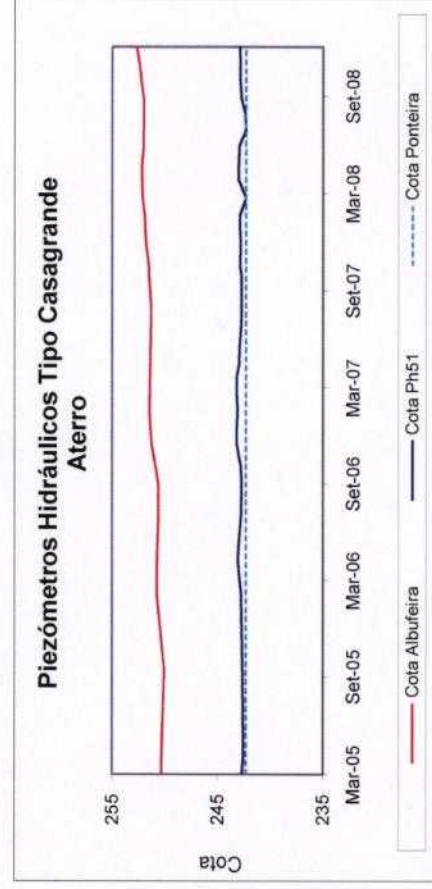
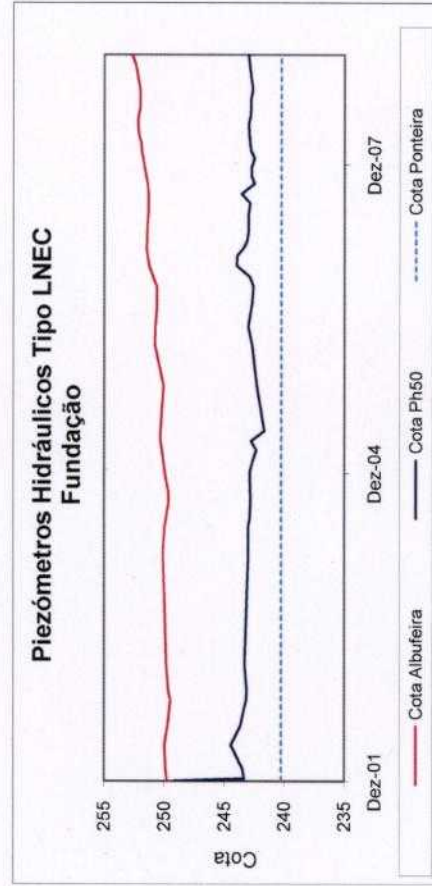
Análise Piezométrica



Barragem do Cerro do Lobo

Perfil PO8 - PK 1+445

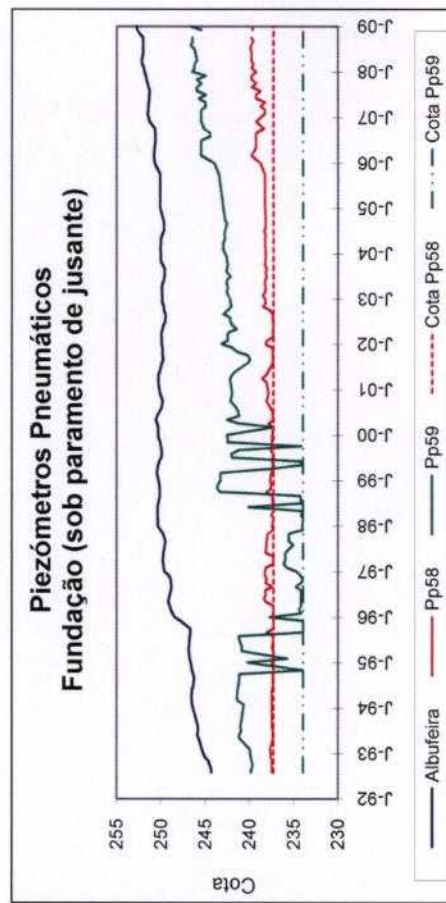
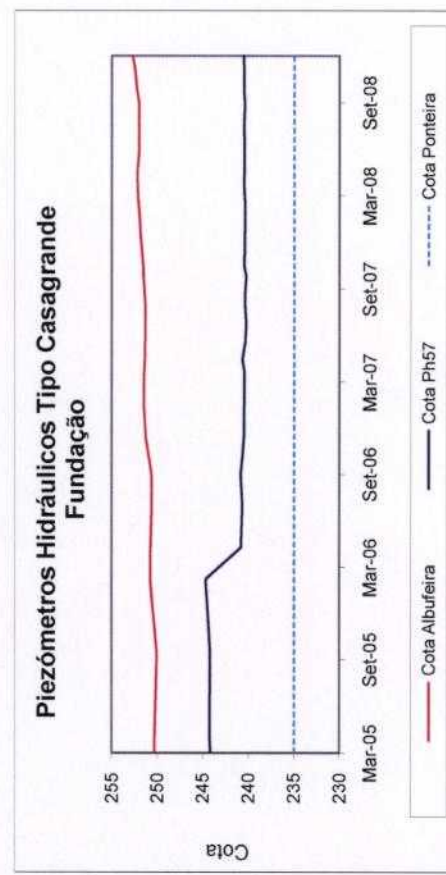
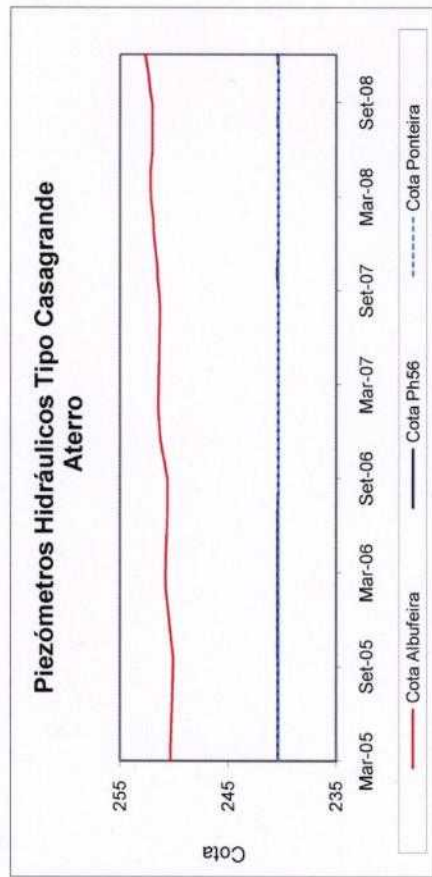
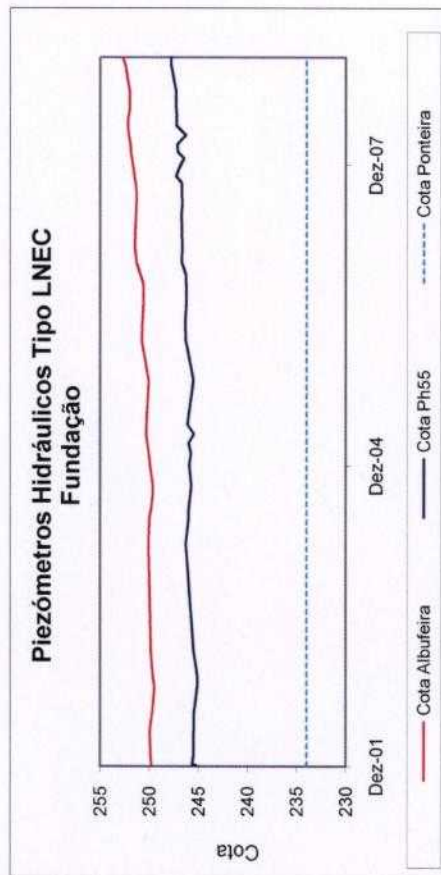
Análise Piezométrica



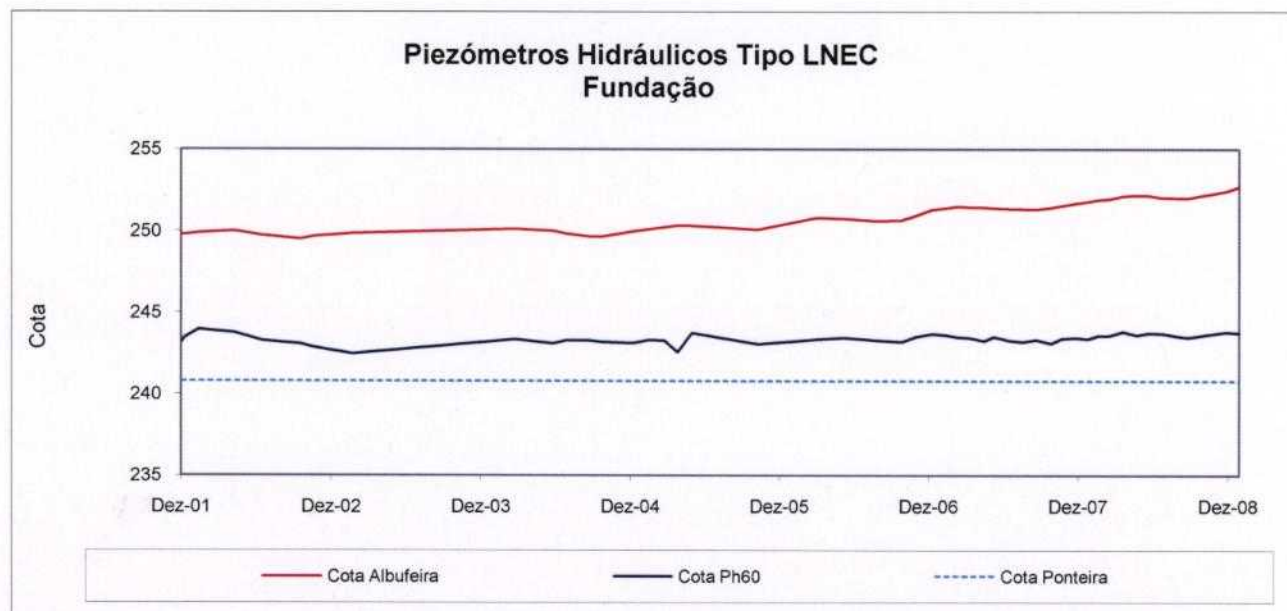
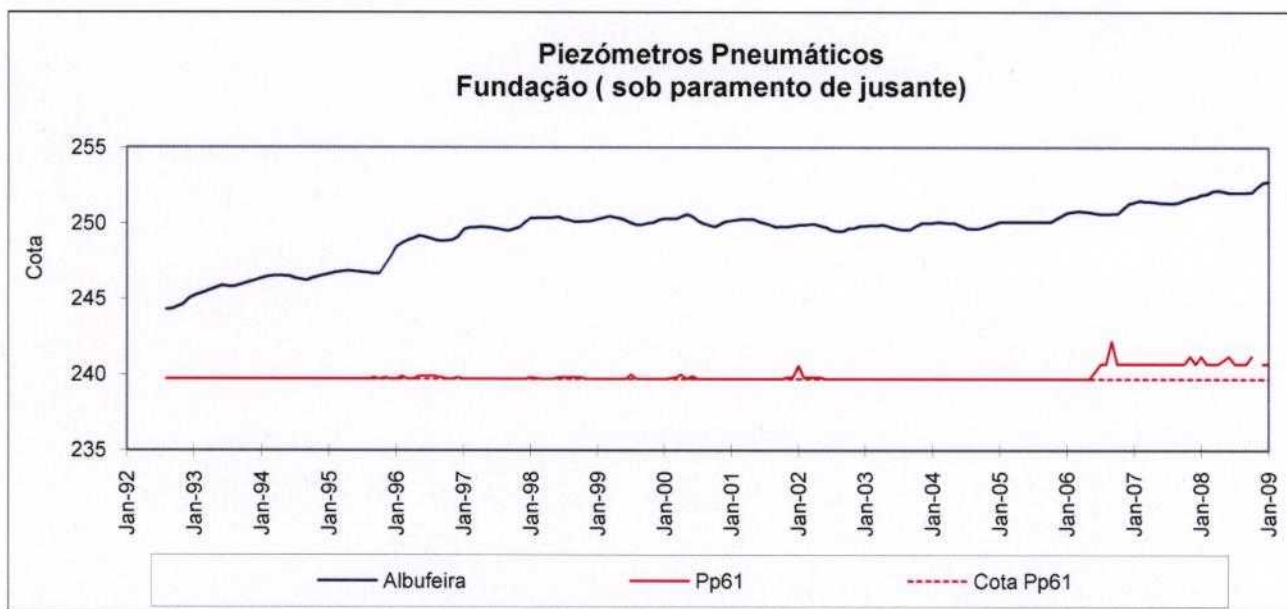
Barragem do Cerro do Lobo

Perfil PO9 - PK 1+862

Análise Piezométrica



Barragem do Cerro do Lobo
Perfil PO10 - PK 2+335
Análise Piezométrica

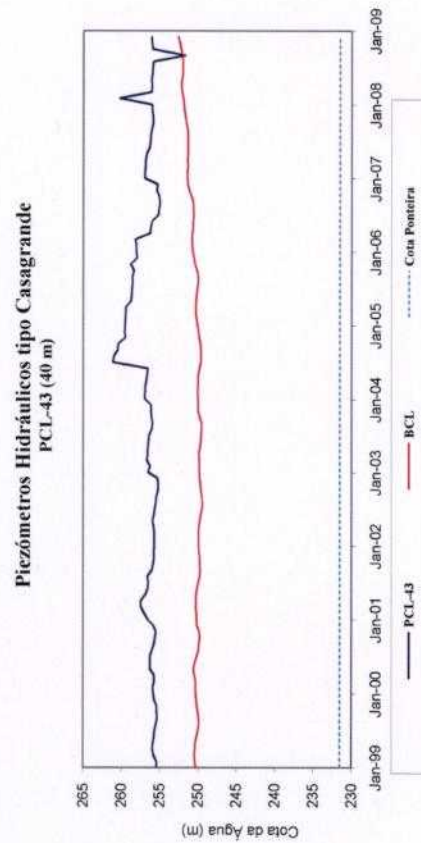
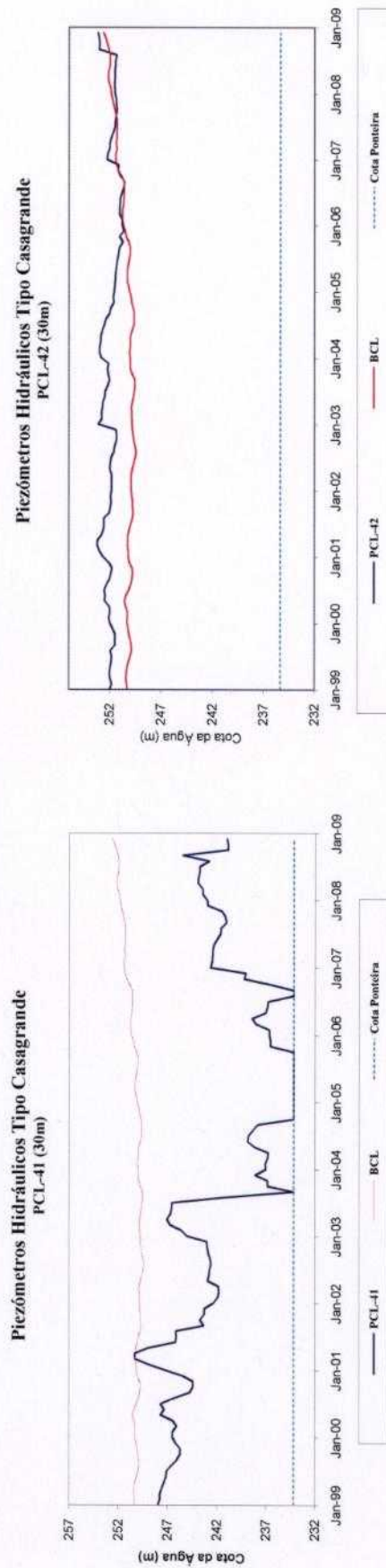


ANEXO 10

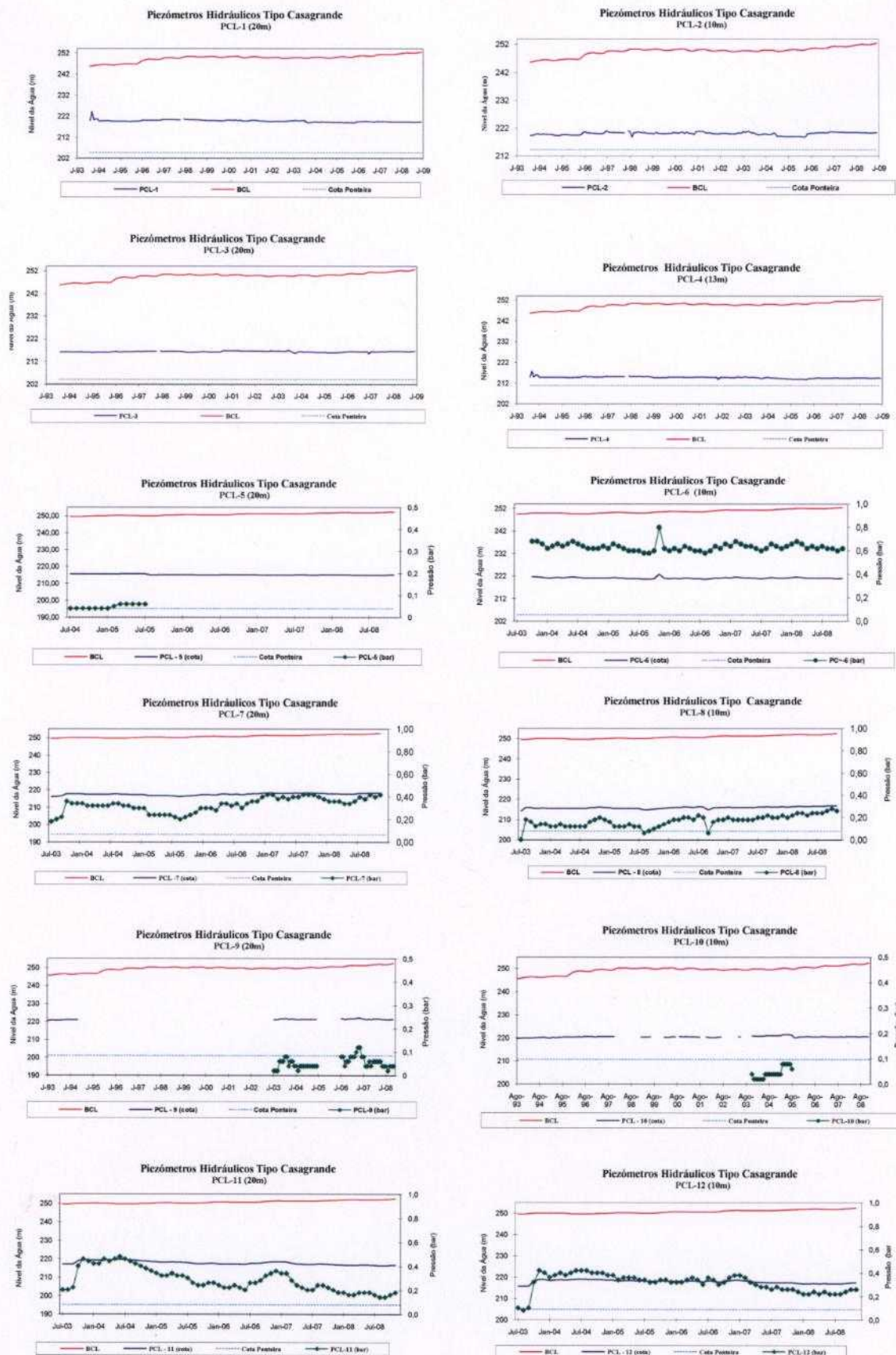
Gráficos dos PCL

BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

PCL - Piezómetros a Montante

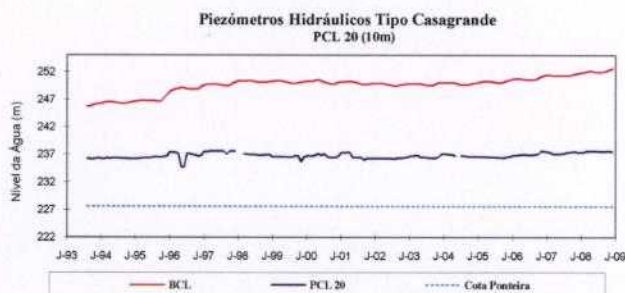
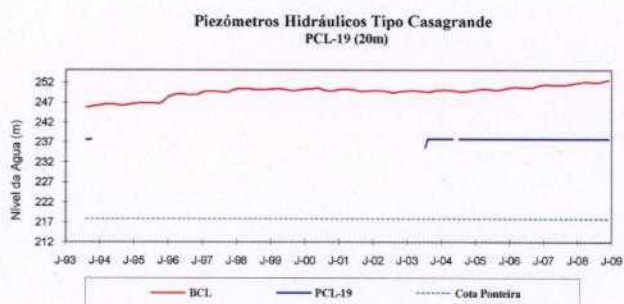
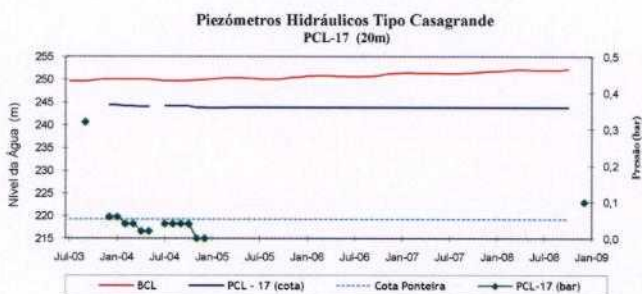
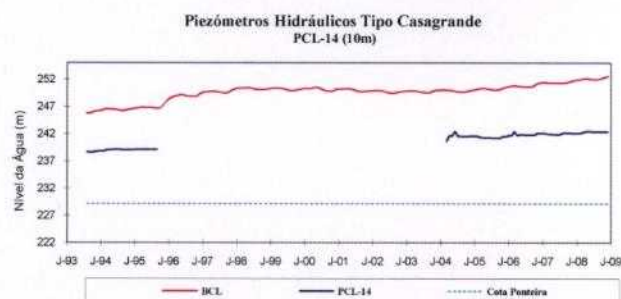
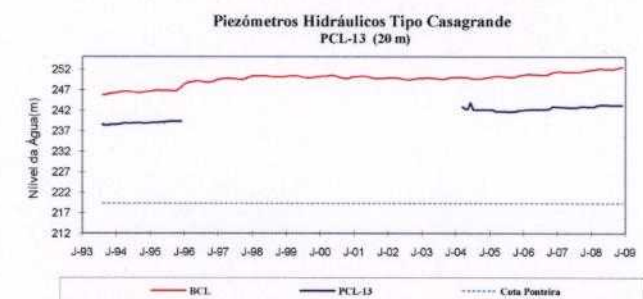


BARRAGEM DO CERRO DO LOBO
PCL - Piezômetros a Jusante do Corpo Principal



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

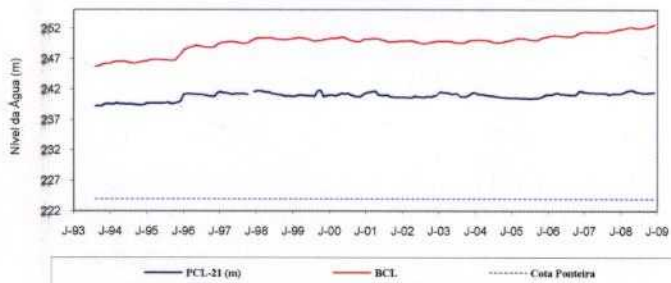
PCL - Piezômetros a Jusante da Portela ME1



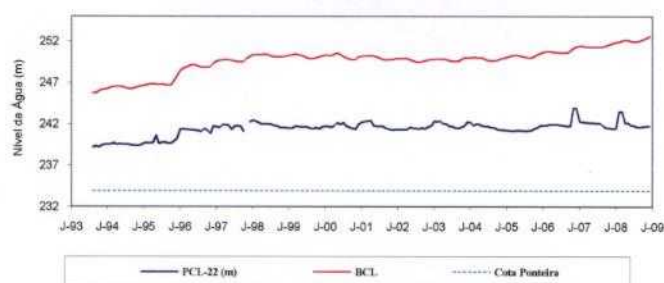
BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

PCL - Piezômetros a Jusante da Portela ME2

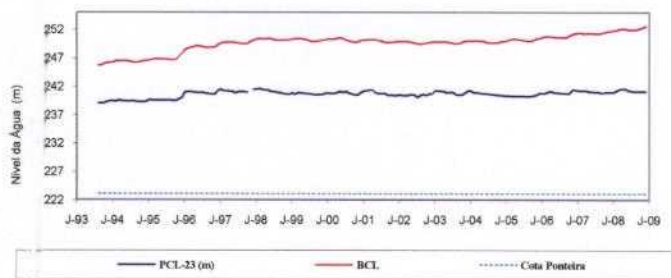
Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-21 (20 m)



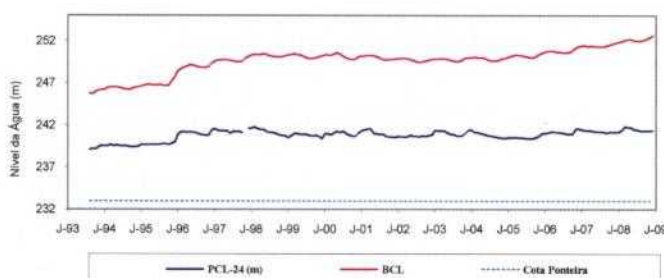
Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-22 (10m)



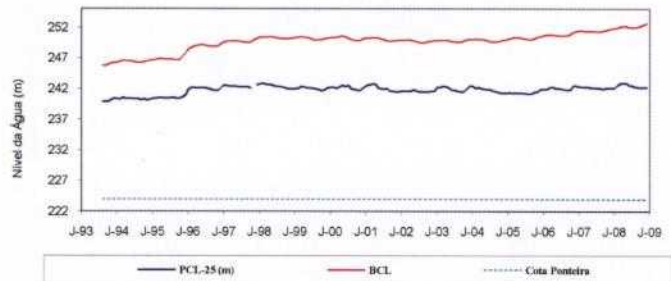
Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-23 (20m)



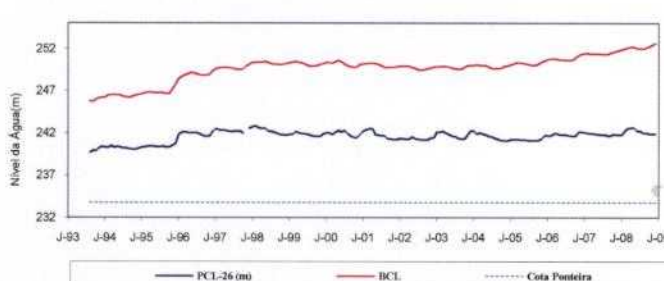
Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-24 (10m)



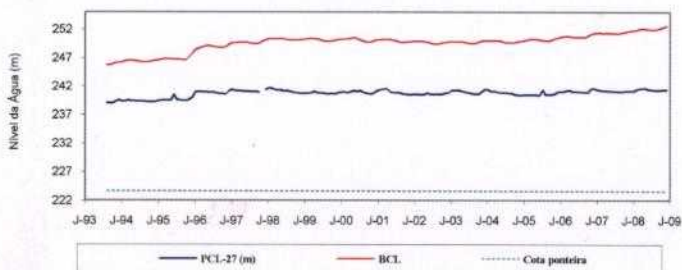
Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-25 (20m)



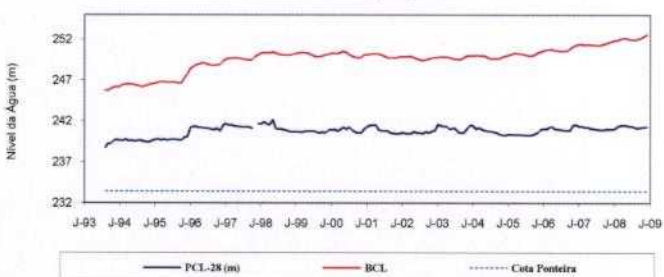
Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-26 (10m)



Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-27 (20m)

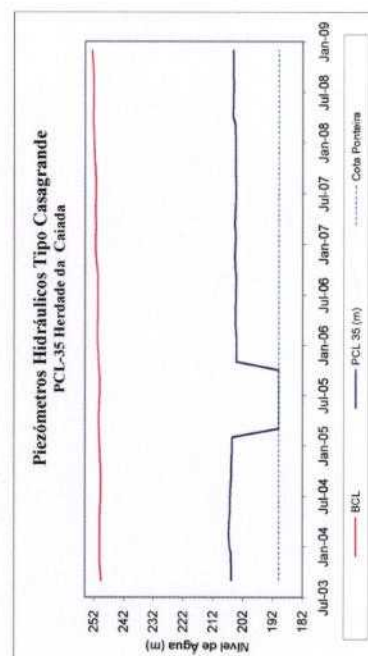
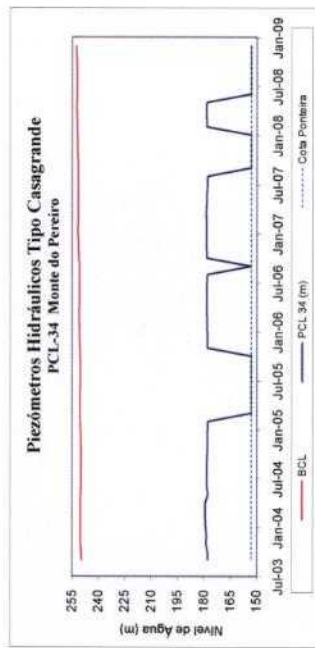
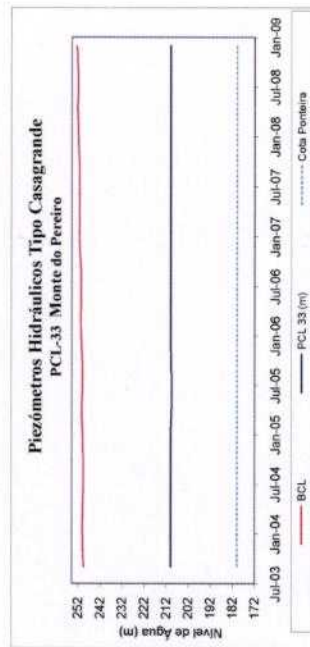
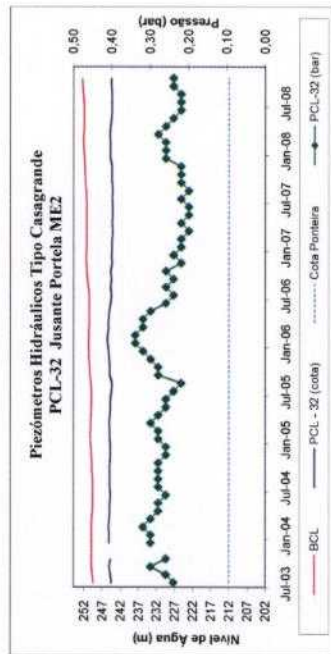
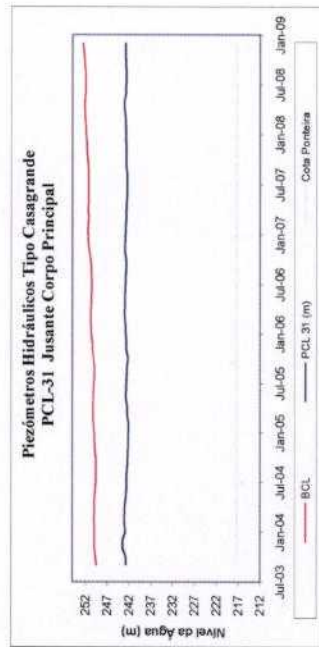


Piezômetros Hidráulicos Tipo Casagrande
PCL-28 (10m)



BARRAGEM DO CERRO DO LOBO

PCL - Piezômetros a Jusante da Barragem



ANEXO 11

Caracterização das águas subterrâneas na
envolvente da BCL e respectiva albufeira

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ENVOLVENTE DA BCL E RESPECTIVA ALBUFEIRA

ANÁLISE GLOBAL

ANO: 2008

		pH (Esc. Sörensen)	Condutividade (µS/cm)	Ca (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	As (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Hg (mg/l)
2008	PCL a	Média	1671	62	337	21	75	0,004	0,115		
	Montante da BCL	Máximo	2130	100	480	47	94	0,005	0,210		
		Mínimo	1050	15	112	4	57	0,003	0,020		
	ALBUFEIRA da BCL	Média	4539	807	368	7	2275	0,081	0,092	0,77	
		Máximo	5100	910	480	10	2530	0,14	0,450	4,40	
		Mínimo	3800	630	113	4	1850	0,041	0,030	0,11	
	IBR	Média	4283	456	306	12	2414	0,006	12		
		Máximo	6500	630	472	30	4600	0,032	81		
		Mínimo	1530	99	40	4	390	0,002	0,060		
	PCL a	Média	3313	363	336	9	1371	0,007	0,037		
	Jusante do Corpo Principal	Máximo	4100	520	680	48	1960	0,080	0,040		
		Mínimo	1870	109	187	4	200	0,002	0,030		
2008	PCL a	Média	5263	250	1116	14	1076	0,002	0,030		
	Jusante da ME1	Máximo	7500	360	1600	20	1970	0,003	0,090		
		Mínimo	3900	158	810	9	730	0,002	0,020		
	PCL a	Média	2292	150	240	11	761	0,005	0,127		
	Jusante da ME2	Máximo	3400	310	419	24	1620	0,015	0,160		
		Mínimo	350	42	27	3	151	0,002	0,080		
	PCL a	Média	1954	133	280	19	376	0,038	0,051		
	Jusante da BCL	Máximo	3900	230	500	38	1250	0,120	0,150		
		Mínimo	1020	49	59	2	28	0,002	0,030		