



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Departamento de Ciências da Terra**

**Estabilidade das portelas da Instalação de Resíduos da  
Mina de Neves-Corvo, Portugal**

**Stability of the saddle dams at the Neves-Corvo mine waste facility**

**Beatriz Cunha Cruz**

**Especialização no Ramo dos Recursos Geológicos**

**MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS**

**Setembro, 2017**

**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**



**Estabilidade das portelas da instalação de resíduos da  
Mina de Neves-Corvo, Portugal**

**Stability of the saddle dams at the Neves-Corvo mine waste facility**

**Beatriz Cunha Cruz**

**Mestrado em Geociências**

**Especialização no Ramo dos Recursos Geológicos**

**Orientadores científicos**

Prof. Doutor Mário Quinta Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra

Doutora Luísa Mafalda Ferreira da Silva Beato de Oliveira Toscano, Departamento  
de Barragens e Águas da Mina Neves-Corvo

## Resumo

A presente dissertação trata da estabilidade das portelas da Instalação de Resíduos de Cerro do Lobo da SOMINCOR (Sociedade Mineira Neves-Corvo, SA). Esta instalação é uma barragem de enrocamento que acomoda os resíduos mineiros provenientes da produção de concentrados de cobre e zinco da Mina Neves-Corvo, o que a torna essencial para o funcionamento da mina. Estes resíduos são prejudiciais para o ambiente, o que a torna uma instalação de alto risco, pelo que é fundamental o controlo e manutenção da instalação. A análise e a comparação do conjunto de dados provenientes da medição dos instrumentos geotécnicos estrategicamente selecionados e disponibilizados pela SOMINCOR, considerou as fases de construção, os trabalhos feitos no último alteamento, as características dos materiais de aterro e os dados meteorológicos. A maioria dos instrumentos compreendem dados desde 1992 a finais de 2016. A interpretação dos dados permitiu averiguar a estabilidade da Instalação de Resíduos de Cerro do Lobo, todavia corroborou a importância da contínua monitorização e controlo.

Palavras-Chave: Estabilidade, Monitorização, Aterro, Instrumentação e Cotas.

## Abstract

The present dissertation deals with the stability of the saddle dams of the Cerro do Lobo Tailings Facility of SOMINCOR (Sociedade Mineira Neves-Corvo, SA). This facility is an embankment dam that accommodates the miners' waste from copper and zinc production at Neves-Corvo mine, making it essential for the mine to function. Since the waste endangers the environment, the facility is a high risk installation, therefore its control and maintenance is critical. The analysis and comparison of the data set obtained by the geotechnical instrumentation strategically selected and provided by SOMINCOR, took into account the construction phases, the last rising, the characteristics of the embankment materials and the meteorological data. The majority of the instruments are data since 1992 until the end of 2016. The interpretation of the results acquiesced the stability of the Cerro do Lobo Waste Facility, yet revealed the importance of continuous monitoring and control.

Keywords: Stability, Monitoring, Embankment, Instrumentation and Quotas.

## Agradecimentos

À empresa Sociedade Mineira Neves-Corvo e à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra por proporcionarem-me o estágio, que é a base desta dissertação.

À Doutora Mafalda Oliveira pelo acompanhamento que prestou, pelo apoio, interesse demonstrado, pela resposta às minhas dúvidas e pela disponibilização dos recursos e conhecimentos que me permitiram desenvolver a dissertação.

Ao Professor Doutor Mário Quinta Ferreira por ter aceitado o desafio de orientar a minha tese, pelo apoio, pelo acolhimento e abertura com que sempre me recebeu e ouviu, pela exigência que impôs e que assumiu nas suas intervenções.

Ao Departamento de Barragens e Águas, aos Engenheiros Hugo Alves, Ana Rodrigues, Ana Abreu, Odete Soares, José Bento, Hugo Rodrigues e todos os outros colaboradores da equipa, por me acolherem, pelos conhecimentos transmitidos, pela disponibilidade e orientação.

Aos meus amigos da universidade e da mina, pela amizade e motivação, ao longo do meu percurso.

A toda a minha família e amigos pela amizade e apoio, em especial, aos meus pais pelo acompanhamento e motivação prestado de forma a chegar aqui e por serem a base de toda a minha formação como pessoa.

# Índice

Resumo.....	III
Abstract.....	IV
Agradecimentos .....	V
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tabelas .....	X
Lista de abreviaturas .....	XI
1. Introdução .....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.2. Estrutura da dissertação .....	3
1.3. Enquadramento geológico.....	3
2. Descrição da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo .....	8
2.1. Fases de construção da IRCL .....	9
2.2. Materiais para aterros .....	12
2.2.1. Material Pj .....	12
2.2.2. Materiais F e material D.....	14
2.2.3. Material F'- selagem da geomembrana .....	15
2.2.4. Material R – Enrocamento de proteção .....	16
2.3. Trabalhos de alteamento.....	17
2.4. Estudo dos materiais e controlo de qualidade dos aterros .....	20
2.5. Estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos.....	23
2.6. Observação da instalação de resíduos .....	26
3. Instrumentação geotécnica da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo .....	28
3.1. Inclínómetros.....	29
3.2. Piezómetros pneumáticos .....	30
3.3. Piezómetros hidráulicos de tubo aberto .....	31
3.4. Caudais de infiltração .....	32
3.5. Apoio topográfico .....	35
3.5.1. Marcas superficiais.....	35
4. Resultados .....	37
4.1. Portela da Margem Direita .....	39
4.1.1. Piezómetros pneumáticos .....	39
4.1.2. Piezómetros hidráulicos.....	40
4.1.3. Caudais de infiltração .....	41
4.2. Corpo Principal .....	42
4.2.1. Piezómetros pneumáticos .....	42
4.2.2. Piezómetros hidráulicos.....	50

4.2.3. Piezômetros hidráulicos de tubo aberto.....	53
4.2.4. Caudais de infiltração .....	55
4.2.5. Inclínômetros.....	60
4.2.6. Marcas superficiais.....	64
4.3. Portela do Corpo Principal .....	66
4.3.1. Piezômetros pneumáticos .....	67
4.3.2. Piezômetros hidráulicos.....	68
4.3.3. Piezômetros hidráulicos de tubo aberto.....	69
4.3.4. Caudais de infiltração .....	70
4.4. Portela da Margem Esquerda 1 .....	72
4.4.1. Piezômetros pneumáticos .....	73
4.4.2. Piezômetros hidráulicos.....	74
4.4.3. Piezômetros hidráulicos de tubo aberto.....	76
4.4.4. Caudais de infiltração .....	77
4.5. Portela da Margem Esquerda 2A.....	78
4.5.1. Piezômetros pneumáticos .....	78
4.5.2. Piezômetros hidráulicos.....	79
4.5.3. Piezômetros hidráulicos de tubo aberto.....	79
4.5.4. Caudais de infiltração .....	80
4.6. Portelas ME2B e ME2C .....	83
5. Discussão.....	86
5.1. Portela da Margem Direita .....	86
5.2. Corpo Principal .....	86
5.3. Portela do Corpo Principal .....	91
5.4. Portela da Margem Esquerda 1 .....	92
5.5. Portela da Margem Esquerda 2A.....	93
5.6. Portelas ME2B e ME2C .....	95
5.7. Considerações finais.....	95
6. Conclusão .....	96
Referências Bibliográficas .....	99
ANEXOS .....	101

## Índice de figuras

Figura 1: Coluna estratigráfica de Neves-Corvo (adaptado de Ferreira et al., 1993). .....	6
Figura 2: Principais unidades estruturais e domínios tectonostratigráficos no sul da Ibéria (modificado após Quesada, 1991 e adaptado de Rosa et al. 2004). .....	7
Figura 3: Imagem retirada do Google Earth do ano 2013 do complexo mineiro de Neves-Corvo. ....	8
Figura 4: Perfil transversal do Corpo Principal. (Hidroprojeto, 2002) .....	16
Figura 5: a) Sondas do inclinómetro e b) Imagem representativa do sistema de inclinómetro vertical biaxial com Bluetooth utilizado nas medições. ....	29
Figura 6: a) Aplicação de gás pressurizado na unidade de leitura portátil; b) Unidade de leitura portátil dos piezómetros pneumáticos e união do cabo ao Pp2.....	30
Figura 7: a) Inserção da sonda LNEC no piezómetro hidráulico. b) Inserção da sonda piezométrica no piezómetro hidráulico 29.....	32
Figura 8: a) Medição da pressão (manómetro). b) Sonda de pH e condutividade de uma amostra de água de um PCL.....	32
Figura 9: a) Exemplo de um poço, o IBR19. b) Caudalímetro utilizado nas medições do caudal bombeado.....	33
Figura 10: Planta da marca superficial (ponto-alvo). (CENORGEO, 2005b). ....	36
Figura 11: Relação entre o Pp2 e o Pp3.....	39
Figura 12: Piezómetro hidráulico 1. ....	40
Figura 13: Relação entre os Pp 14, Pp16 e Pp15, Pp17.....	42
Figura 14: Relação entre o Pp18 e Pp19.....	44
Figura 15: Relação entre os Pp20, Pp21 e Pp22.....	45
Figura 16: Relação entre o Pp24 e o Pp25.....	47
Figura 17: Relação entre o Pp20 e o Pp23.....	49
Figura 18: Relação entre o Ph26, Ph27 e o Ph28.....	50
Figura 19: Piezómetro hidráulico 30. ....	51
Figura 20: Piezómetro hidráulico 29. ....	52
Figura 21: Localização dos inclinómetros 2 e 3 do Corpo Principal (CENORGEO, 2005b). .	60
Figura 22: Orientação da sonda dentro das calhas inclinométricas (Machan and Bennet, 2008).....	61
Figura 23: Localização das marcas superficiais no Corpo Principal (SOMINCOR, 2016). ....	64
Figura 24: Relação entre o Pp53 e o Pp54.....	67
Figura 25: Relação entre o Ph50, Ph51 e Ph52. ....	68
Figura 26: Relação entre o Pp58 e Pp59.....	73
Figura 27: Piezómetro hidráulico 55. ....	74
Figura 28: Relação entre o Ph56 e o Ph57.....	75
Figura 29: Piezómetro pneumático 61.....	78
Figura 30: Piezómetro hidráulico 60. ....	79



Figura 31: Esquema de montagem dos piezômetros (CENORGEIO, 2005b) .....	112
---	-----

## Índice de gráficos

Gráfico 1: Relação entre os concentrados e os rejeitados produzidos.....	2
Gráfico 2: Relação entre o nível de água na albufeira e a cota do coroamento. ....	38
Gráfico 3: Relação entre a evaporação e precipitação da Estação Meteorológica de Monte Branco.....	38
Gráfico 4: Relação entre o IBR25 e a precipitação. ....	41
Gráfico 5: Relação entre o IBR5 e a precipitação. ....	55
Gráfico 6: Relação entre o IBR5A e a precipitação.....	56
Gráfico 7: Relação entre o IBR5B e a precipitação.....	56
Gráfico 8: Relação entre o IBR5C e a precipitação. ....	57
Gráfico 9: Relação entre o IBR6 e a precipitação. ....	58
Gráfico 10: Relação entre o IBR20 e a precipitação. ....	58
Gráfico 11: Relação entre o IBR23 e a precipitação .....	59
Gráfico 12: Relação entre o IBR32 e a precipitação .....	59
Gráfico 13: Deslocamento cumulativo: eixo A e do eixo B do inclinómetro I2. ....	63
Gráfico 14: Deslocamento cumulativo: eixo A e do eixo B do inclinómetro I3 .....	63
Gráfico 15: Deslocamentos horizontais do Coroamento do Corpo Principal - Desvios ampliados 1000x (SOMINCOR, 2016).....	64
Gráfico 16: Deslocamentos verticais cumulados do Corpo Principal (adaptado SOMINCOR, 2016).....	66
Gráfico 17: Relação entre o IBR16 e a precipitação. ....	70
Gráfico 18: Relação entre o IBR18 e precipitação. ....	71
Gráfico 19: Relação entre o IBR18A e a precipitação.....	72
Gráfico 20: Relação entre o IBR17 e a precipitação. ....	77
Gráfico 21: Relação entre o IBR15 e a precipitação. ....	80
Gráfico 22: Relação entre o IBR19 e a precipitação. ....	81
Gráfico 23: Relação entre o IBR34 e a precipitação. ....	82
Gráfico 24: Relação entre o IBR35 e a precipitação. ....	82
Gráfico 25: Relação entre o IBR26 e a precipitação. ....	83
Gráfico 26: Relação entre o IBR29 e a precipitação. ....	83
Gráfico 27: Relação entre o IBR29A e a precipitação.....	84
Gráfico 28: Relação entre o IBR30 e a precipitação. ....	84
Gráfico 29: Relação entre o IBR31 e a precipitação. ....	85
Gráfico 30: PCL1, PCL2 e PCL3 a jusante do Corpo Principal .....	107
Gráfico 31: PCL4 a jusante do Corpo Principal. ....	107

Gráfico 32: PCL5 a jusante do Corpo Principal. ....	107
Gráfico 33: PCL6 a jusante do Corpo Principal. ....	107
Gráfico 34: PCL7 a jusante do Corpo Principal. ....	108
Gráfico 35: PCL8 a jusante do Corpo Principal. ....	108
Gráfico 36: PCL9 a jusante do Corpo Principal. ....	108
Gráfico 37: PCL10 a jusante do Corpo Principal.....	108
Gráfico 38: PCL11 a jusante do Corpo Principal.....	109
Gráfico 39: PCL12 a jusante do Corpo Principal.....	109
Gráfico 40: PCL13 a jusante da portela ME1.....	109
Gráfico 41: PCL14 a jusante da portela ME1.....	109
Gráfico 42: PCL15 a jusante da portela ME1.....	110
Gráfico 43: PCL16 a jusante da portela ME1.....	110
Gráfico 44: PCL17 a jusante da portela ME1.....	110
Gráfico 45: PCL18 a jusante da portela ME1.....	110
Gráfico 46: PCL19 a jusante da portela ME1.....	111
Gráfico 47: PCL20 a jusante da portela ME1.....	111
Gráfico 48: PCL21, 23, 25 e 27 a jusante da portela ME2A.....	111
Gráfico 49: PCL22, 24, 26, 28 a jusante da portela ME2A.....	111

## Índice de tabelas

Tabela 1: Características dos corpos de aterro da IRCL (adaptada da CENORGE, 2005a). 9	
Tabela 2: Características específicas das fases de construção da IRCL (Hidroprojeto, 2002). 9	
Tabela 3: Parâmetros geotécnicos dos materiais de aterro, da água e dos rejeitados. (Hidroprojeto, 2002) .....	17
Tabela 4: Tipos e quantidade de ensaios. (CENORGE, 2005a) .....	21
Tabela 5: Equipamento de observação da IRCL (CENORGE, 2005b).....	27
Tabela 6: Coordenadas e localização dos IBRs (adaptado de CENORGE, 2005b). ....	34
Tabela 7: Cotas principais dos IBRs (adaptado de CENORGE, 2005b).....	34
Tabela 8: Marcas superficiais presentes em cada portela. ....	35
Tabela 9: Características das diferentes fases de construção. (CENORGE, 2005) .....	38
Tabela 10: Cotas relativas dos Pp2 e Pp3.....	40
Tabela 11: Cotas relativas do Ph1.....	41
Tabela 12: Cotas relativas dos Pp14, Pp16, Pp15 e Pp17. ....	43
Tabela 13: Cotas relativas dos Pp18 e Pp19.....	45
Tabela 14: Cotas relativas dos Pp20, Pp21 e Pp22.....	47

Tabela 15: Cotas relativas dos Pp24 e Pp25.....	48
Tabela 16: Cotas relativas dos Pp20 e Pp23.....	49
Tabela 17: Cotas relativas dos Ph26, Ph27 e Ph28.....	51
Tabela 18: Cotas relativas do Ph30.....	52
Tabela 19: Cotas relativas do Ph29.....	53
Tabela 20: Cotas relativas dos PCL1, PCL2, PCL3 e PCL4.....	53
Tabela 21: Cotas e dados de pressão do PCL5 e PCL6.....	54
Tabela 22: Cotas e dados de pressão do PCL7 e PCL8.....	54
Tabela 23: Cotas e dados de pressão do PCL9 e PCL10.....	54
Tabela 24: Cotas e dados de pressão do PCL11 e PCL12.....	55
Tabela 25: Profundidades relativas à cota de referência das leituras dos inclinômetros 2 e 3 (adaptação da tabela do relatório da CENORGE, 2005b).....	60
Tabela 26: Descrição dos terrenos perfurados pela execução do furo do I2 e do I3 (adaptação da tabela do relatório da CENORGE, 2005b).....	61
Tabela 27: Leituras relativas à altimetria das marcas superficiais .....	65
Tabela 28: Cotas relativas dos Pp53 e Pp54.....	68
Tabela 29: Cotas relativas dos Ph50, Ph51 e Ph52.....	69
Tabela 30: Cotas relativas do PCL31.....	70
Tabela 31: Cotas relativas dos Pp58 e Pp59.....	74
Tabela 32: Cotas relativas do Ph55.....	75
Tabela 33: Cotas relativas dos Ph56 e Ph57.....	76
Tabela 34: Cotas relativas dos PCL13, PCL14, PCL15 e dados de pressão deste.....	76
Tabela 35: Cotas e dados de pressão do PCL16 e PCL17.....	76
Tabela 36: Cotas e dados de pressão do PCL18 e PCL19.....	77
Tabela 37: Cotas relativas do Pp 61.....	78
Tabela 38: Cotas relativas do Ph60.....	79
Tabela 39: Cotas relativas do PCL21, PCL23, PCL25 e PCL27.....	80
Tabela 40: Cotas relativas do PCL22, PCL24, PCL26 e PCL28.....	80
Tabela 41: Cotas e dados de pressão do PCL32.....	80

## Lista de abreviaturas

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BRGM – *Bureau de Recherches Geologiques et Minières*

CP – Corpo Principal

EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro

ICOLD – *International Commission On Large Dams*

IRCL – Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
M – Distância à meridiana  
MD – Portela da Margem Direita  
ME1 – Portela da Margem Esquerda 1  
ME2A – Portela da Margem Esquerda 2A  
ME2B – Portela da Margem Esquerda 2B  
ME2C – Portela da Margem Esquerda 2C  
P – Distância à perpendicular  
PCP – Portela do Corpo Principal  
PEAD – Polietileno de Alta Densidade  
PK – Piquetagem  
PO – Perfil de Observação  
RTZ – Rio Tinto Zinc  
SOMINCOR – Sociedade Mineira Neves-Corvo, SA  
Z – Coordenada altimétrica

## 1. Introdução

A mina Neves-Corvo é uma mina subterrânea de sulfuretos maciços vulcanogénicos polimetálicos, localizada a 200 km sudeste de Lisboa, na faixa Piritosa Ibérica, conhecida internacionalmente pelos seus teores anormalmente elevados de cobre, estanho e zinco. (Oliveira, 2015) Descoberta em 1977 pelo consórcio constituído pela EDM (Empresa de Desenvolvimento Mineiro), Penarroya e BRGM (Bureau de Recherches Geologiques et Minieres). Em 1980 foi estabelecida a SOMINCOR (Sociedade Mineira Neves Corvo SA) cujos acionistas eram a EDM com 51% e RTZ (Rio Tinto Zinc) com 49% vendidos pela BRGM. Em 1988 entrou em exploração, a junho de 2004, a SOMINCOR é adquirida pelo grupo canadiano EuroZinc Mining Corporation. Por fim, a novembro de 2006 a SOMINCOR torna-se empresa subsidiária do grupo Lundin Mining Corporation do Canadá.

A instalação de resíduos da mina de Neves-Corvo é designada como Instalação de Resíduos de Cerro do Lobo (IRCL). Na extração de minério e produção de concentrados em cobre e zinco da mina Neves-Corvo geram-se dois resíduos mineiros: o escombro e os rejeitados. O escombro é a rocha encaixante do jazigo desmontada nos trabalhos de desenvolvimento da mina e é composto por rochas vulcânicas ácidas e alguns xistos negros que contêm sulfuretos disseminados (resíduos não inertes). O escombro extraído é depositado nas escombreiras, contudo temporariamente pois não pode existir no final de vida da mina. Pelo que tem sido utilizada para construção de diques para a deposição subaérea de rejeitados na instalação de resíduos de Cerro do Lobo alcançando 4,2Mton de 2009 a final de 2014. A deposição subaérea de rejeitados surgiu pela impossibilidade da execução de novos alteamentos da IRCL devido a motivos económicos, de segurança, topográficas e de capacidade de armazenamento (Oliveira, 2015).

Os rejeitados são o resultado do tratamento das lavarias de cobre e de zinco que não servem para a produção de concentrados, devido à sua granulometria de 100  $\mu\text{m}$ , d80 de 40  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$  e possuem elevado potencial de acidificação (88% pirite) (Oliveira, M., 2015). Os rejeitados antes de serem depositados na albufeira da IRCL, são espessados através de tanques espessadores com adição de floculante para aumentar a sua densidade, de modo que aumenta a capacidade de armazenamento de rejeitados na albufeira da IRCL. E também no encerramento das áreas de deposição esgotadas cuja cobertura é uma camada de escombro para manter níveis de saturação elevada da pasta, possibilitando o encerramento progressivo da IRCL durante a fase operacional da empresa (Oliveira, 2015).

É importante salientar que para a produção de concentrados há sempre a produção de rejeitados, como demonstra o gráfico 1.

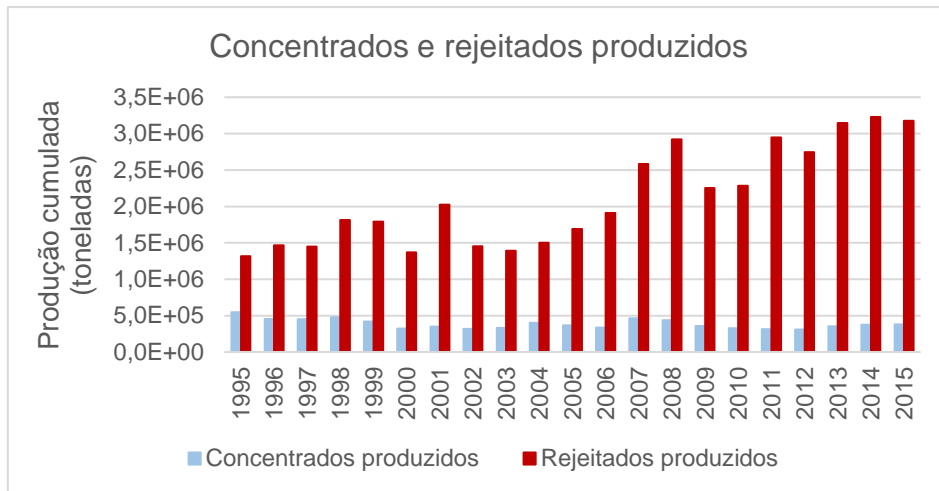


Gráfico 1: Relação entre os concentrados e os rejeitados produzidos.

No gráfico 1 denota-se que a produção de rejeitados é muito superior à produção de concentrados. Com o passar dos anos, constata-se que a produção de concentrados diminuiu em relação à produção de rejeitados.

Sem a presença da estrutura que é a IRCL seria impossível que se pudesse explorar a mina, tornando-se uma estrutura imprescindível e primordial para a fase operacional da SOMINCOR.

### 1.1. Objetivos

Os objetivos desta dissertação estão diretamente relacionados com a análise da estabilidade das portelas da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo (IRCL).

Foram definidos os objetivos que se listam a seguir.

- Descrever e compreender a estrutura da IRCL como todas as fases de construção, trabalhos de alteamento a que foi sujeita e todos os seus constituintes;
- Entender o propósito da instrumentação utilizada na IRCL;
- Organizar os dados recolhidos com a instrumentação a ser estudada;
- Interpretar os dados da instrumentação previamente selecionada em cada portela;
- Relacionar a interpretação de cada tipo de instrumento e, se possível entre eles em cada portela.
- Avaliar as relações obtidas, e se existem ameaças à estabilidade das portelas.
- Propor medidas, caso existam riscos para a estabilidade.

## 1.2. Estrutura da dissertação

No primeiro capítulo é referido o enquadramento geológico e os objetivos da dissertação.

No segundo capítulo é descrito a Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo através de informação fornecida pela SOMINCOR, onde relata as fases de construção, trabalhos de alteamento, os materiais de aterro e o controlo de qualidade destes, estudos geológicos e geotectónicos efetuados e as características da observação da IRCL.

No terceiro capítulo é explicado a importância da instrumentação geotécnica e as finalidades dos diferentes instrumentos utilizados na IRCL nomeadamente, inclinómetros, piezómetros hidráulicos de tubo aberto, piezómetros pneumáticos, caudais de infiltração e marcas superficiais.

No quarto capítulo é apresentado a instrumentação selecionada cujos dados foram facultados pela SOMINCOR e a sua análise em cada portela da IRCL.

No quinto capítulo é discutido a análise efetuada no capítulo anterior e salientar relações possíveis entre elas, de modo a concluir se as portelas correm algum tipo de risco na sua estabilidade.

## 1.3. Enquadramento geológico

O jazigo de Neves-Corvo foi descoberto em 1977, graças a campanhas de prospeção geofísica que revelaram a existência de uma anomalia gravimétrica causada pelo conteúdo metálico das suas mineralizações, como teores anormalmente elevados em cobre e estanho (Carvalho e Ferreira, 1995). A mina de Neves-Corvo situa-se no extremo sudeste do Anticlinal do Rosário, no ramo sul da Faixa Piritosa, Zona Sul Portuguesa, ver figura 1. A sequência estratigráfica compreende a Formação Filito-Quartzítica, a que se sobrepõe o Complexo Vulcano Sedimentar (CVS), subdividido em Complexo Vulcano-Sedimentar Inferior e Complexo Vulcano-Sedimentar Superior, e a Formação de Mértola, ver figura 2. Toda a sequência está imbricada e repetida tectonicamente. (Oliveira et al. 1997)

O jazigo de Neves-Corvo é um conjunto formacional diferenciado que se desenvolve desde o Devónico Superior ao Carbónico Inferior. A partir da base encontra-se: (Carvalho e Ferreira, 1995):

- Formação Filito-Quartzítica (PQ): constituída por xistos negros com intercalações de quartzitos, ocorre um nível lenticular de calcários microcristalinos de Monte Forno da Cal (Oliveira et al. 1997). Os quartzitos apresentam uma sequência “bancada a bancada”

(Carvalho e Ferreira, 1995) com diferentes espessuras até algumas dezenas de decímetros e com critérios de polaridade e granoclassificação bem demonstrados. Por vezes, estas bancadas estão separadas por alternâncias finas de xistos filitosos escuros a negros e o nível de calcários com conodontes foi datado como sendo do Fameniano, idade que marcará o início da atividade vulcânica, de grande escala nesta área. Aflora a 3 km a noroeste da mina e situa-se no núcleo da estrutura anticlinal central do anticlinório Panóias- Castro Verde, de orientação NW-SE. (Carvalho e Ferreira, 1995)

- Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS): Este complexo imbricado tectonicamente é subdividido em duas unidades tectonostratigráficas, o CVS Inferior e o CVS Superior. (Oliveira et al., 1997)

- Complexo Vulcano-Sedimentar Inferior: Abrange as seguintes unidades, da base para o topo:

Vulcânicas Básicas – Apresentadas por doleritos e microandesitos associados aos calcários de Monte Forno da Cal, que providenciaram conodontes do Fameniano Médio. Esta unidade integra o episódio vulcânico mais antigo da região, embora nunca tenha sido encontrado na mina. (Oliveira et al. 1997)

Vulcânicas Ácidas (V1) – Unidade formada por lavas riolíticas que evidenciam estruturas hialoclásticas. Estas estruturas concedem à rocha uma aparência tufácea, o que conduziu à designação de tufos (unidade T0). As vulcânicas V1 ocorrem intercaladas entre a Formação PQ e a Formação do Corvo. Ambas as unidades foram datadas com a idade Fameniano superior para as vulcânicas V1. (Oliveira et al. 1997)

Formação do Corvo – Unidade constituída por xistos com intercalações de nódulos carbonatados e, localmente, com pequenos clastos de tufitos. Esta unidade aparece repetida por carreamentos e corresponde às unidades "TufoBrechóides" (TBO, TB1, TB2, TB3). (Oliveira et al. 1997)

Formação de Neves – As litologias predominantes são xistos negros piritosos com bandas de siltitos. Esta unidade forneceu associações de palinóforos diversificadas e bem preservadas da Biozona LN do Estruniano superior. (Oliveira et al. 1997)

Vulcânicas Ácidas (V2) – Este episódio vulcânico composto por riólitos, semelhante às características texturais do episódio V1. Ocorre sempre intercalado na Formação de Neves, possuindo idade Estruniano superior. (Oliveira et al. 1997)

Sulfuretos Maciços – Constam cinco massas principais identificadas no jazigo nomeadamente, Neves, Corvo, Graça, Lombador e Zambujal. Os sulfuretos maciços ocorrem



geralmente intercalados na Formação de Neves, em posição estratigráfica acima das vulcânicas V2. (Oliveira et al. 1997) A topo do minério do Corvo, ocorre o minério rubané, formado por alternâncias de sulfuretos maciços, xistos negros piritosos e xistos cloritosos. O minério rubané, tradicionalmente considerado como uma unidade estratigráfica sobreposta aos sulfuretos maciços, é agora interpretado, como uma repetição, por carreamento, da margem do minério. Os xistos negros compreendem associações de palinomorfos da mesma idade das recuperadas na Formação de Neves assinalados à Biozona LN. A mineralização possui uma idade Estruniano superior. (Oliveira et al. 1997)

Unidade de Jaspes e carbonatos – Unidade composta por jaspes e carbonatos, associados a xistos cloríticos e sericíticos, ocorre a topo dos xistos da Formação de Neves ou em contacto direto com os sulfuretos maciços. (Oliveira et al. 1997)

- Complexo Vulcano-Sedimentar Superior: Inclui as seguintes unidades, da base para o topo:

Xistos da Graça – Unidade identificada apenas em profundidade, é constituída por xistos siliciosos cinza a negros, com nódulos silico-fosfatados interestratificados, constituindo uma unidade carregada. A idade é atribuída ao Viseano inferior. (Oliveira et al. 1997)

Vulcânicas Ácidas (V3) – Unidade essencialmente riolítica que ocorre intercalada ou interdigitada com os Xistos da Graça, de idade Viseano inferior. (Oliveira et al. 1997)

Formação de Grandaços – Esta formação caracteriza-se pela alternância de xistos negros a siliciosos com nódulos de carbonatos e ocorre frequentemente repetida por carreamentos. Xistos negros da escama inferior possuem esporos assinalados à Biozona NM o que indica uma idade da base do Viseano superior. A lacuna existente entre a Formação de Grandaços e os Xistos da Graça, provavelmente corresponde à Biozona TC poderá corresponder a delaminação de origem tectónica. (Oliveira et al. 1997)

Formação “Borra de Vinho”– Unidade formada por xistos verdes e violeta, com lentículas e nódulos de manganês intercalados, de espessura compreendida entre 10 a 40 m. Unidade repetida, tectonicamente, por carreamentos, constitui um nível guia importante em cartografia. (Oliveira et al. 1997)

Formação do Godinho – Constituída em xistos siliciosos cinza-esverdeados e tufitos finos, por vezes com lentículas de chertes associados. A espessura varia entre 50 a 100 m. Esta unidade representa o episódio vulcânico mais recente da região. Amostras de xistos forneceram associações de esporos da Biozona NM da base do Viseano Superior. A unidade ocorre, igualmente, repetida por carreamentos. (Oliveira et al. 1997)

Formação de Brancanes - Consiste em xistos negros piritosos, ricos em matéria orgânica e níveis de siltitos finos que marcam a passagem progressiva à Formação de Mértola. A espessura desta unidade é da ordem dos 50 metros. Esta unidade encontra-se também repetida por carreamentos e assenta concordantemente sobre a Formação do Godinho. A Formação de Brancanes aflora na proximidade da mina, onde se observam dois horizontes fossilíferos contendo goniatites o que indica uma idade Viseano superior basal. (Oliveira et al. 1997)

- Formação de Mértola: Unidade inferior do Grupo do FLYSCH do Baixo Alentejo (Oliveira et al., 1979; Oliveira et al., 1983), constituída por sucessão turbidítica de xistos escuros e grauvaques. No total, possui uma espessura da ordem de 3000 m. Na mina de Neves-Corvo, encontra-se carregada e duplicada, sendo a escama inferior utilizada como marcador estratigráfico permitindo separar o Complexo Vulcano-Sedimentar Inferior do Complexo Vulcano-Sedimentar Superior. (Oliveira et al. 1997) A idade desta unidade está compreendida entre a base do Viseano superior.

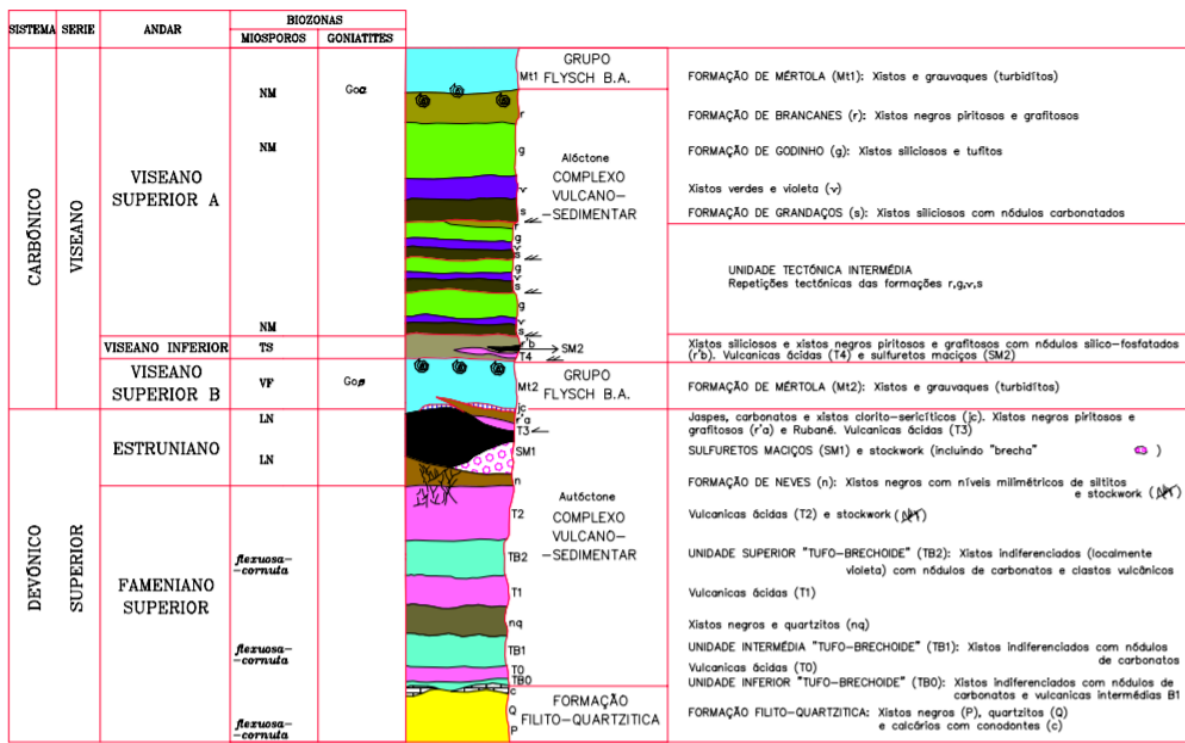


Figura 1: Coluna estratigráfica de Neves-Corvo (adaptado de Ferreira et al., 1993).

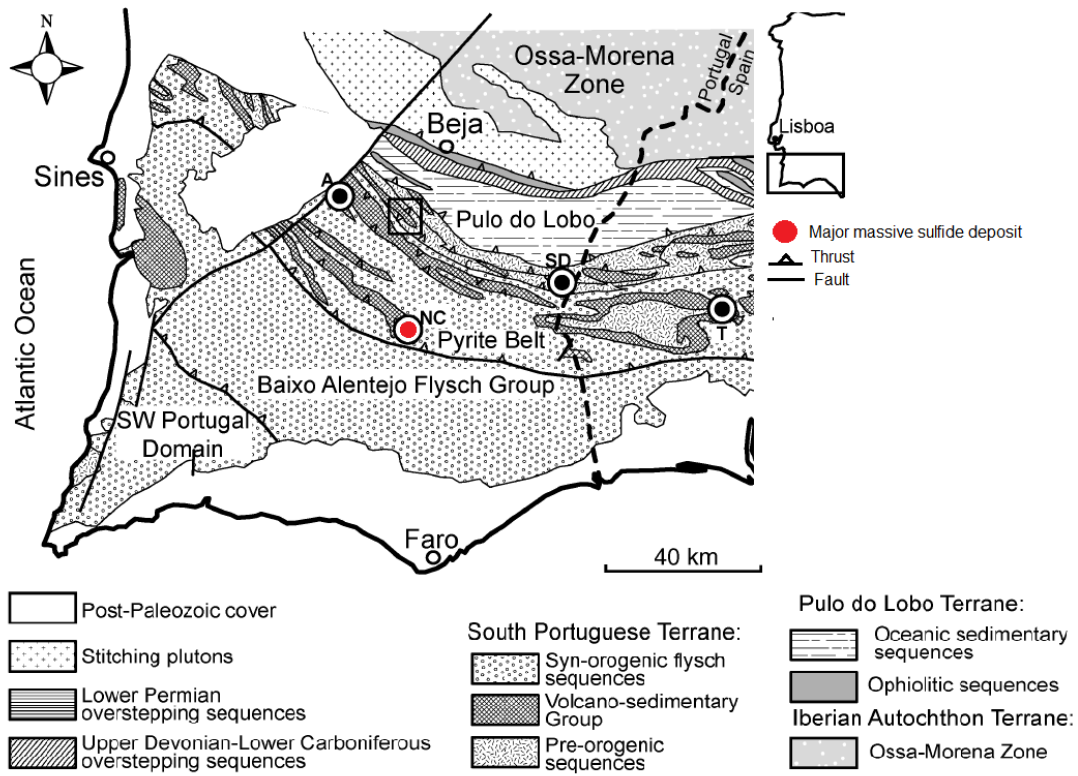


Figura 2: Principais unidades estruturais e domínios tectonostratigráficos no sul da Ibéria (modificado após Quesada, 1991 e adaptado de Rosa et al. 2004).

## 2. Descrição da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo

A Instalação de Resíduos de Cerro do Lobo (IRCL) é uma estrutura construída em forma de barragem de enrocamento situada no concelho de Almodôvar, distrito de Beja. Está integrada no complexo mineiro de Neves-Corvo cuja empresa detentora é a SOMINCOR, subsidiária da Lundin Mining, ver figura 3.



Figura 3: Imagem retirada do Google Earth do ano 2013 do complexo mineiro de Neves-Corvo.

Inicialmente, a IRCL foi construída para a deposição subaquática de rejeitados com descarga nula para o meio ambiente, de maneira a minimizar os impactes ambientais. Em 1990, a IRCL não tinha capacidade para albergar o elevado volume de rejeitado estipulado na 1ª fase, o que levou a SOMINCOR a estabelecer o Projeto de Alteamento. A partir de estudos topográficos, a SOMINCOR estipulou o limite prático para a construção da IRCL, apresentado pela cota final de coroamento de 255 m, cujos alteamentos se dividiram em 3 fases que irão ser descritas (Hidroprojeto, 2002).

A instalação de resíduos de Cerro do Lobo é constituída por 7 portelas, (ver figura 4) nomeadamente: Portela da Margem Direita, Corpo Principal, Portela do Corpo Principal, Portela da Margem Esquerda 1, Portela da Margem Esquerda 2A, Portela da Margem Esquerda 2B, Portela da Margem Esquerda 2C. E também por uma pequena barragem de Monte Branco integrada no sistema de derivação das águas afluentes às cabeceiras do Barranco das Lajes para o Barranco do Monte Branco. As características de cada portela apresentam-se na tabela 1. Para observação da delimitação das portelas ver anexo I.

Tabela 1: Características dos corpos de aterro da IRCL (adaptada da CENORGEIO, 2005a).

Corpo de aterro		Símbolo	Ponto quilométrico no eixo da barragem		Comprimento (m)	Altura máxima do aterro acima da fundação (m)
Portela da Margem Direita		MD	PK0+020	PK0+412	432	11
Barragem Principal	Corpo Principal	CP	PK0+412	PK1+062	650	42
	Portela	PCP	PK1+729	PK2+030	590	13
Portela ME1		ME1	PK1+729	PK2+030	301	17
Portela ME2A		ME2A	PK2+150	PK2+650	500	12
Portela ME2B		ME2B	PK2+650	PK2+980	330	6
Portela ME2C		ME2C	PK2+980	PK3+270	290	5
B. Monte Branco		BMB	PK3+270	PK3+504	234	7

## 2.1. Fases de construção da IRCL

Segundo o relatório Barragem de Cerro do Lobo, 4ª fase de construção – Remodelação do projeto de alteamento da barragem da cota 252 para a cota 255 – Projeto de Execução, Volume 1 – Memória descritiva e justificativa, (Hidroprojeto, 2002) foram retiradas informações sobre as fases de construção e as suas características que se seguem.

A 1ª fase de construção com coroamento à cota 244 m e uma capacidade de  $6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, ficou operacional em Outubro de 1988. Pensava-se que a IRCL seria satisfatória nos primeiros três anos de exploração com a produção de cobre estipulado pela SOMINCOR. Contudo, com o novo projeto de exploração industrial de estanho (fevereiro de 1990), os volumes de rejeitado aumentaram significativamente e uma pluviosidade anormal nos invernos de 1989 e 1990 originaram um rápido enchimento da albufeira. Estes fatores incitaram à elaboração do Projeto de Alteamento, em Março de 1990.

A partir do estudo dos contextos topográficos de implantação da IRCL, a SOMINCOR estipulou o limite prático para a construção da IRCL, apresentado pela cota final de coroamento de 255 m. Os trabalhos de alteamento foram delimitados em 3 fases, cujas características se apresentam na tabela 2.

Tabela 2: Características específicas das fases de construção da IRCL (Hidroprojeto, 2002).

Fases de construção	Cota do coroamento (m)	Volume de armazenamento (m <sup>3</sup> )	Nível de Armazenamento NPA (m)	Ano de conclusão
1ª Fase	244	$6 \times 10^6$		1988
2ª Fase - 1º alteamento	248	$11 \times 10^6$	246,75	1990
3ª Fase - 2º alteamento	252	$15 \times 10^6$	250,50	1993
4ª Fase - 3º alteamento	255	$20,4 \times 10^6$	253,50	2005

A IRCL foi construída em aterro zonado central, cujo núcleo argiloso central com declives de 8(V):1(H) foram empregues solos residuais de xistos e os maciços estabilizadores em escombros da mina. De maneira a possibilitar a recolha das águas de percolação do corpo dos aterros e da fundação, o sistema drenante consistiu num filtro subvertical a jusante do núcleo que se estende por tapetes drenantes. Estes foram associados a uma trincheira drenante no corpo principal realizada ao longo do pé da barragem a jusante que permitia a concentração das águas de infiltração que eram bombeadas de volta para a albufeira.

Na 2ª fase, o aterro zonado da 1ª fase foi conservado, tendo como principais modificações, a aplicação de uma geomembrana em PEAD e a substituição do estéril da mina por material de uma pedreira nas imediações da obra. A geomembrana foi ancorada ao núcleo argiloso através de uma mistura de areia e bentonite e assente sobre o filtro existente da 1ª fase e ligada pelo prolongamento da geomembrana ao maciço rochoso por um plinto em betão armado. A envolvência da mistura de areia e bentonite no seguimento do plinto é feita para ampliar a zona de selagem e reprimir o surgimento de aberturas na superfície de contacto entre o betão e o material de aterro.

Na 3ª fase de construção, o corpo principal possuía 3 banquetas, às cotas 240,30 m, 234,20 m e 228,30 m. Nas portelas, o talude de montante dispõe de uma banqueta de modo a possibilitar o posicionamento dos rejeitados da mina, espalhados de forma uniforme ao longo do contorno da albufeira.

A recirculação da água foi um método adotado desde a 2ª fase da construção com o propósito de alcançar coerência ativa entre as aflúncias e a evaporação com o aumento expectável do nível do sobrenadante devido a caudais crescentes. Na 3ª fase, de maneira a controlar as aflúncias, foi estabelecido o sistema de intercepção e desvio do escoamento natural, que tinha como finalidade a derivação de 80% do escoamento natural da albufeira. “A barragem de Monte Branco integra o sistema de derivação das águas afluentes às cabeceiras do Barranco das Lajes (corpo principal)” (CENORGE, 2005a). Estes parâmetros planeados de desvio de aflúncias e de recirculação de caudais para atingir exploração da albufeira com “descarga nula” para esta fase, não foi conseguida, por isso procedeu-se à concretização da 4ª fase de construção.

Na 4ª fase de construção, o carácter zonado das fases antecedentes composto por um aterro de enrocamento impermeabilizado através da geomembrana e a troca de material estéril por material de pedreira foi preservado (enrocamento de grauvaques), como também as características de inclinação e das camadas de enrocamento. Apenas o revestimento do talude de jusante se modificou, tendo blocos de maiores proporções, que por sua vez, foram conduzidos para a zona de paramento.

O coroamento do corpo principal e das portelas foi coberto por “tout-venant”, mantendo os 8 m de largura. O desenvolvimento do coroamento do corpo principal foi de 1220 m, da portela ME1, 270 m, da ME2 1405 m e da MD, 412 m. As três banquetas no corpo principal subiram de cotas, cota 245 m, 235 m e 225 m, respetivamente. A portela ME1 dispõe de uma banqueta à cota 245 m.

A geomembrana foi substituída por uma semelhante, a junção da nova geomembrana “de polietileno de alta densidade (PEAD) de textura rugosa com 2 mm de espessura – GUNDLIN HDT Textured Sheet de 80 mil da marca GUNDLE” (Hidroprojeto, 2002) e foi unida por suturas, esta foi coberta por material de granulometria apropriada, “inferiormente (camada de assentamento) e superiormente (camada de proteção)” (Hidroprojeto, 2002) para impedir a perfuração ou punçoamento da geomembrana e a sua junção à fundação foi feita da mesma forma das fases anteriores.

A propagação esporádica de águas ácidas nos aterros provoca a deterioração do aterro, portanto foi construído um dreno de pé com “burgau rolado de rio” (Hidroprojeto, 2002) que retém o fluxo e a ação química das águas.

Referente aos órgãos de segurança, o descarregador de cheias, durante as fases de construção, teve várias localizações em zonas diferentes do aterro. Todavia, na 4ª fase situa-se no encontro esquerdo da barragem de Monte Branco e possui uma soleira reta com 25 m de largura, cuja crista está a uma cota de 253,50 m. Inicialmente, a descarga de fundo tinha o propósito de difusão das águas armazenadas na albufeira para a ribeira, contudo a natureza da água não preenchia os requisitos de qualidade pré-estabelecidos para a sua receção para o meio ambiente, tendo-se tornado num órgão de segurança extra para esvaziamento regulado da albufeira. Todavia, a captura de água teria que ser sub-superficial, uma vez que a deposição de rejeitados era subaquática, o que a tornava a denominação de descarga de fundo obsoleta. A descarga de foi selada em 1999 (3ª fase de construção) e substituída por uma descarga auxiliar que permitia descarregar a água superficial da albufeira de maneira controlada, denominada por sifão para o reservatório de segurança.

A SOMINCOR estipulou que a 4ª fase corresponde à fase final de construção, para tal teve que ser convencionado as conjunturas de “recirculação máxima do sobrenadante” (Hidroprojeto, 2002) conciliável com a exequibilidade técnica e económica do sistema. Para tal, averiguou o que era feito noutros projetos mineiros que teriam os mesmos fatores, de maneira a empregar as tecnologias mais apropriadas para assegurar o grau de segurança elevado necessário para a exploração da albufeira.

Com o alteamento da 4ª fase, a albufeira da Instalação de Rejeitados de Cerro do Lobo é caracterizada por um “nível de armazenamento de 253,50 m, área inundada de 1,8 km<sup>2</sup>, um

volume de armazenamento de  $20,4 \times 10^6 \text{ m}^3$  e nível de máxima cheia (T=10 000 anos) de 253,80 m." (Hidroprojeto, 2002).

## 2.2. Materiais para aterros

Os materiais de aterro empregados na Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo foram sujeitos a estudos granulométricos, de permeabilidade e de caracterização mecânica.

Os materiais empregues na IRCL foram os seguintes:

- Enrocamentos de grauvaques britados das pedreiras dos Porteirinhos e dos Gorazes:

Pj – Granulometria extensa utilizado nos aterros de alteamento;

Pj' – Por seleção do material Pj (rip-rap) para revestimento do paramento de jusante e na execução da esteira para tubagens ao longo do coroamento;

R – Material de enrocamento para proteção do talude de montante.

- Areias para filtros e drenos granulares

Gravilha 2A – Para o dreno do pé da barragem, substituindo o material D apresentado no Projeto de Execução da Hidroprojeto (2002) e adquirido na exploração de Santa Margarida do Sado;

F – Areia grossa empregue nas camadas de assentamento e de proteção da geomembrana;

F' Areia fina utilizada na mistura areia mais bentonite como camada de proteção e ancoragem da geomembrana;

### 2.2.1. Material Pj

a) Proveniência - O enrocamento utilizado nos aterros de alteamento da IRCL provieram da pedreira dos Porteirinhos, cujo material foi sujeito a ensaios de caracterização. Na ausência deste material recorreu-se à pedreira dos Gorazes.

b) Condições de colocação - Para a colocação do material foram consideradas as seguintes condições para o plano de lavra: - Após o desmonte, o material deverá ter dimensão compatível com os fusos granulométricos previamente estabelecidos;

- A máxima dimensão admissível no carregamento e transporte de blocos é de 30 cm, os blocos que ultrapassem esta dimensão deverão ser fraturados mecanicamente ou sujeitos a taqueio;

- A rocha sondada deve ter natureza grauvacóide e com atributos mecânicos (resistência e deformabilidade) e durabilidade apropriadas.



Deve haver saneamento de níveis superficiais de rocha muito alterada, decomposta e muito fraturada”, a remoção deve ser feita através de meios mecânicos, considerado suficiente. Só quando o volume de maciço compreendido pela malha de furação de cada pega satisfazer as exigências indicadas, se poderá avançar com o desmonte. (Hidroprojeto, 2002)

Conforme a variação das características geomecânicas e petrográficas das frentes da pedreira, o plano de lavra deve ser adaptado, de modo a possibilitar a opção das direções de avanço mais proveitosas e a selecionar as áreas de rejeição.

Aquando a concretização dos aterros experimentais foi colhido material no aterro e através dele, amostras para a execução de testes laboratoriais de caracterização mecânica.

Em obra foram determinadas as especificações construtivas de colocação e compactação, de acordo com os resultados adquiridos nos aterros experimentais. Os problemas de fracturação por compactação foram avaliados aquando da execução “dos primeiros aterros” que possibilitaram o ajustamento dos procedimentos através dos equipamentos utilizados na construção da instalação. O controlo foi feito através da “avaliação do peso volúmico aparente seco e da granulometria do material do aterro e a comparação com os valores obtidos nos aterros experimentais.” Considerou-se, para “limite mínimo para o estado de compacidade”, um peso volúmico aparente seco ( $\gamma_d$ ) de 22,5 kN/ m<sup>3</sup>, que equivale a “um índice de vazios inferior a 0,20”.

c) Características granulométricas - Para os materiais oriundos da pedreira determinaram-se os seguintes limites:

$$D_0 \leq 1 \text{ mm}$$

$$0,074 \text{ mm} \leq D_{10} \leq 4 \text{ mm}$$

$$0,5 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 7 \text{ mm}$$

$$15 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 82 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} \leq D_{85} \leq 270 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} \leq D_{100} \leq 400 \text{ mm}$$

Coeficiente de uniformidade  $C_u > 10$ .” (Hidroprojeto, 2002)

A deformabilidade dos enrocamentos aumenta com a dimensão dos blocos, pelo que a tendência é a de utilizar elementos rochosos de menor dimensão (PINTO, 1983). Para diminuir “ao máximo o índice de vazios pela compactação”, a espessura das camadas não deve ser elevada, de maneira que para o “valor de diâmetro D100”, a espessura da camada deve ser na ordem de 0,40 m. (Hidroprojeto, 2002)

d) Características de permeabilidade - A presença de uma estreita “percentagem de finos inferior a 10%” suporta a consideração que o “coeficiente de permeabilidade deste material um valor da ordem  $10^{-6}$  m/s”. (Hidroprojeto, 2002)

e) Características mecânicas - “Atribui-se a este material um ângulo de atrito interno, para o nível de tensões a que ficará submetido, de  $41^\circ$ .” (Hidroprojeto, 2002)

### 2.2.2. Materiais F e material D

a) Proveniência - Os materiais com as qualidades de granulometria e características mecânicas pretendidas não ocorriam no local da obra, pelo que foram adquiridos nos areeiros de origem aluvionar de Santa Margarida do Sado pela Burgausado. Este é constituído totalmente por cascalho rolado de quartzo que é um mineral estável na presença de águas muito ácidas (CENORGEO, 2005a). De acordo com os primeiros estudos, o material D obtinha-se por mistura em partes iguais de duas composições produzidas pela Burgausado, designadas no areeiro por “Seixo” e “Gravilha 2A” tendo ficado acordado que a mistura seria feita no areeiro (CENORGEO, 2005a). Verificou-se que nas primeiras cargas chegadas à obra que o material apresentava uma certa heterogeneidade granulométrica e tendência para a segregação, razão pela qual se propôs ao Projetista a revisão do fuso granulométrico, substituindo a mistura por gravilha 2A (CENORGEO, 2005a).

b) Condições de colocação - O material proveniente do areeiro foi geralmente descarregado em pilhas ao longo da barragem e, por vezes, diretamente na camada quando as condições de circulação e de descarga dos semirreboques assim o permitiam. Em obra, verificou-se ainda ser necessário confinar a camada de gravilha por um aterro em Pj ao longo do pé da barragem. Este aterro foi executado a partir da fundação com cerca de 2,5 a 3 m de largura para permitir a sua compactação com o cilindro de 14 toneladas. A colocação deste material foi unicamente controlada por análises granulométricas de amostras colhidas ao longo dos aterros da barragem (CENORGEO, 2005a)

c) Características granulométricas - “De acordo com o dimensionamento do sistema de filtros e drenos, que a seguir se apresenta, foram definidos para os materiais F e D os seguintes limites granulométricos:” (Hidroprojeto, 2002)

“- Material F – areia e burgau de rio

$$0,074 \text{ mm} \leq D_5 \leq 0,4 \text{ mm}$$

$$0,15 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 0,7 \text{ mm}$$

$$1 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 3,5 \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} \leq D_{85} \leq 20 \text{ mm}$$

$$12,7 \text{ mm} \leq D_{100} \leq 40 \text{ mm}$$

Coeficiente de uniformidade  $C_u < 20$  (Hidroprojeto, 2002)

- Material D – gravilha 2A

$$D_{15} \leq 3,8 \text{ mm}$$

d) Características de permeabilidade - "O material F deverá apresentar um coeficiente de permeabilidade,  $k$ , superior  $10^{-3}$  m/s e o material D, um  $k$  superior  $10^{-2}$  m/s." (Hidroprojeto, 2002)

e) Características mecânicas - Segundo a experiência conseguida com materiais idênticos aos determinados para "o dreno de pé de talude (material D), atribuem-se a estes materiais os seguintes parâmetros de resistência:  $c'=0$  (coesão)  $\Phi'=36^\circ$  (ângulo de atrito interno). "Para a zona de contacto entre o material F e a geomembrana (camadas de assentamento e de proteção) considerar-se-á um ângulo de atrito interno  $\Phi$  de  $32^\circ$  idêntico ao atribuído nas 2ª e 3ª fase de alteamento." (Hidroprojeto, 2002)

### 2.2.3. Material F'- selagem da geomembrana

a) Proveniência - A união da geomembrana ao maciço de fundação utilizou-se areia obtida por britagem a adquirir em pedreira em exploração na zona.

b) Condições de colocação - Tal como nos alteamentos anteriores, a selagem da geomembrana à fundação foi feita com mistura de areia e bentonite. Nos resultados adquiridos dos ensaios laboratoriais da 3ª fase de alteamento, a mistura adequada para a selagem possui percentagens de bentonite da ordem de 5 a 8% e para teores em água na ordem de 13 a 14%. A bentonite utilizada em obra foi sujeita a testes de compactação leve e a ensaios de permeabilidade.

c) Características granulométricas - "A areia destinada à selagem da geomembrana terá uma granulometria definida pelos seguintes limites:

$$0,074 \text{ mm} \leq D_5 \leq 0,3 \text{ mm}$$

$$0,1 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 0,4 \text{ mm}$$

$$0,2 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0,7 \text{ mm}$$

$$0,35 \text{ mm} \leq D_{85} \leq 1,15 \text{ mm}$$

$$0,40 \text{ mm} \leq D_{100} \leq 1,5 \text{ mm}$$

d) Características de permeabilidade - "A mistura (areia+bentonite) deverá apresentar um coeficiente de permeabilidade  $k$  inferior a  $10^{-7}$  m/s." (Hidroprojeto, 2002)

#### 2.2.4. Material R – Enrocamento de proteção

a) Proveniência - O enrocamento de grauaques como proteção do talude de montante foi obtido nas pedreiras dos Porteirinhos ou dos Gorazes, em exploração na zona (Hidroprojeto, 2002).

b) Características granulométricas - "A proteção do talude de montante será feita com o enrocamento a granel de diâmetro médio  $D_{50}=0,30$  m :

$$180 \text{ mm} \leq D_0 \leq 225 \text{ mm}$$

$$210 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 360 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 450 \text{ mm}$$

$$420 \text{ mm} \leq D_{85} \leq 480 \text{ mm}$$

$$455 \text{ mm} \leq D_{100} \leq 500 \text{ mm}" \text{ (Hidroprojeto, 2002)}$$

Para as proteções do paramento de jusante dos aterros visam efeitos de erosão devido a águas da chuva. No entanto, essa ação erosiva só é suscetível de provocar problemas no caso de aterros de solos. No caso da IRCL, a proteção do paramento de jusante será feita com os elementos de maiores dimensões dos aterros que serão transportados ou empurrados para a zona de paramento.

Para melhor compreensão e zonamento dos materiais constituintes dos aterros apresenta-se na figura 4 um perfil transversal do Corpo Principal.

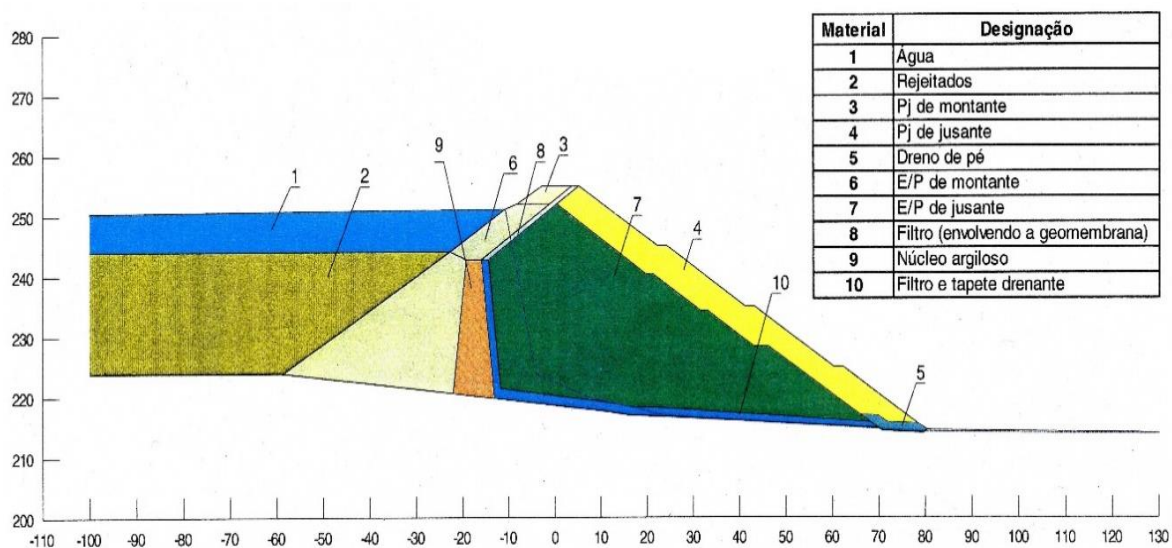


Figura 4: Perfil transversal do Corpo Principal. (Hidroprojeto, 2002)

Tabela 3: Parâmetros geotécnicos dos materiais de aterro, da água e dos rejeitados.  
(Hidroprojeto, 2002)

Material	Designação	$\gamma_t$ (KN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (grau)
1	Água	9,8		
2	Rejeitados	16	10	
3	Pj de montante	23	0	41
4	Pj de jusante	23	0	41
5	Dreno de pé	20	0	40
6	E/P de montante	22,4	0	40
7	E/P de jusante	22,4	0	40
8	Filtro (envolvendo a geomembrana)	19,5	0	32
9	Núcleo argiloso	21,8	N.D.	31
10	Filtro e tapete drenante	19,5	0	36

Sendo  $\gamma_t$  – peso volúmico aparente total;  $c'$  – coesão em termos de tensões efetivas;  $\phi'$  – ângulo de atrito interno em termos de tensões efetivas, N.D. – Não determinado.

### 2.3. Trabalhos de alteamento

As informações que se seguem foram retiradas do relatório final de construção da CENORGEIO sobre a 4ª Fase de Construção, Alteamento para a cota 255, Volume 1 – Memória descritiva da execução dos trabalhos, Outubro (CENORGEIO, 2005a).

Os trabalhos executados na 4ª fase de construção correspondente ao 3º alteamento, da cota 252 para a cota 255 fizeram-se em duas fases. A primeira consiste nos trabalhos realizados a jusantes dos aterros, que incluiu as seguintes estâgios:

1. Remoção da rocha compactada dos solos de cobertura e dos materiais bastante contaminados das trincheiras drenantes para preparação da fundação dos aterros;
2. “Decapagem no paramento de jusante do aterro existente da camada superficial alterada, por níveis com cerca de 5 m de altura;” (CENORGEIO, 2005a)
3. Execução dos novos poços de captação e de bombagem e restabelecimento dos respetivos drenos de recolha e condução das águas dos sistemas drenantes montados nos corpos da IRCL;
4. Abertura das valas longitudinais de interceção nas junções transversais e concretização de diques impermeáveis no pé da barragem, junto às linhas de água;
5. Normalização e saneamento das superfícies de assentamento do tapete drenante;
6. Colocação do tapete drenante em gravilha 2A e execução do aterro e confinamento em Pj ao longo do pé da barragem;
7. Realização do aterro em material Pj até cerca de 1 m abaixo do coroamento existente (cota 251).

A fase seguinte trata dos trabalhos feitos acima da cota 251, destacando-se os trabalhos efetuados sobre os corpos de aterro existentes e nos prolongamentos desses corpos, onde se efetuaram “os plintos de amarração da geomembrana ao maciço de fundação.” (CENORGEIO, 2005a). Esta segunda fase incluiu, sequencialmente, as seguintes tarefas (CENORGEIO, 2005a):

1. “Escavação no aterro existente até cerca da cota 251 para exposição da geomembrana antiga;”
2. “Levantamento da geomembrana e seu dobramento para montante;”
3. Concretização do aterro em Pj a jusante da geomembrana até à cota 253,75, reperfilamento e acabamento do paramento de jusante;
4. “Reperfilamento do talude de montante até à cota 253,75 e colocação da camada de assentamento da geomembrana com 0,40 m de espessura em areia de filtro com granulometria F (areia lavada do areeiro da Burgausado);”
5. Execução da camada inferior do maciço de ancoragem da geomembrana com o topo à cota 254,30 m, em areia de granulometria F’ (areia do areeiro de Vale do Guizo);
6. Colocação de geomembrana antiga sobre a designada camada de assentamento e reparação dos rasgos e perfurações existentes;
7. Limpeza da camada de areia de proteção da geomembrana existente e prolongamento até cerca da cota 252,50 com areia do Vale do Guizo;
8. Enchimento da vala a montante da geomembrana até à cota 252 m, com material E proveniente da escombreira da mina, comprimido com cilindro pequeno por camadas de 0,15 m de espessura, dispersas com giratória;
9. Colocação da geomembrana nova em painéis previamente prontos, fixação temporária com sacos de areia e execução das soldaduras verticais entre painéis e respetivos ensaios de controlo sistemático;
10. Preparação e execução da soldadura longitudinal entre as geomembranas antiga e nova e testes de controlo sistemático;
11. Colocação da camada de proteção sobre a geomembrana com 0,30 m de espessura em areia fina de granulometria F’ do areeiro de Vale do Guizo;
12. Execução do aterro a montante da geomembrana até à cota 254,30 com material E proveniente da escombreira da mina, por camada de 0,30 a 0,40 m de espessura;

13. Reperfilamento do talude de montante e eliminação da parte superior do rip-rap existente por não ter granulometria adequada;
14. Execução das últimas camadas de aterro em Pj, até à cota 254,90 m;
15. Emprego do rip-rap de proteção do paramento de montante até à cota 254,90 m;
16. Conclusão de talude de jusante em Pj' até à cota 255,30 e realização da esteira de condutas a montante até à cota 255,10 formando a caixa do pavimento;
17. Construção das marcas superficiais previstas no coroamento da barragem;
18. Realização do pavimento em "tout-venant" de pedreira conforme as pendentes acordadas com o Dono de Obra.

Após o prolongamento dos corpos de aterro, foram feitos trabalhos de preparação da fundação e de construção do plinto de amarração da geomembrana ao terreno, que se dividiram, sucessivamente, conforme se passa a referir (CENORGE, 2005a):

1. Saneamento dos solos de cobertura presentes na zona de fundação da IRCL;
2. "Escavação em rocha de uma caixa com cerca de 3 a 4 m de largura para implantação do plinto em betão;"
3. Normalização e limpeza do fundo de caixa, compreendendo o desmonte de algumas protuberâncias com martelo demolidor e a remoção dos blocos soltos ou apenas separados do maciço rochoso;
4. Colocação da camada de betão de regularização do plinto, segundo um perfil adaptado à superfície da fundação, de modo a diminuir o consumo de betão a aplicar;
5. Betonagem de plinto por troços alternados com comprimentos variáveis até 20 m, integrando o perfil Polylock para ligação da geomembrana;
6. Realização das drenagens quando necessárias;
7. "Execução do aterro em Pj a jusante da geomembrana até à cota 253,75, reperfilamento dos taludes de montante e de jusante, colocação da camada de assentamento da geomembrana com 0,40 m de espessura;"
8. Aplicação da geomembrana nova e realização das soldaduras verticais entre painéis e das soldaduras, por extrusão, entra a geomembrana e perfil Polylock e dos respetivos testes de controlo sistemático;

9. “Envolvimento do plinto com a mistura areia bentonite por camadas de 0,10 m a 0,15 m de espessura compactadas com cilindro pequeno;”

10. “Proteção de envolvimento do plinto e da geomembrana com uma camada de 0,30 m de espessura de areia de Vale do Guizo.”

As tarefas decorrentes até à terminação dos aterros foram executados do mesmo modo e simultaneamente com os que se localizavam na zona dos antigos corpos de aterro da IRCL (tarefas 12 a 18).

Finalmente, realizou-se o acabamento do coroamento e rampas de acesso, que não era conjecturado no projeto inicial, o que abrangeu o revestimento betuminoso superficial simples na faixa de rodagem e da aplicação de marcos de segurança rodoviária no contorno da crista do paramento de jusante da IRCL.

#### 2.4. Estudo dos materiais e controlo de qualidade dos aterros

As informações que se seguem foram retiradas do relatório final de construção da CENORGEIO sobre a 4ª Fase de Construção, Alçamento para a cota 255, Volume 1 – Memória descritiva da execução dos trabalhos, Outubro (CENORGEIO, 2005a).

Para controlo e melhor eficácia na colocação e desempenho de aterros foram realizados os seguintes ensaios (CENORGEIO, 2005a):

- “Ensaio macro para a determinação do peso específico aparente seco, do índice de vazios e da curva granulométrica do material, após compactação da camada;” (CENORGEIO, 2005a)
- “Ensaio de garrafa de areia para a determinação do peso específico seco e do teor em água do material colocado e verificar a respetiva compactação relativa e o desvio do teor de água em relação ao teor ótimo por comparação com os parâmetros de referência dos ensaios Proctor efetuados regularmente no laboratório da obra;” (CENORGEIO, 2005a)
- “Granulometrias dos materiais colocados na camada ou em stock antes da sua aplicação.”

A tabela 4 exhibe, resumidamente, os tipos e a quantidade de ensaios feitos para controlo de cada um dos materiais aplicados nos aterros da IRCL.



Tabela 4: Tipos e quantidade de ensaios. (CENORGEO, 2005a)

Material	Nº de ensaios			
	Granulometria	Garrafa de areia	Macros	Proctor
Enrocamento de granulometria extensa, material Pj	219	---	223	---
Enrocamento de proteção, material R e Pj'	4	---	---	---
Gravilha 2A para dreno	33	---	---	---
Areia grossa, material F	15	---	---	---
Areia fina, material F'	10	---	---	---
Solo-enrocamento, material E	26	1244	17	4
Mistura F'+B	33	55	---	5
<i>Tout-venant</i> de pedreira	4	34	---	2

Em relação à colocação e controlo dos aterros, “o material Pj proveniente das pedreiras foi descarregado em cordão a cerca de 3 a 5 m da frente da camada e espalhado com bulldozer. Na fase de espalhamento foi feita a molhagem intensa e homogeneização do material. A compactação efetuou-se com cilindro vibratório de rolo liso de 14 toneladas” (CENORGEO, 2005a). Segundo os ensaios macro e inspeção visual feita na receção, determinadas camadas foram parcialmente excluídas, uma vez que estas apresentavam granulometria mais fina após molhagem abundante, ficavam com teor em água demasiado elevado o que impedia a sua compactação por “efeito de colchão.” (CENORGEO, 2005a)

O material para drenos obteve-se nos areeiros explorados pela Burgausado, composto por cascalho rolado de quartzo (mineral estável na presença de águas muito ácidas), designado como gravilha 2A. A verificação feita pelo Hidroprojeto em 2003, em relação à composição granulométrica do aterro existente (material E, escombros) que fica em contacto com dreno de pé, concluiu que a gravilha 2A (com  $15 < D \leq 3,8$  mm) cumpre a condição de filtro em relação ao material E, tendo sido aceite a sua utilização em lugar do material D (CENORGEO, 2005a).

Antes da colocação da gravilha, a superfície de fundação foi limpa para remoção das partículas finas que poderiam ser arrastadas pelas águas que circulam na base do dreno, de modo a impedir a obstrução do dreno por arrastamento de finos nas áreas baixas onde se encontram as saídas para os poços de captação e bombagem (CENORGEO, 2005a).

Relativamente às camadas de envolvimento da geomembrana, com base no Projeto de Execução da (Hidroprojeto, 2002) é indicado que a geomembrana ficaria envolvida por duas camadas de material F com espessuras iguais a 0,50 m. Contudo nas trincheiras abertas para confirmação da posição da geomembrana no coroamento da Portela MD, constatou-se que a camada sobrejacente à tela era em areia fina do areeiro do Vale do Guizo. Posto tal, a Fiscalização recomendou as seguintes alterações (CENORGEO, 2005a):

- “Na camada inferior para assentamento da geomembrana, com função de filtro drenante, manter o mesmo material (areia de granulometria F), mas com espessura de 0,40 m em vez de 0,50 m;”
- “Na camada sobrejacente à geomembrana, com funções de proteção, substituir o material F por areia do areeiro de Vale do Guizo (areia fina de granulometria F’), com menor custo para o Dono de Obra, e passar a espessura da camada para 0,30 m em vez de 0,50 m;”
- “Nas camadas de ancoragem da geomembrana, utilizar também a areia de Vale do Guizo segundo um novo perfil geométrico.” Estas modificações promoveram uma redução significativa do volume de areia F obtida na Burgausado, devido à utilização de areia de Vale do Guizo proveniente do areeiro da SOMINCOR de menor custo em obra. (CENORGEO, 2005a).

Porém, julgou-se que a substituição de material na ancoragem da geomembrana não impossibilitaria, na eventualidade de um novo alteamento, dar continuidade à camada de assentamento da geomembrana com funções de filtro drenante. Inicialmente no Projeto de Execução, os aterros não teriam o material E de escombreira, todavia, a Fiscalização sugeriu a substituição do material Pj por material E no aterro a montante da geomembrana. Esta troca facultou uma redução considerável do volume de enrocamento britado das pedreiras e do uso do material disponível nas escombreiras, com claras vantagens económicas e sem causar problemas aos pressupostos do projeto. (CENORGEO, 2005a)

O envolvimento dos plintos em mistura areia+bentonite feita com areia do areeiro do Vale do Guizo (material F’) e com uma percentagem de bentonite de 8%, predominantemente da marca Clarsol e uma pequena quantidade da marca Gador disponível na SOMINCOR. (CENORGEO, 2005a)

Para preparação da mistura foram considerados dois procedimentos: em camadas, feito na fase anterior do alteamento e na betoneira com colocação direta na camada. A mistura com betoneira possui as seguintes vantagens: mistura mais homogénea, controlo otimizado dos teores de bentonite e de água e menor aplicação de meios humanos e de equipamentos, uma vez que a betoneira substituiria o camião de transporte e a giratória para descarga. Para confirmar a viabilidade da mistura fez-se um pré-ensaio com uma pequena betoneira fixa, com resultados positivos. No entanto, o ensaio feito em condições reais com uma betoneira móvel de 2 m<sup>3</sup>, constatou-se que havia dificuldades na mistura da água e na descarga do material, o que levou a que o Empreiteiro desistisse deste método, e empregasse o método da mistura em camadas. (CENORGEO, 2005a)

As misturas colocadas em obra foram preparadas numa plataforma a jusante de ME2A, a preparação foi feita alternadamente em 2 faixas, “em cada faixa foram espalhadas primeiramente 22 m<sup>3</sup> de areia numa camada com cerca de 4 m de largura e de 20 a 25 cm de espessura. Procedeu-se em seguida à mistura da bentonite na areia com um equipamento agrícola constituído por uma grande fresadora puxada por um trator. Após algumas passagens da grade para mistura a seco, adicionava-se água gradualmente à mistura até se obter o teor de água próximo de 13% (Wopt+1%). Concluída a mistura, era feito o carregamento do material do núcleo da camada, das 3 preparações consecutivas, a areia com bentonite rejeitadas anteriormente, eram homogeneizadas e aplicadas no aterro.” (CENORGE, 2005a).

Antes da aplicação da mistura areia+bentonite, executou-se a limpeza do betão e da rocha numa faixa com largura mínima de 0,70 m, foram colocados cordões de uma outra mistura mais rica em bentonite (20%) nos contatos entre o betão de regularização e o plinto e nas fendas de retração do betão e do plinto. De maneira a assegurar uma selagem suplementar das discontinuidades já presentes no plinto. A mistura foi empregue por camadas de 0,15 a 0,20 m de espessura e compactadas com cilindro vibrador pequeno e, nas zonas menos acessíveis com compactador manual. As espessuras mínimas da camada de envolvimento da selagem do plinto foram asseguradas, no contacto com a fundação a camada adaptou-se à escavação existente, garantindo uma boa superfície de contacto com a rocha numa largura superior a 0,50 m. (CENORGE, 2005a)

Sobre a camada horizontal de 0,30 m que cobre a face superior do plinto, foi definido em obra espalhar uma camada de 0,15 m de areia F', pois confirmou-se que o movimento do bulldozer no espalhamento dos aterros sobrejacentes. Também foi tido em conta as zonas de ligação ao existente, onde foi feita a humedificação das faces exposta antes da colocação do novo material e todo o material seco ou descomprimido foi retirado. (CENORGE, 2005a).

## 2.5. Estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos

Os estudos geológicos e geotécnicos foram objeto de estudo da Hidroprojeto com base na experiência adquirida com a execução da 1ª fase de construção. As informações relativas aos estudos geológicos e geotécnicos foram retiradas do relatório da Hidroprojeto, Projeto de execução, Volume 1 – Memória descritiva e justificativa, Dezembro 2002 (Hidroprojeto, 2002).

As fundações são caracterizadas por camadas alternantes de grauvaques e xistos, sendo mais predominante o primeiro tipo litológico, e geralmente, em camadas mais espessas. Na dependência de acidentes tectónicos, certas zonas apresentam-se argilificadas ou brechificadas.

Os ensaios e as sondagens realizadas para o projeto da 1ª fase de construção demonstraram que as formações rochosas exibem permeabilidade algo elevada entre 3 e 5 metros de profundidade e grau de alteração e fracturação medianos, o que leva a presumir percolação nas camadas superficiais da fundação.

Ainda no âmbito do projeto da 1ª fase foi feito um estudo hidrogeológico na IRCL, que consistiu na realização de oito sondagens hidrogeológicas, ao longo do vale e na zona da albufeira, verificaram a presença de “um aquífero a profundidades variáveis e decrescentes, para jusante, entre os 14,7 m e os 7 m no eixo da barragem, ao qual se sobrepõe alternâncias de xisto e grauvaques, sem qualquer ocorrência de água subterrânea.” (Hidroprojeto, 2002)

Nas sondagens foram instaladas piezómetros que indicaram artesianismo, o que infere que se trata de um aquífero confinado, onde a água subterrânea completa “todos os espaços da matriz rochosa” e manifesta “uma carga piezométrica superior à pressão atmosférica”, o que implica a presença de um teto impermeável. A confirmação da existência do teto impermeável é o “artesianismo repuxante nos piezómetros, a uma altura de 0,20 m acima do nível do solo”, o que não ocorria “se a água se pudesse expandir por toda a extensão e por cerca de 12m, em média de espessura de material rochoso sem água e dotado de permeabilidade da ordem de  $10^{-6}$  m/s (absorções de 10 lugeons) ” (Hidroprojeto, 2002). A presença do aquífero confinado deve-se à “inclinação do arranjo das camadas alternantes de xistos e grauvaques (Hidroprojeto, 2002).

A eventual ocorrência de percolações consideráveis através do teto do aquífero, só é presumível se a “carga hidráulica for superior à pressão piezométrica do aquífero”. O que se pode tornar uma situação complexa dada a “existência de uma espessura significativa (12 m, em média) de material rochoso pouco permeável, ao qual, no futuro se sobreporão os rejeitados de granulometria fina e de baixa permeabilidade.” (Hidroprojeto, 2002)

Foi também realizado pelo LNEC, um estudo com o propósito de aprofundar as condições de controlo do fluxo de percolação de águas contaminadas oriundas da albufeira. Este “estudo de percolação através da fundação, recorrendo ao método dos elementos finitos, de modo a estudar os efeitos de construção de uma cortina de impermeabilização na fundação, tendo concluído pela inconveniência da sua execução.” (Hidroprojeto, 2002)

Ao incitar “um aumento de fluxo a maior profundidade, a cortina desviaria as águas de infiltração da zona superficial da fundação.” (Hidroprojeto, 2002). Dada a existência da trincheira drenante e dos poços de drenagem no pé da IRCL, os caudais desviados da zona de maior fluxo podem ser regulados na sua descarga para o ambiente.

Em contrapartida, como a albufeira se aplica à deposição de materiais rejeitados com atributos silto-argilosos, proporcionará a redução da percolação. Devido ao aumento progressivo da espessura do material depositado e a sua fina granulometria que irá colmatar as “descontinuidades geológicas no maciço rochoso da fundação” como também o aumento da carga hidráulica.

“Face a estes resultados, a entidade responsável pelo licenciamento do projeto decidiu aceitar que a barragem fosse inicialmente executada sem cortina de impermeabilização da fundação e que a sua eventual futura execução dependesse da análise do comportamento da barragem, cuja necessidade a observação de rotina estabelecida viesse a demonstrar.” (Hidroprojeto, 2002)

Esta constatação “tem vindo a ser feita com a análise dos caudais recolhidos nos poços” (IBRs) que têm como objetivo a captação dos caudais percolados através do corpo da IRCL e da fundação, de modo a reduzir “o impacto ambiental provocado por estes caudais.” Inicialmente, os caudais captados eram devolvidos à albufeira, todavia em Dezembro de 1999, com o propósito de “minimizar a subida do nível de água na albufeira”, a SOMINCOR deliberou o tratamento ambiental da água recolhida dos poços e a sua posterior reposição na ribeira. (Hidroprojeto, 2002)

Além da questão ambiental, a interpretação dos volumes bombeados possibilita aferir sobre o “comportamento hidráulico da IRCL e respetivos órgãos de estanquidade.” No decurso de vários anos de observação tem-se confirmado “uma boa concordância entre os valores dos caudais medidos nos poços IBR e os estimados através do cálculo pelo método de elementos finitos”, o que pode ser compreendido como um sinal de bom funcionamento da IRCL.

Relativamente à capacidade de carga e segundo estudos efetuados anteriormente, o alteamento implica que haja “uma elevação da tensão máxima transmitida ao terreno” como também “um aumento da área abrangida pela obra”, contudo não se antecipa a “ocorrência de problemas significativos quanto à fundação dos aterros.” Será necessário efetuar apenas ao “saneamento dos materiais superficiais de natureza eluvio-coluvionar, com terra vegetal, ocorrentes na área média da ordem de 0,5 m.” Pontualmente, “poderá haver necessidade de um saneamento mais profundo, em zonas onde haja a escavar aterros anteriores ou onde os solos de alteração sejam mais espessos.” (Hidroprojeto, 2002)

## 2.6. Observação da instalação de resíduos

A tabela 5 apresenta os equipamentos de observação e os seus fins na IRCL. A IRCL detém um plano de monitorização que tem como propósito assegurar garantir a estabilidade hidráulica, estrutural dos aterros e ambiental da instalação e área envolvente da IRCL.

O plano de monitorização fundamenta-se nas seguintes legislações nacionais:

- Regulamento de Segurança de Barragens RSB – Decreto-Lei nº344/2007
- Normas para Observação e Inspeção de Barragens NOIB – Portaria nº 847/93
- Gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e massas minerais - Decreto-Lei nº 10/2010

Relativamente à Lista Europeia de Resíduos constante do Anexo I da Portaria nº 209/2004, 3 de Março, classificou-se a instalação de eliminação de resíduos perigosos (IRCL), com o código LER 010304 – Rejeitados geradores de ácidos, resultantes da transformação de sulfuretos, com uma capacidade instalada de 14.810 toneladas/dia de resíduos, e uma capacidade total instalada de 28.875.000 toneladas, principal atividade da Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP).

Os aterros de resíduos não perigosos classificados com o código LER 010101, respetivamente os resíduos da extração de minérios metálicos, designados por escombros com as seguintes capacidades instaladas: Escombreira 1 – 2.713.030 toneladas de resíduos e Escombreira 2 – 5.536.000 toneladas de resíduos.

Além da medição do equipamento de observação da tabela 5 é feita a inspeção visual (rotina, especialidade e excecional), medição da cota da albufeira e da cota dos rejeitados, dos dados meteorológicos e balanço de águas, taxas de produção de rejeitados, monitorização da qualidade de água na albufeira, dos caudais de infiltração e dos níveis piezométricos. Também é sujeita a duas auditorias externas anuais realizadas uma pelo projetista e outra por um consultor independente e elaboração de relatórios anuais de monitorização para envio à Autoridade, nomeadamente a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo (CCDR) (Oliveira, 2015).

Trata-se de uma alteração substancial da instalação, de acordo com o disposto no art.º 15.º do Diploma PCIP, sendo a presente licença emitida para a instalação no seu todo. A actividade deve ser explorada e mantida de acordo com o projeto aprovado e com as condições estabelecidas nesta licença.

Tabela 5: Equipamento de observação da IRCL (CENORGE, 2005b)

Equipamento de observação da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo			
Características gerais e localização dos equipamentos			
Deslocamentos superficiais	Pilares equipados com peças de centragem forçada e tacos de nivelamento afastados entre si de 50 m – Marcas superficiais	Portela MD	3 Marcas no coroamento
		CP+PCP	18 Marcas no coroamento
			7 Marcas na banqueteta à 245
			5 Marcas na banqueteta à 235
		ME1	3 Marcas no coroamento
ME2A	5 Marcas no coroamento		
Deslocamentos internos	Inclinómetros	No CP nos PO: PO3 (1 incl.); PO4 (2 incl.) e PO5 (1 incl.) Localização: 3 no coroamento e 1 na banqueteta à 245 (PO4)	
Tensões neutras na IRCL	Piezómetros Pneumáticos	Tipo: Piezómetro Pneumático (Soil Instruments Ltd.)	
		Na fundação: 23 piezómetros	
		Nos aterros: 12 piezómetros	
	Piezómetros de Tubo Aberto (Ph)	Tipo: Piezómetro com ponteira tipo LNEC	
		Na fundação: 11 piezómetros (câmara longa)	
		Nos aterros: 5 piezómetros	
		Tipo: Piezómetros com ponteira porosa plástica tipo Casagrande (Soil Instruments Ltd)	
		Na fundação: 6 piezómetros	
Nos aterros: 5 piezómetros			
Piezómetros a jusante da IRCL	Piezómetros de Tubo Aberto (PCL)	31 piezómetros instalados a jusante do corpo principal e das portelas MD, PCP, ME1 e ME2A	
Caudais de infiltração, IBR	Poços de captação e bombagem	No pé da IRCL: 14 poços ligados diretamente ao sistema de drenagem interna da barragem	
	Outros dispositivos de medição	Captação de nascentes a jusante da barragem: 2 poços IBR5B e IBR27A IBR20, IBR23, IBR18A e IBR29A	

### 3. Instrumentação geotécnica da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo

A instrumentação geotécnica tem como objetivo a monitorização e vigilância de estruturas. A monitorização define-se como a observação de instrumentos de medição que facultam dados, a partir dos quais se pode inferir o desempenho e os padrões comportamentais das estruturas geotécnicas.

O tipo de monitorização necessária, a frequência das medições, o tipo de instrumentação depende do tipo de estrutura geotécnica: o tamanho, em que parte da sua vida se encontra e a classificação de perigo (Fell et al., 1992).

Os propósitos gerais na monitorização de estruturas geotécnicas em forma de barragem incluem (Fell et al., 1992): - Aplicação de instrumentos confiáveis, acessíveis e substituíveis com vida útil semelhante à da estrutura a serem empregues.

- Devem ser suscetíveis a mudanças súbitas ou tendências comportamentais de risco e alertar antecipadamente.

- As leituras devem ser simples, sem necessidade de especialistas, e frequentes para que haja registos disponíveis para análise estatística.

- Deve ser dada especial atenção no comportamento hidráulico e deformações nas fundações.

- A inspeção visual da estrutura geotécnica e dos arredores é essencial, porque mesmo os melhores instrumentos não encontrarão fissuras, vazamentos, manchas húmidas e o seu crescimento.

- A seleção dos critérios a serem medidos e o posicionamento dos instrumentos não é ótimo na fase de projeto. A quantidade de instrumentos às vezes surpreende, porém é explicado pela necessidade de um controlo eficaz de uma estrutura ainda desconhecida. A otimização do sistema pode ser feita abandonando alguns instrumentos ou instalando outros à medida que o comportamento real se torna melhor compreendido.

- Apesar do processamento moderno de informações possa ajudar com o processamento de grandes quantidades de dados brutos, a experiência demonstrou que é uma boa prática a leitura frequente de um número limitado de instrumentos-chave muito bem situados na estrutura.

- O tratamento de dados feito por computador pode fornecer informação útil, todavia a automação completa não tem em conta o estado de segurança da estrutura. A delicada tarefa de interpretação compete a pessoas qualificadas para tal.



### 3.1. Inclínómetros

O sistema de inclinómetros utilizado na IRCL denomina-se por “the itmsoil Digital Bluetooth Biaxial Vertical Inclinomometer System” foi especialmente desenvolvido para a monitorização de deslocamentos horizontais e deformações. O Sistema de inclinómetro vertical digital compreende uma sonda biaxial, enrolador de cabo (figura 5) e um pc de campo (portátil) fornecido com software de registo de dados.

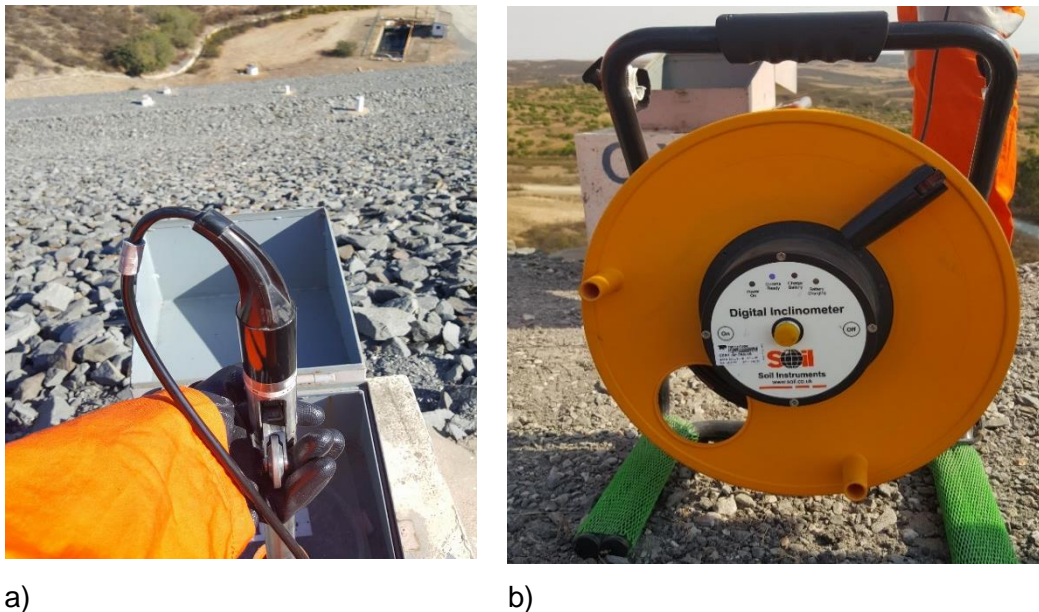


Figura 5: a) Sondas do inclinómetro e b) Imagem representativa do sistema de inclinómetro vertical biaxial com Bluetooth utilizado nas medições.

As sondas do inclinómetro medem a deslocação em dois planos perpendiculares, o que possibilita o cálculo da variação de magnitudes e direções (vetores). A extremidade inferior do guia de caixa serve como referência estável (datum) e deve ser incorporado além da zona de deslocamento. Deslocamentos relativos ao longo do tempo podem ser determinados pela repetição das medições na mesma profundidade e por comparação de conjuntos de dados. O guia de caixa é instalado verticalmente para a maioria das aplicações, na medida a avaliar os movimentos horizontais do solo (Machan and Bennet, 2008).

“Os inclinómetros são constituídos por calhas inclinométricas do tipo “Easy Connect da SOIL INSTRUMENTS LTD”, em tubo de PVC rígido ABS com diâmetro inferior de 56 mm e 3 m de comprimento. As calhas são equipadas com uniões tipo “baioneta”, munidas de vedante em borracha, para impermeabilização. Os furos foram realizados à rotopercussão com uma sonda Casagrande C6, sendo a perfuração efetuada a seco (ar comprimido ou espuma) com diâmetro normal de 89 mm (CENORGE, 2005b). Nos materiais de aterro a perfuração foi acompanhada com a introdução de tubos de revestimento de 133 mm. Os furos penetraram

no mínimo 2 m no xisto são ou pouco alterado para encastramento das calhas inclinométricas no maciço de fundação da IRCL. (CENORGE, 2005b)

### 3.2. Piezómetros pneumáticos

O piezómetro pneumático (Pp) compreende uma ponta porosa instalada e selada no horizonte de medição no furo de sondagem, a partir da qual dois tubos são conduzidos a um ponto de medição terminal conveniente. A pressão é medida pela aplicação de gás pressurizado, geralmente, nitrogénio seco no tubo de entrada (Fell et al., 1992).

Os tubos dos piezómetros pneumáticos devem ser fortes, rígidos, impermeáveis à entrada de água e vazamento de ar. Após a aplicação de gás de alta pressão no tubo de entrada, o diafragma fecha sem fluxo no tubo de saída, a pressão do fecho do diafragma equivale à pressão dos poros. O equipamento de leitura portátil associado aos tubos com acoplamentos de conexão rápida, é visível bolhas de ar no indicador de fluxo, que quando a bola atingir a linha adequada corresponde à pressão dos poros como demonstra a figura 8 (Johnston, 1999). O medidor de pressão terminal pode ser localizado em qualquer elevação em relação ao piezómetro. Nos aterros, os tubos devem ser colocados em trincheiras para evitar danos por equipamentos de construção. (Fell et al., 1992)

O piezómetro pneumático é relativamente simples de construir e de baixo custo. Como a leitura é da pressão na ponta, não são necessárias reduções aritméticas (como os piezómetros hidráulicos). As desvantagens incluem um longo tempo de medição para tubos longos e as pressões altas e subatmosféricas não podem ser lidas. A humidade acumulada no sistema pode ser removido através de lavagem com nitrogénio periodicamente (Johnston, 1999).

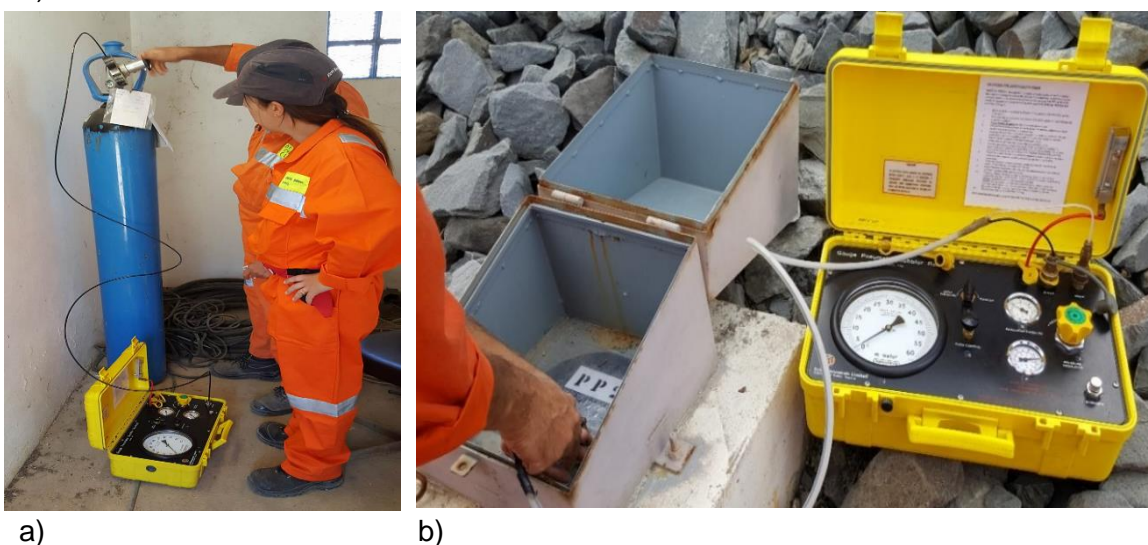


Figura 6: a) Aplicação de gás pressurizado na unidade de leitura portátil; b) Unidade de leitura portátil dos piezómetros pneumáticos e união do cabo ao Pp2.

### 3.3. Piezómetros hidráulicos de tubo aberto

O piezómetro hidráulico de tubo aberto também conhecido como piezómetro *Standpipe* ou Casagrande, consiste numa ponta porosa que é incorporada num filtro de areia, que funciona como um grande coletor de água, e selada no furo com um curto comprimento de bentonite. Geralmente, o furo é preenchido com cimento ou com o solo escavado do furo. (Fell et al. 1992)

“Os piezómetros são de tubo aberto com ponteira de plástico poroso e tubo de PVC de 19 mm de diâmetro interno da SOIL INSTRUMENTS, LDA. O comprimento das ponteiros foi de 0,30 e 1,00 m, respetivamente no aterro e na fundação. Os furos foram efetuados à rotopercussão com uma sonda Casagrande C6, com coroa a  $\phi 89$  mm e coluna de revestimento a  $\phi 133$  mm até se atingir a rocha franca. Na rocha, a perfuração prosseguiu unicamente com a coroa  $\phi 89$  mm na rocha.” (CENORGE, 2005b) No ANEXO VI, figura 31 apresenta o esquema de montagem dos piezómetros.

Os piezómetros hidráulicos tipo Casagrande medem a pressão de água nos poros e possibilita a execução de testes de permeabilidade *in situ*. Como a água só entra em contacto com a ponta do piezómetro, a pressão total é igual à pressão da ponta, além da diferença de elevação da ponta para o medidor de medição. (Fell et al. 1992)

O modo de operação consiste na introdução de uma sonda piezométrica que deteta a superfície da água e simultaneamente, emite um sinal sonoro e um sinal visual. Normalmente, a sonda piezométrica é dotada de uma sonda em aço inoxidável ligada a um cabo graduado, este cabo pode ter a forma de fita-cola que previne que se fixe em superfícies molhadas, tais como o revestimento do furo, assegurando a exatidão das medições.

O piezómetro Casagrande é de baixo custo, de construção simples com equipamento de leitura e materiais facilmente disponíveis. Possuem um longo registro de desempenho e são auto-ventilados. As desvantagens deste tipo de piezómetro compreendem a suscetibilidade ao dano causado por equipamentos de construção, pela consolidação do solo ao redor do Casagrande e ao congelamento. Inaptidão de medição de pressões superiores ao nível da ponteira ou pressões inferiores às atmosféricas. Se forem utilizadas pontas de filtro porosas, estas podem obstruir com depósitos químicos com fluxo dentro e fora da ponta e o registro automático de dados não é praticável. (Fell et al. 1992)



a)



b)

Figura 7: a) Inserção da sonda LNEC no piezómetro hidráulico. b) Inserção da sonda piezométrica no piezómetro hidráulico 29.



a)



b)

Figura 8: a) Medição da pressão (manómetro). b) Sonda de pH e condutividade de uma amostra de água de um PCL.

Os piezómetros hidráulicos (Ph) medem apenas o nível de água e a sonda piezométrica difere dependendo do diâmetro do tubo, no tubo de diâmetro mais pequeno utiliza-se a sonda LNEC, ver figura 7.

Os Piezómetros de Cerro do Lobo denominado por PCL são piezómetros hidráulicos de tubo aberto (Casagrande) e são semelhantes ao Ph, todavia permitem a recolha de amostra de água e medição da pressão, ver figura 8. Contudo, em condições artesianas, a medição é feita com sonda piezométrica e em condições de artesianismo repuxante, utiliza-se um manómetro.

### 3.4. Caudais de infiltração

Na 4ª fase de construção foram dispostos aparelhos que facultam o direcionamento das águas de circulação para jusante da IRCL. Por sua vez, estas são captadas em poços, denominados

por IBRs e bombeadas para a albufeira por meio de bombas elétricas, a medição dos caudais bombeados são feitos por caudalímetros. (CENORGEIO, 2005b)

Para garantir o encaminhamento das águas recolhidas no dreno de pé da IRCL para os IBRs foram abertas valas longitudinais de intercepção na fundação. As valas têm como finalidade bloquear as águas que percolam na base dos aterros que saiam para o exterior antes de alcançar os pontos de captação. Também foram construídos diques corta-águas, junto ao pé dos aterros da IRCL para precaver a impermeabilização dos depósitos aluvionares e o direcionamento das águas para os poços (CENORGEIO, 2005b).



a)

b)

Figura 9: a) Exemplo de um poço, o IBR19. b) Caudalímetro utilizado nas medições do caudal bombeado.

“Cada poço está equipado com uma bomba regulada para arranque e paragem por meio de um sistema de bóias. As águas coletadas em cada poço são bombeadas diretamente para a albufeira exceto as águas dos poços IBR5, IBR5A e IBR5B que são enviadas para um tanque denominado IBR23, e daí bombeadas para a albufeira com passagem junto ao tanque de escorvamento do sifão.” (CENORGEIO, 2005a)

Geralmente, os poços foram construídos segundo os seguintes princípios: “- A ligação do poço à trincheira drenante longitudinal, no pé do aterro existente, é feita por um tubo de drenagem transversal em PVC  $\phi 150$  ranhurado, conectado ao tubo longitudinal, sendo envolvido em gravilha;” (CENORGEIO, 2005a)

“- Este tubo de drenagem transversal tem uma inclinação  $i \geq 0,5\%$  e a entrada no poço situa-se acima do nível máximo de arranque da bomba.” (CENORGEIO, 2005a)

“A maior parte dos poços foram construídos com 3 ou 4 anéis de betão de encaixe simples com 1,20 m de diâmetro interno por 1,00 m de comprimento exceto nos seguintes poços em que se utilizaram manilhas com o encaixe de campânula: IBR32, IBR27A, IBR31.”

Na totalidade existem 20 IBR's mas apenas 17 IBR's equipados com caudalímetros que registam os volumes de água enviados (CENORGE, 2005a).

Tabela 6: Coordenadas e localização dos IBRs (adaptado de CENORGE, 2005b).

Identificação	Coordenadas na tampa do poço			Posição ao eixo		Portelas da IRCL
	M	P	Z	PK	Distância (m)	
IBR25	18.368,588	-233.876,872	244,95	0+186	27,30	MD
IBR32	18.238,932	-233.604,288	254,90	0+490	7,15	CP
IBR5B	18.025,046	-233.297,728	214,30	0+830	130,00	CP
IBR5A	17.997,689	-233.313,918	215,40	0+846	102,00	CP
IBR23	17.965,664	-233.311,567	215,00	0+876	91,20	CP
IBR20	17.959,752	-233.317,459	214,50	0+880	83,40	CP
IBR5	17.941,170	-233.309,864	216,25	0+900	82,80	CP
IBR16	17.677,595	-233.247,377	241,85	1+166	32,80	PCP
IBR18A	17.430,392	-233.144,365	241,80	1+435	26,50	PCP
IBR18	17.420,859	-233.134,370	243,60	1+446	31,80	PCP
IBR27	17.265,631	-233.124,247	249,60	1+590	16,40	PCP
IBR27A	17.238,554	-233.007,551	232,40	1+580	135,00	PCP
IBR17	17.132,489	-233.361,067	239,40	1+862	38,20	ME1
IBR15	16.799,413	-233.515,162	245,39	2+346	27,30	ME2A
IBR19	16.601,599	-233.577,849	247,52	2+545	22,30	ME2A
IBR26	16.477,489	-233.810,728	249,05	2+805	20,20	ME2B
IBR29	16.537,754	-233.966,467	250,00	2+970	18,25	ME2B
IBR29A	16.563,388	-234.016,669	250,00	3+025	12,40	ME2B
IBR30	16.604.880	-234.156,147	251,00	3+173	15,05	ME2C

Tabela 7: Cotas principais dos IBRs (adaptado de CENORGE, 2005b).

Identificação dos IBR's	Cotas principais (m)			
	Tampa	Terreno	Fundo	Entrada do tubo drenante
IBR25	244,95	243,80	240,95	242,75
IBR32	254,90	253,50	248,90	250,90
IBR5B	214,30	213,30	210,30	211,80
IBR5A	215,40	214,40	212,40	213,90
IBR23	215,00	-	-	-
IBR20	214,50	-	-	-
IBR5	216,25	215,25	212,25	213,85
IBR16	241,85	241,15	238,85	240,15
IBR18A	241,80	-	-	-
IBR18	243,60	242,50	239,60	241,10
IBR27	249,60	248,40	244,60	246,40
IBR27A	232,40	230,80	226,40	228,20
IBR17	239,40	238,40	235,40	237,00
IBR15	245,40	244,50	241,40	243,40
IBR19	247,50	246,60	243,50	245,00
IBR26	249,05	247,95	244,05	245,85
IBR29	250,00	248,85	246,00	247,90
IBR29A	250,00	-	-	-
IBR30	251,00	250,20	248,00	249,50
IBR31	256,00	255,50	246,00	247,80

### 3.5. Apoio topográfico

O apoio topográfico trata a monitorização de deslocamentos superficiais na IRCL, a partir da medição de distâncias e ângulos que caracterizam o terreno, no plano horizontal, designado como planimetria, e no plano vertical designado como altimetria. A implantação topográfica dos aterros foi realizada com base nos vértices geodésicos próximos da IRCL e nos pilares de apoio topográfico instalados pela SOMINCOR (CENORGEO, 2005a).

#### 3.5.1. Marcas superficiais

Para a monitorização dos deslocamentos superficiais da IRCL colocaram-se 41 marcas superficiais instaladas nos aterros em pilares, tendo sido equipados complementarmente com tacos de nivelamento geométrico, nos seguintes corpos de aterro, em pilares separados em média 50 m (CENORGEO, 2005b):

Tabela 8: Marcas superficiais presentes em cada portela.

Portelas	Marcas superficiais
MD	3 Marcas no coroamento
CP e PCP	30 Marcas no total: 18 marcas no coroamento 7 Marcas na banquetta à cota 245 5 Marcas na banquetta à cota 235
ME1	3 Marcas no coroamento
ME2A	5 Marcas no coroamento

As marcas superficiais, também designadas por pontos-alvo, são consistidas por peças cónicas de bronze para fixação com centragem forçada do alvo, solidarizadas ao aterro por um pilar com sapata em betão. Os tacos de nivelamento foram solidarizados às sapatas dos pilares, ver figura 10. Para que as condutas de águas e de rejeitados sejam instaladas desimpediou-se uma faixa a montante e as marcas no coroamento tiveram que ser dispostas apenas do lado jusante à crista do talude, sendo uma alteração ao projeto de execução.

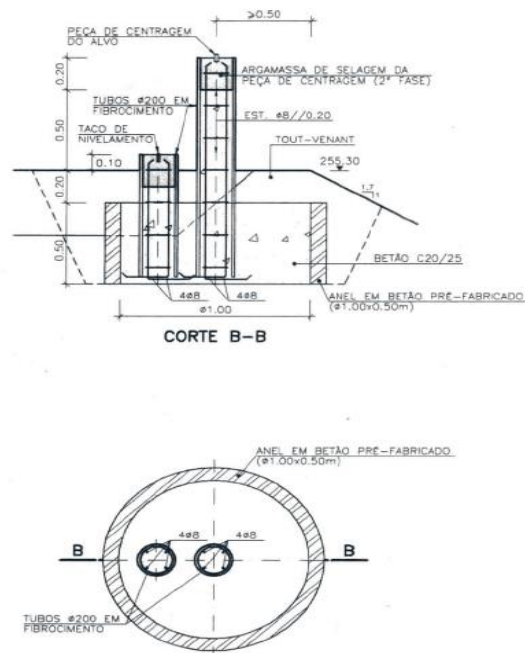


Figura 10: Planta da marca superficial (ponto-alvo). (CENORGEO, 2005b).



## 4. Resultados

A seleção dos dados foi feita através da apreciação dos perfis de observação (PO) já definidos, e escolheu-se os que continham maior número de instrumentação, em cada portela da IRCL. Teve-se que optar por perfis de observação porque existe um número elevado de instrumentos geotécnicos, pelo limite de páginas da dissertação e do tempo limitado, não seria razoável estudar todos os instrumentos presentes na IRCL.

Após a escolha do perfil de observação a examinar, estudou-se os dados de cada instrumento, em que a maioria dos instrumentos possui 15 anos de dados cuja leitura é feita mensalmente. Fez-se gráficos recorrendo ao programa Excel para observar o comportamento do instrumento. Calculou-se as médias, máximos e mínimos dos níveis piezométricos de cada tipo de piezómetro. Alguns gráficos neste capítulo possuem uma orientação diferente, para ficarem com um tamanho maior e melhor observação das linhas.

Cada perfil de observação escolhido trata de piezómetros pneumáticos (Pp), os piezómetros hidráulicos (Ph), piezómetros hidráulicos tipo Casagrande (PCL) e caudais de infiltração (IBR).

A análise dos perfis de observação de cada portela fez-se da portela MD para o Corpo Principal, desta para a PCP, desta para ME1, desta para ME2A, desta para ME2B e ME2C. Para cada uma destas portelas definiram-se perfis de observação: PO1, PO5, PO8, PO9 e PO10, respetivamente.

Para visualização da localização de cada perfil de observação na IRCL ver o ANEXO I. No ANEXO III observa-se o PO5 em pertencente ao Corpo Principal. No ANEXO IV observa-se os PO1 (MD) e PO8 (PCP) e no ANEXO V vê-se os PO9 (ME1) e PO10 (ME2A).

Em relação à localização dos poços de infiltração (IBR) e dos piezómetros hidráulicos de tubo aberto (PCL) ver o ANEXO II e os gráficos dos piezómetros hidráulicos de tubo aberto veja ANEXO VI.

Para a análise de todos os dados dos perfis de observação, foi tido em conta as várias fases de construção como demonstra a tabela 9, a substituição da deposição subaquática para deposição subaérea no final de 2010. A variação do nível de água na albufeira da IRCL e da cota de coroamento como se observa no gráfico 2. Como também dos dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Monte Branco como apresenta o gráfico 3.

Para os cálculos das médias, máximos e mínimos presentes nas tabelas foram utilizados os dados do Excel fornecidos pela SOMINCOR e não pelos dados da CENOR, uma vez que os dados da SOMINCOR são atualizados mensalmente. De notar que os piezómetros

pneumáticos, hidráulicos e hidráulicos tipo Casagrande possuem mais uma leitura devido há ocorrência de um sismo no dia 26 de setembro de 2012 às 22:52.

Tabela 9: Características das diferentes fases de construção. (CENORGE, 2005)

Fases de construção	Coroamento	Ano de conclusão
1ª Fase	244,00 m	1988
2ª Fase – 1º alteamento	248,00 m	1990
3ª Fase – 2º alteamento	252,00 m	1993
4ª Fase – 3º alteamento	255,00 m	2005

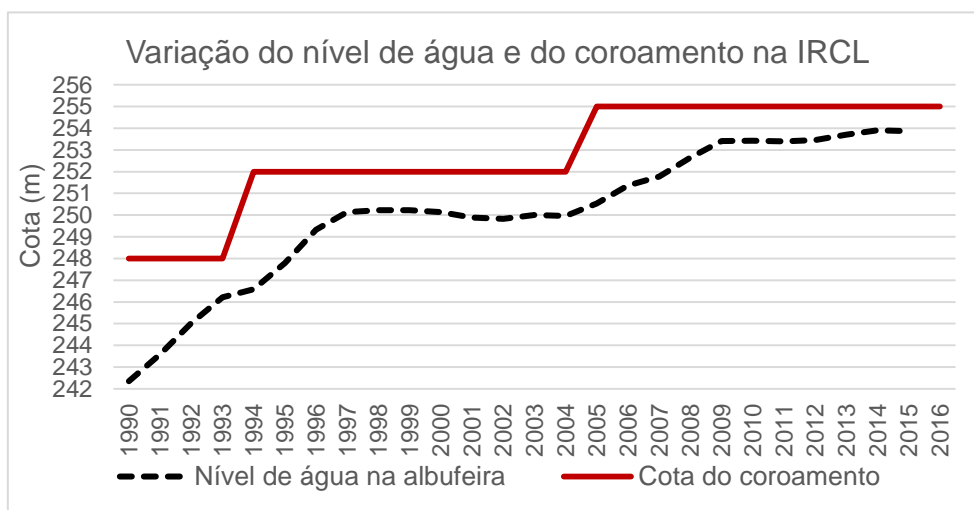


Gráfico 2: Relação entre o nível de água na albufeira e a cota do coroamento.

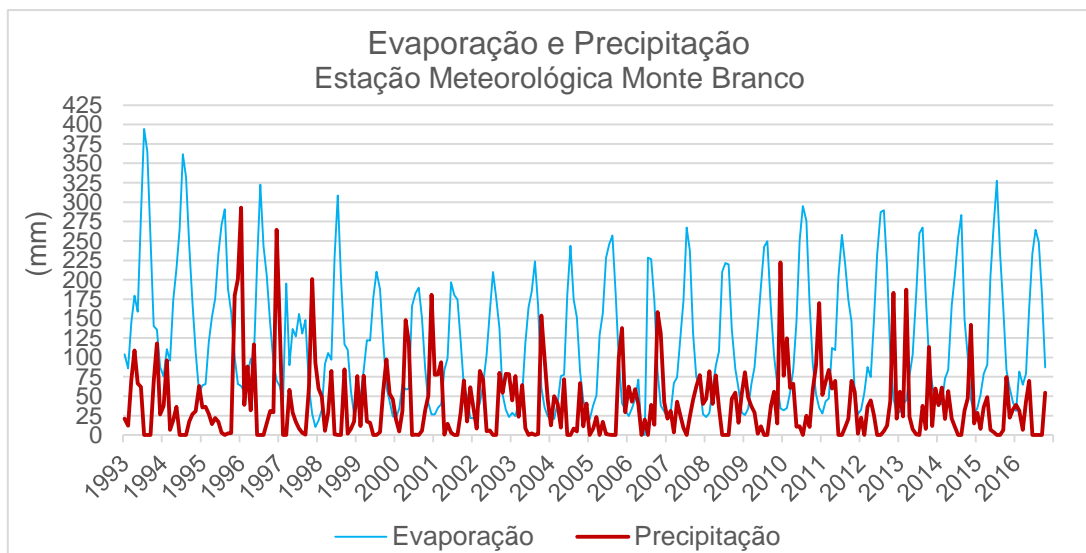


Gráfico 3: Relação entre a evaporação e precipitação da Estação Meteorológica de Monte Branco.

#### 4.1. Portela da Margem Direita

O perfil de observação (PO1) é o único da portela da margem direita. Este perfil é composto por dois piezómetros pneumáticos, um piezómetro hidráulico e um caudal de infiltração.

##### 4.1.1. Piezómetros pneumáticos

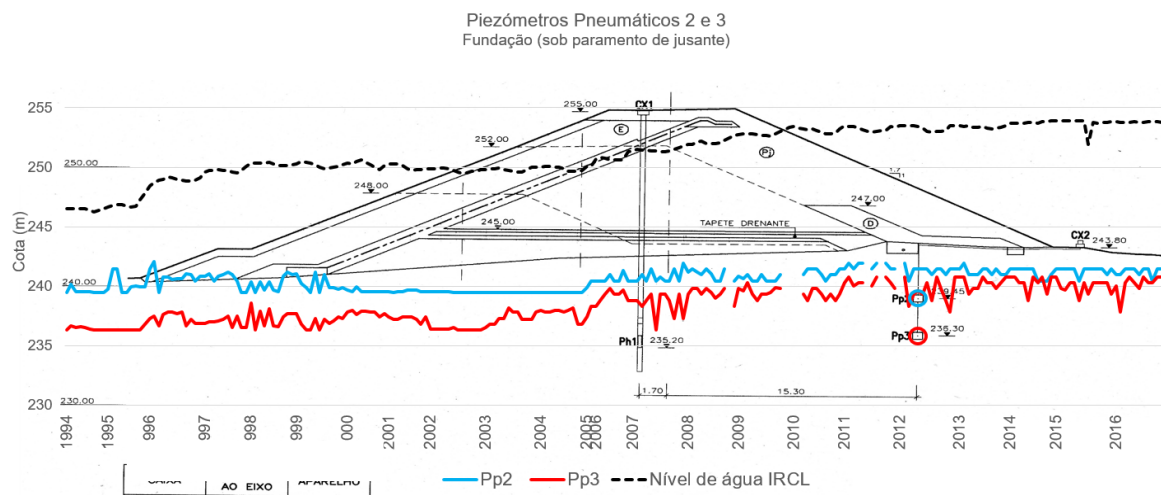


Figura 11: Relação entre o Pp2 e o Pp3.

O Pp2 e o Pp3 localizam-se na fundação sob paramento de jusante.

- O Pp2 representado a azul, com nível piezométrico a oscilar desde a cota da ponteira, 236,3 m a 241 m. Maioritariamente, o nível piezométrico é igual a cota da ponteira. Atinge o pico máximo a 02/1996 de 242,05 m. A partir de 10/2005, o nível piezométrico já não intersecta com a cota da ponteira, e ronda o intervalo de 240 a 242 m, aproximadamente. A diferença entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 1,07 m, e este último entre o nível de água da IRCL é de 10,68 m.

- O Pp3 apresentado a vermelho, inicia com nível piezométrico próximo da cota da ponteira de 236,3 m e oscila entre esta e o seu pico máximo a 240,8 m a 02/2011. Intersecta a cota da ponteira do Pp2, pela primeira vez a 07/2006. A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 2,10 m, e este último entre o nível de água da IRCL é de 12,80 m.

Tabela 10: Cotas relativas dos Pp2 e Pp3.

Cotas (m)	Pp2	Pp3	Diferença entre Pp2 e Pp3
Ponteira	239,45	236,30	3,15
Nível piezométrico (m)			
Média	240,52	238,40	2,13
Máximo	242,05	240,80	1,25
Mínimo	239,45	236,30	3,15

#### 4.1.2. Piezómetros hidráulicos

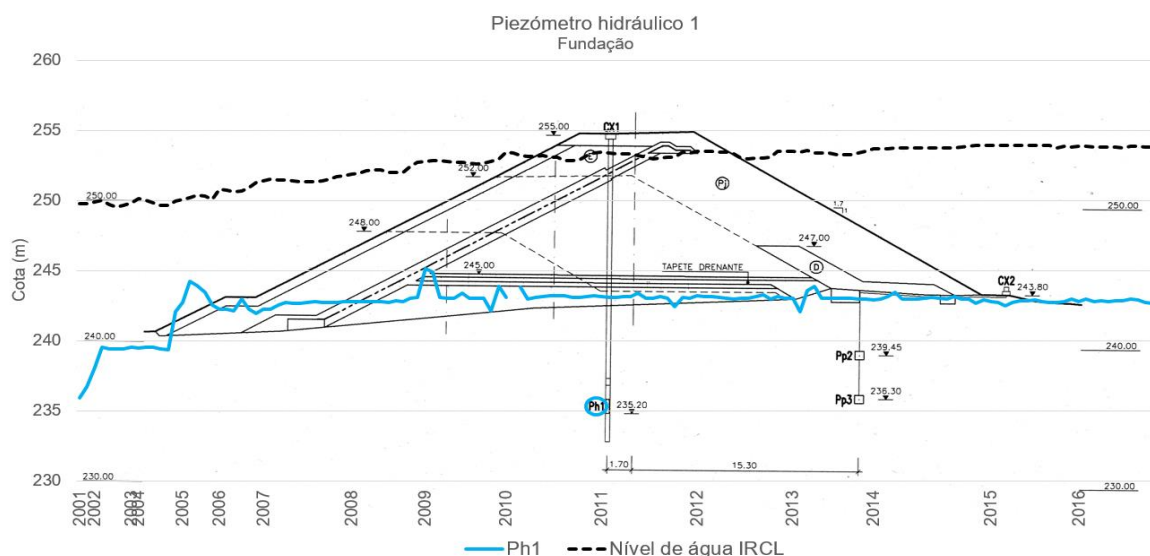


Figura 12: Piezómetro hidráulico 1.

- O Ph1 apresentado a azul, iniciou o registo de medições em 12/2001, o topo do piezómetro localizado no coroamento e o fundo na fundação. Pela análise do gráfico, o nível piezométrico teve elevação de 2001 a 2002, quase alcançando a cota 240, manteve-se com pequenas oscilações até inícios de 2005. E depois aumenta até os 245 m, aproximadamente, isto pode dever-se aos trabalhos do 3º alteamento da IRCL. De seguida, houve diminuição do nível piezométrico. Obteve valor elevado em 2009 chegando à cota de 245 m. Entre 2009 e 2016 o nível piezométrico manteve-se mais ou menos constante.

A cota da ponteira do Ph1 no esquema CENOR é de 235,20 m mas nos dados da SOMINCOR é de 235,82 m, utilizei este último dado para o cálculo das cotas da tabela 11 e das variações seguintes. Em média, a variação entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 6,78 m. Relativamente, ao nível da água da IRCL e o nível piezométrico, a diferença é de 10,01 m.

Tabela 11: Cotas relativas do Ph1.

Cotas (m)	Ph1
Tampa	255,24
Ponteira	235,82
Nível piezométrico (m)	
Média	242,60
Máximo	245,12
Mínimo	235,93

## 4.1.3. Caudais de infiltração

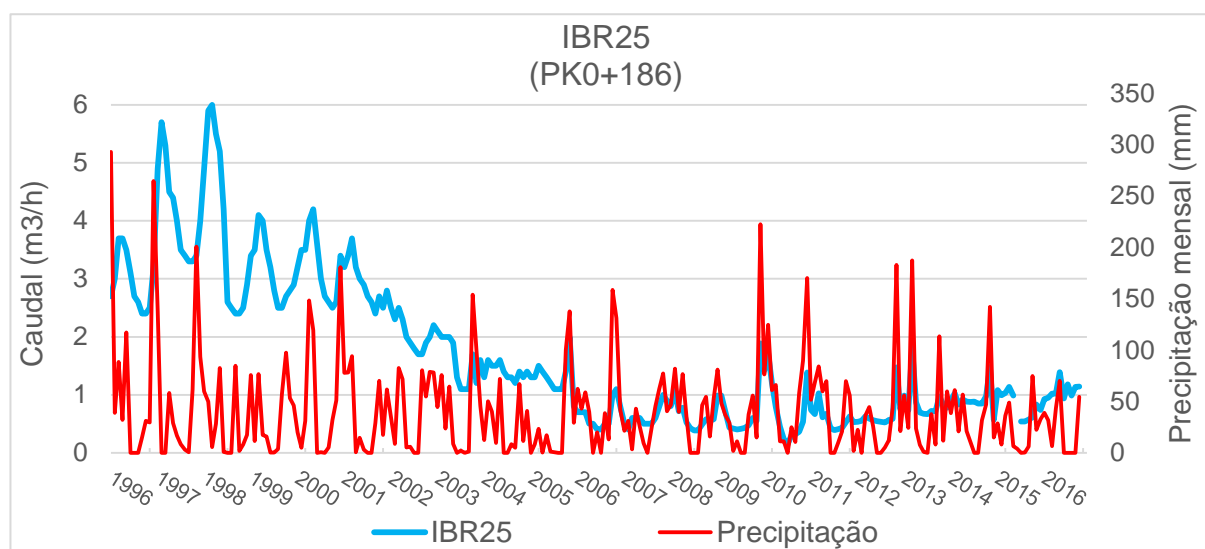


Gráfico 4: Relação entre o IBR25 e a precipitação.

O IBR25 situa-se numa zona propícia a passagens de água contaminada para jusante da vedação da propriedade da SOMINCOR. Na 4ª fase de construção, o poço foi envolvido em material fino impermeável para impedir a passagem da água para jusante. (CENORGE, 2005a) Este poço capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo tapete drenante, dreno de pé e aterro da portela MD, entre o PK0+020 e o PK0+425. (CENORGE, 2005b) O início do registo das medições deu-se em 01/1996. Na análise do gráfico nota-se uma clara relação entre o nível de água da IRCL e o caudal do IBR25, até ao início de 2004. Observa-se uma tendência de diminuição do caudal, este continua a ter relação com o nível de água mas não é tão instantânea. O maior pico com caudal de 6,0 m<sup>3</sup>/h a 03/1998 que não se relaciona aos valores de precipitação e de evaporação, respetivamente, 5,5 mm e 91,5 mm. Ou seja, o pico não tem relação com a precipitação, uma vez que o valor de evaporação é maior que a precipitação, sendo provável ter relação com o aumento do nível de água da IRCL ou atraso de 3 meses na reação, uma vez que os meses anteriores possuem valores de precipitação maiores que os valores de evaporação. O pico mínimo de 0,15 m<sup>3</sup>/h a 07/2010 que já tem correlação com os valores de evaporação e de precipitação, 294,9 mm e 0,0 mm, respetivamente.

#### 4.2. Corpo Principal

Existem 5 perfis de observação no corpo principal, nomeadamente o PO2, PO3, PO4, PO5 e PO6, mas optou-se por analisar em pormenor o perfil de observação PO5 que possui mais instrumentação: 6 piezómetros pneumáticos na fundação e 7 no aterro, 3 piezómetros hidráulicos na fundação e 2 no aterro, 12 piezómetros hidráulicos tipo Casagrande, 8 caudais de infiltração e ainda 2 inclinómetros (a única portela com este tipo de instrumento). Esta portela é a mais crítica da IRCL, logo vai ser a única em que vão ser analisadas as marcas superficiais no coroamento.

##### 4.2.1. Piezómetros pneumáticos

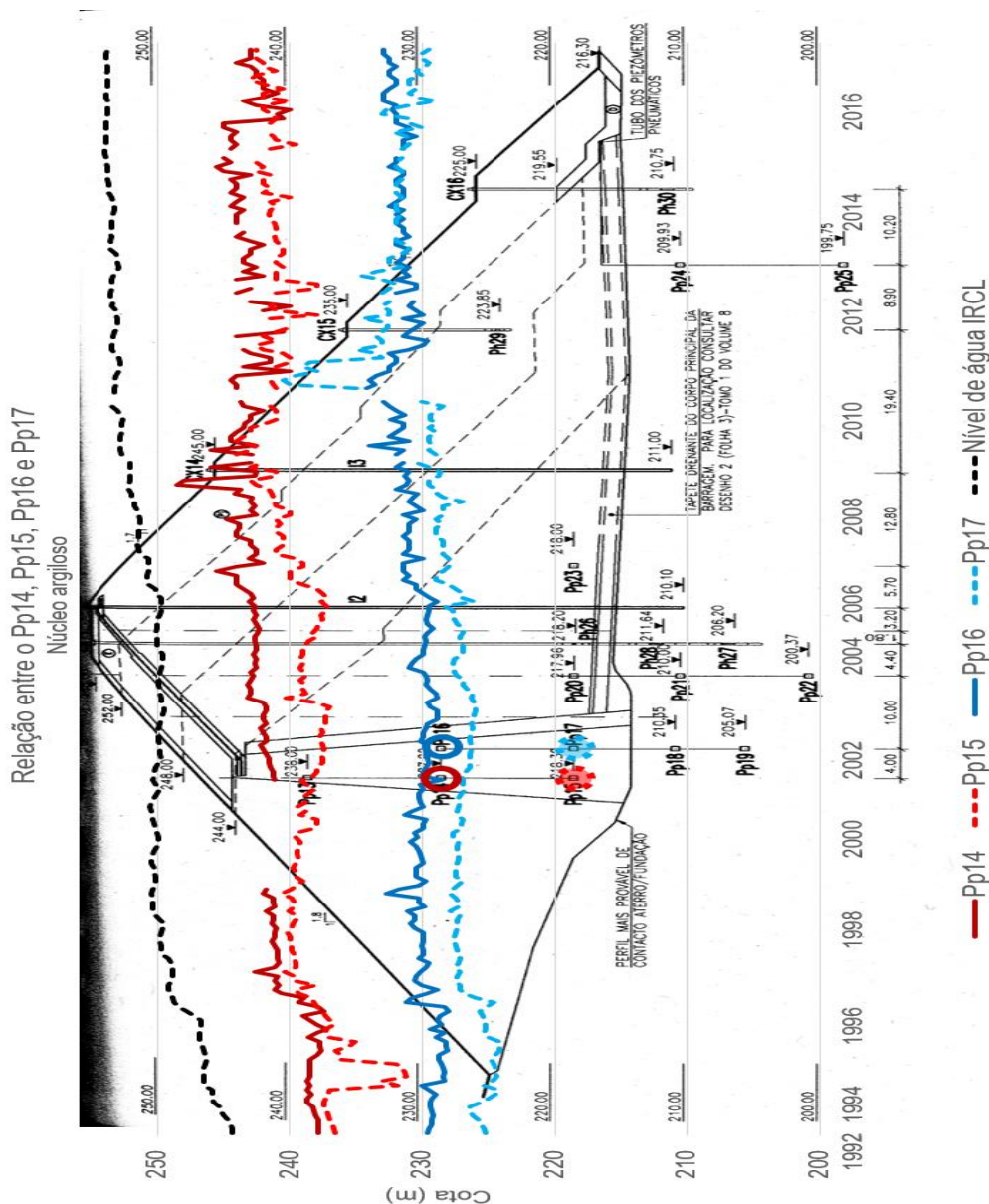


Figura 13: Relação entre os Pp 14, Pp16 e Pp15, Pp17

- O Pp14 representado a vermelho escuro e traço cheio, apresenta uma diferença entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 14,16 m. A variação do nível piezométrico ao nível de água da IRCL é de 8,77 m e possui um intervalo sem valores entre dezembro de 1998 a dezembro de 2000.

-O Pp16 apresentado a azul-escuro e traço cheio, possui uma diferença entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 2,66 m e entre o nível de água da IRCL e o nível piezométrico é de 20,27 m.

- O Pp15 a vermelho-claro e tracejado, em 1993, apresenta uma diminuição do nível piezométrico, provavelmente pela finalização do 2º alteamento, e depois aumenta rondando cotas abaixo de 240 m, apesar de haver alguns picos que atingem esta cota. A partir de 2006, o nível piezométrico ultrapassa a cota de 240 m e no início de 2008 intersesta os valores de Pp14 que se situa a 10 m, aproximadamente, do Pp15.

- O Pp17 a azul claro e tracejado, apresenta variações entre as cotas 223 m e 230m. Tem um aumento considerável no início de 2010 quase alcançando os valores de Pp15 (cota 240 m) que depois diminui no mesmo ano. Em 2011 mantém-se constante com oscilações ligeiras entre 230 a 235 m.

Tal como nos Pp14 e Pp16, o fluxo de percolação faz-se de montante para jusante, o que é aconselhável.

Tabela 12: Cotas relativas dos Pp14, Pp16, Pp15 e Pp17.

Cotas (m)	Pp14	Pp16	Diferença entre Pp14 e Pp16	Pp15	Pp17	Diferença entre Pp15 e Pp17
Ponteira	227,99	227,99	---	218,00	218,00	---
Nível piezométrico (m)						
Média	242,15	230,65	11,50	239,59	228,81	10,78
Máximo	248,49	234,17	14,32	244,00	240,50	3,50
Mínimo	237,19	227,97	9,22	231,20	224,20	7,00

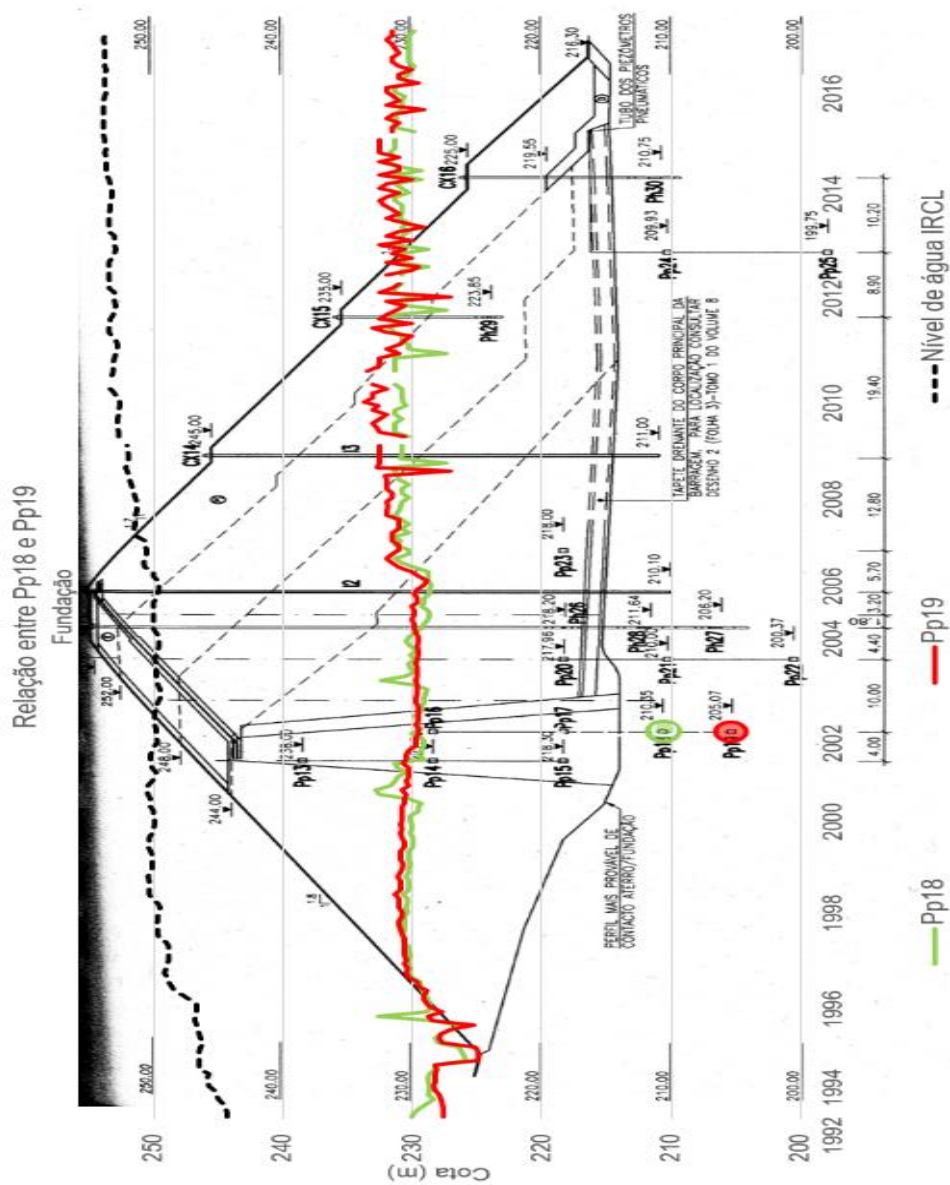


Figura 14: Relação entre o Pp18 e Pp19.

- O Pp18 exibe variações entre os 225 a 230 m. No segundo trimestre de 1995 surge um pico que possui cota de 232,65 e logo a seguir desce até aos 228,95 m. Os picos máximos do gráfico possuem cotas que quase alcançam os 233 m enquanto os picos descendentes alcançam cotas de 226 m, aproximadamente.

- O Pp19 inicialmente do registo das medições, possui um pico mínimo a 04/1994 a 07/1994, que provavelmente deve-se aos valores elevados de evaporação em relação à precipitação. Acompanha o comportamento do Pp18, exibe picos máximos semelhantes e mínimos ligeiramente mais baixos, no intervalo de 234 a 224 m, aproximadamente.



Os piezômetros Pp18 e Pp19 situam-se na fundação mas alcançam cotas relativamente elevadas, o que pode justificar-se através da permeabilidade da fundação e da inexistência da cortina de impermeabilização.

Tabela 13: Cotas relativas dos Pp18 e Pp19

Cotas (m)	Pp18	Pp19	Diferença entre Pp18 e Pp19
Ponteira	210,35	205,07	5,28
Nível piezométrico (m)			
Média	230,17	230,61	-0,44
Máximo	232,85	233,77	-0,92
Mínimo	225,95	224,97	0,98

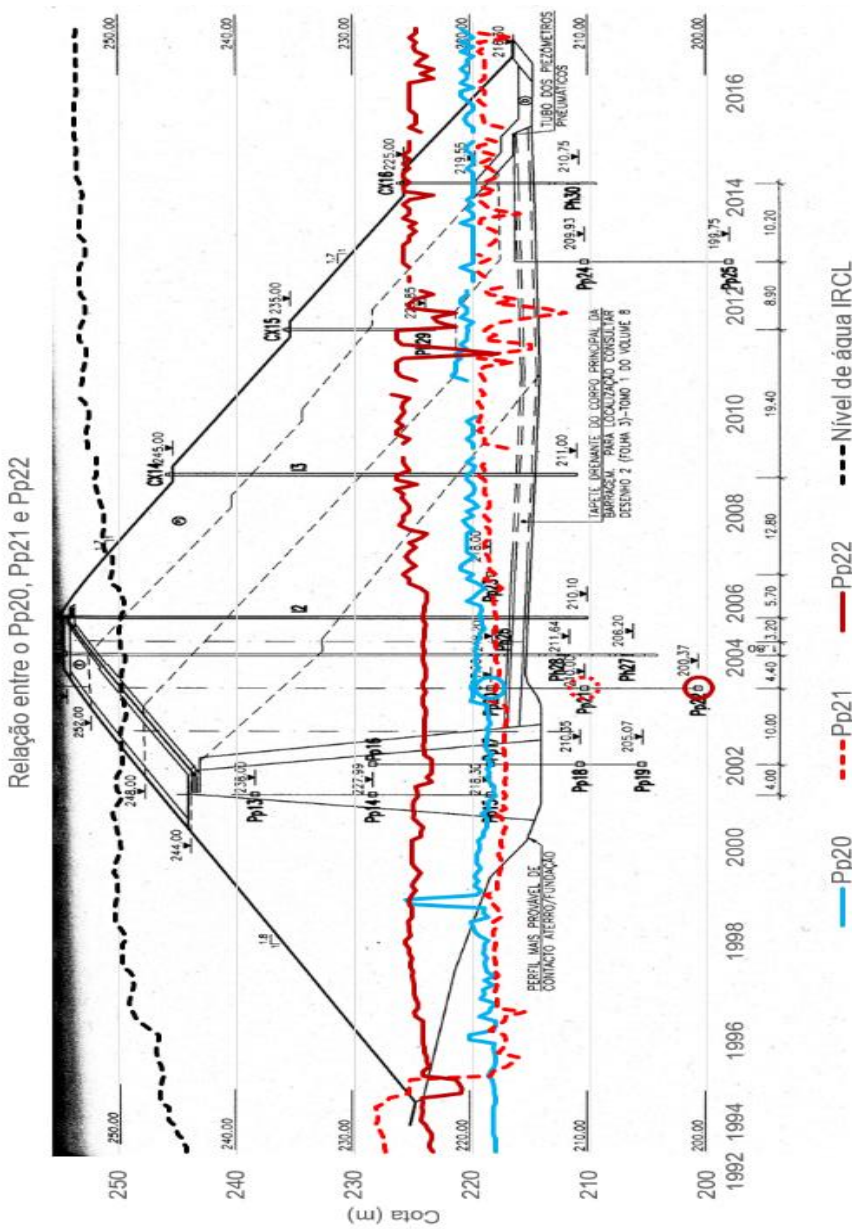


Figura 15: Relação entre os Pp20, Pp21 e Pp22.

- O Pp20 situa-se no aterro de jusante por cima do filtro e tapete drenante. No gráfico, o Pp20 está representado a azul, o seu comportamento no início de registo das medições é bastante uniforme, em que o nível piezométrico intersecta a cota da ponteira. Em outubro de 1995 atinge o 1º pico de cota 220,26 m, o comportamento oscila entre a cota da ponteira e a cota 220 m. O 2º pico, o mais acentuado atinge a cota de 225,66 m em junho de 1998. Depois mantém-se entre a cota 220 m e a cota da ponteira até dezembro de 2006 que ultrapassa a cota 220 m com oscilações ligeiras, que não excede para a cota 221 m.

A diferença entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 1,68 m e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 31,28 m.

- O Pp21 situa-se na fundação, representado a vermelho claro e a tracejado, 7,96 m abaixo do Pp20. No gráfico exibe-se a vermelho, inicialmente o nível piezométrico alcança a cota de 228 m, diminuindo até à cota 225 m em 04/1994 até 07/1994. Intersecta o Pp20 em 11/1994, o 1º pico máximo é de 216,1 m a 02/95, volta a intersectar a cota da ponteira do Pp20. O 2º pico mínimo de 215,5 m a 03/96. Mantém-se uniforme vaiando ente 218 a 220 m. O 3º pico descendente é de 215 m a 10/2010 e o pico mais acentuado é de 212 a 07/2011, oscilando novamente entre os 218 a 220 m. E o último pico mínimo é de 216,6 a m a 04/2013.

A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 8,77 e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 32,15 m.

- O Pp 22 mostrado a vermelho escuro, situa-se na fundação a 9,37 m de profundidade do Pp2. Inicialmente, o nível piezométrico ronda os 223 a 224 m, diminui até aos 220 m. Depois gradualmente, sobe e oscila entre 222 a 225 m. Intersecta o pico máximo do Pp20 a 06/1998, volta a oscilar entre os 222 a 226 m. Diminui e intersecta a cota da ponteira do Pp20 e retorna a oscilar entre os 220 a 225 m.

A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 24,39 m e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 26,17 m.

O Pp22 mostra que há um fluxo ascendente na fundação em direção ao dreno da fundação da IRCL. Mostra ainda que o dreno está a cumprir a sua função ao reduzir a pressão neutra para cotas próximas da do próprio dreno, tendo em atenção a necessidade de ainda haver gradiente hidráulico capaz de promover o fluxo drenante para o exterior da estrutura do IRCL, a jusante. A localização do Pp22, a jusante do núcleo, deveria exibir uma menor pressão, mas a ausência de cortina de impermeabilização e de drenagem na fundação não favorece a redução das pressões neutras.

Tabela 14: Cotas relativas dos Pp20, Pp21 e Pp22

Cotas (m)	Pp20	Pp21	Pp22
Ponteira	217,96	210,00	200,37
Nível piezométrico (m)			
Média	219,64	218,77	224,76
Máximo	225,66	228,2	226,87
Mínimo	217,96	212,0	217,87

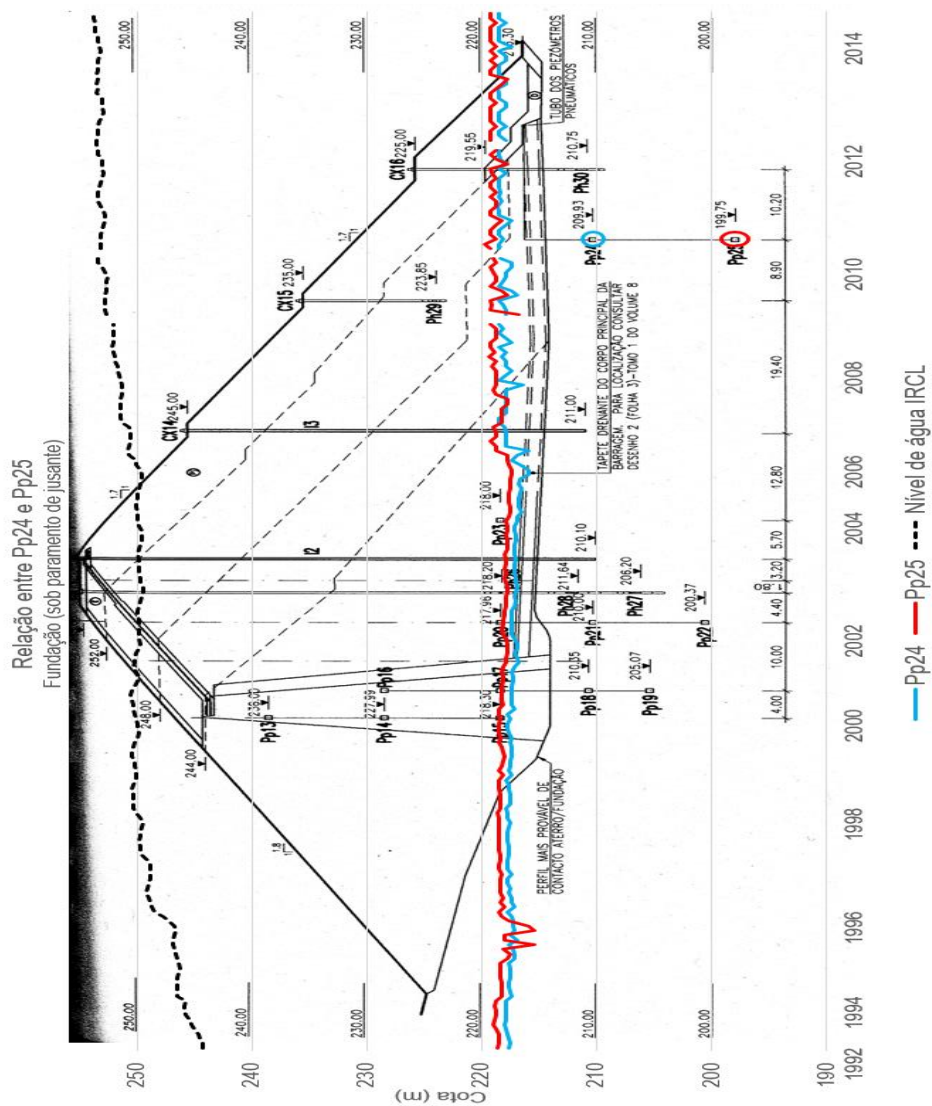


Figura 16: Relação entre o Pp24 e Pp25.

- O Pp24 situa-se na fundação, sob paramento de jusante, representado a azul. Exibe um comportamento uniforme entre as cotas de 216 a 218 m. O pico mínimo é de 215,93 m. Após, mantém-se geralmente constante entre 216 a 218 m.

A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 7,72 m e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 33,27 m.

- O Pp25 situado abaixo do Pp24 a 10,18 m de diferença, representado a vermelho. No registo inicial das medições a tendência é constante, oscilando entre 217 a 218 m. Os picos mínimos são de 215,35 m a 04/1995 e de 215,45 m a 09/1995. Volta ao comportamento inicial, alcançando o pico máximo é de 219,25 m a 07/2006. Oscila entre os 217 a 219 m e intersecta o Pp24 em vários pontos, inclusive a 04/2007, a 04/2009, a 09/2010 e a 05/2012.

A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 18,67 m e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 32,50 m.

Mais uma vez, o Pp situado a maior profundidade alcança níveis piezométricos ligeiramente superiores. O Pp25 acompanha o comportamento do Pp24, geralmente.

Tabela 15: Cotas relativas dos Pp24 e Pp25.

Cotas (m)	Pp24	Pp25	Diferença entre Pp24 e Pp25
Ponteira	209,93	199,75	10,18
Nível piezométrico (m)			
Média	217,65	218,42	-0,77
Máximo	218,63	219,75	-1,12
Mínimo	215,93	215,35	0,58

- Inicialmente, o Pp20 (representado a vermelho) oscila entre 217-220 m. O pico máximo de 225,66 m a 07/1998, retorna a variar no mesmo intervalo dito anteriormente. Em 02/2003 ultrapassou a cota 220, e oscila entre 219 a 221 m. Existe um pequeno intervalo nas medições no final de 2009. A 03/2010 o nível piezométrico é de 221,76 m. Volta a variar de 219 a 220 m, ver figura 17.

A diferença entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 1,68 m e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 31,28 m.

- O Pp23 (representado a laranja) varia entre 218 a 219 m, aumenta até os 222,6 a 222,1 m desde 04/2000 a 10/2000. Oscila entre 219 a 220 m. Alcança a cota 222 m a 01/2010 e 05/2010, e o pico máximo a 08/2010 é de 223 m, ver figura 17.

A diferença entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 1,47 m e entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 31,45 m.

Estando situados acima do dreno de fundação a jusante do núcleo, verifica-se que as cotas dos Pp20 e do Pp23 são muito semelhantes a praticamente coincidentes com a cota da ponteira, evidenciando a ausência de tensões críticas neste caso

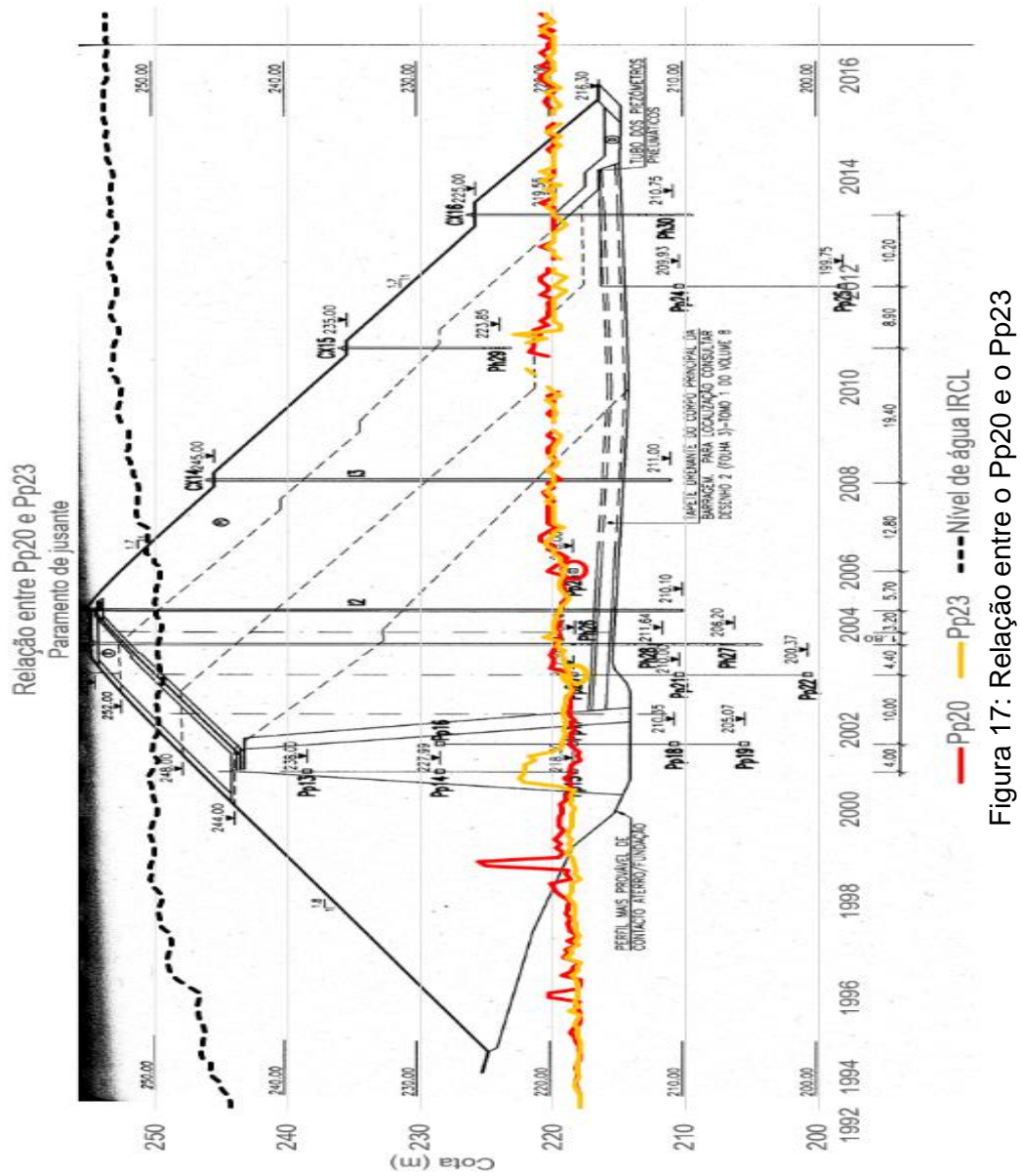


Figura 17: Relação entre o Pp20 e o Pp23

Tabela 16: Cotas relativas dos Pp20 e Pp23.

Cotas (m)	Pp20	Pp23	Diferença entre Pp20 e Pp23
Ponteira	217,96	218,00	0,04
Nível piezométrico (m)			
Média	219,64	219,47	0,17
Máximo	225,66	223,00	2,66
Mínimo	217,96	218,00	-0,04

## 4.2.2. Piezômetros hidráulicos

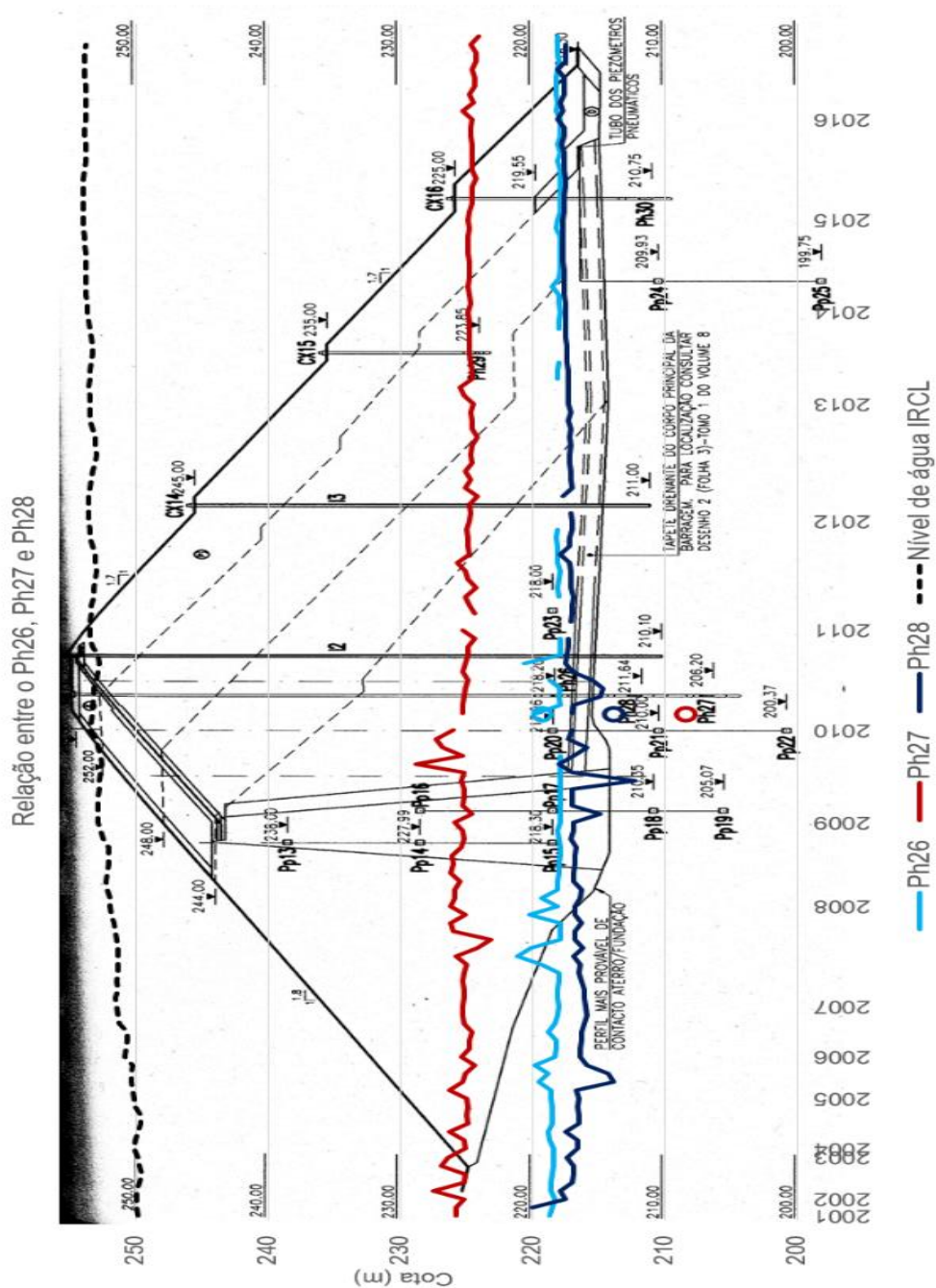


Figura 18: Relação entre o Ph26, Ph27 e o Ph28.

- O Ph26 representado a azul claro, situado no aterro. O início das medições a 5/12/2001, sem registro de 10/2005 a 03/2006 e de 01/2012 a 03/2013. Não existem variações consideráveis do nível piezométrico em relação à cota da ponteira. Em média, cerca de 0,363 m, aproximadamente. A diferença entre o nível piezométrico e o nível de água na IRCL é de 34,293 m.

- O Ph27 exibido a vermelho, situado na fundação. As medições iniciaram-se a 5/12/2001. Apesar do Ph26 se situar mais acima (no aterro) que o Ph27, o nível piezométrico do Ph27 encontra-se numa variação de cotas mais elevadas. Em média, com uma variação de 18,44

m da cota da ponteira ao nível piezométrico e diferença entre o nível de água e o nível piezométrico é de 27,49 m.

- O Ph28 apresentado a azul-escuro, situado na fundação. O início das medições a 03/2005 com um intervalo sem medições de 10/2005 a 03/2006. Intersecta níveis piezométricos do Ph26, apesar de este se situar 7 m acima. Em média, a diferença entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 4,70 m. A diferença entre o nível de água da IRCL e do nível piezométrico é de 35,56 m. Consideramos que há bastante semelhança entre a piezometria nos Pp20, Pp21 e Pp22 e os Ph26, Ph27 e Ph28, o que se deve à proximidade e à semelhança de condições geotécnicas.

Tabela 17: Cotas relativas dos Ph26, Ph27 e Ph28.

Cotas (m)	Ph26	Ph27	Ph28
Tampa	255,09	255,09	255,09
Ponteira	217,91	206,20	212,30
Nível piezométrico (m)			
Média	218,27	225,07	216,99
Máximo	221,12	228,83	220,07
Mínimo	217,91	223,20	212,29

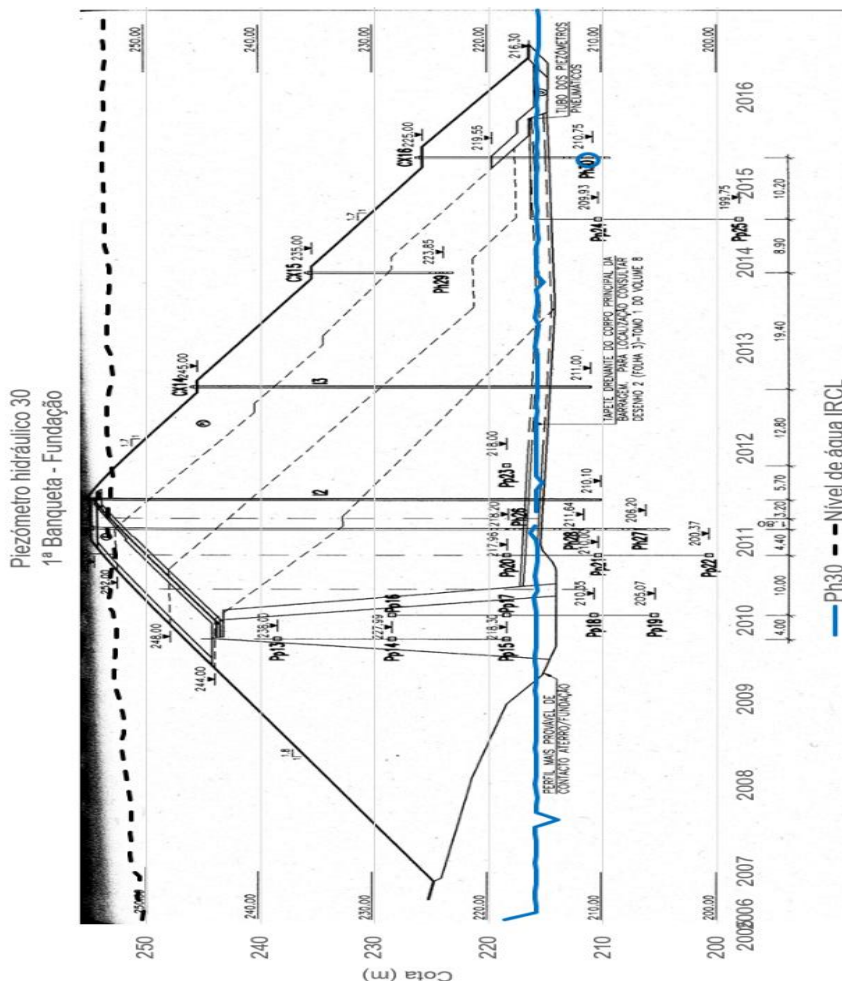


Figura 19: Piezómetro hidráulico 30.

- O Ph30 apresentado a azul, situado na 1ª banquetta – fundação. O início das medições a 03/2005 com um intervalo sem medições de 10/2005 a 03/2006, que não se observa no gráfico e em 02/2011. O pico mínimo do Ph30 de 213,93 m na zona dos tubos dos piezómetros pneumáticos/ tapete drenante no final de 2007 pode dever-se aos valores de evaporação e a precipitação é de 173,2 mm e 9,3 mm, respetivamente. Geralmente, o Ph30 apresenta oscilações pouco significativas. A variação do nível piezométrico e da cota da ponteira é de 5,14 m e entre o nível de água na IRCL e o nível piezométrico é de 37,06 m.

Os valores medidos mostram que não há tensões neutras significativas no pé da IRCL, o que é uma situação muito favorável para a estabilidade do IRCL. Mostra também que a drenagem da fundação cumpre a sua função.

Tabela 18: Cotas relativas do Ph30.

Cotas (m)	Ph30
Tampa	225,88
Ponteira	210,75
Nível piezométrico (m)	
Média	215,84
Máximo	218,61
Mínimo	213,93

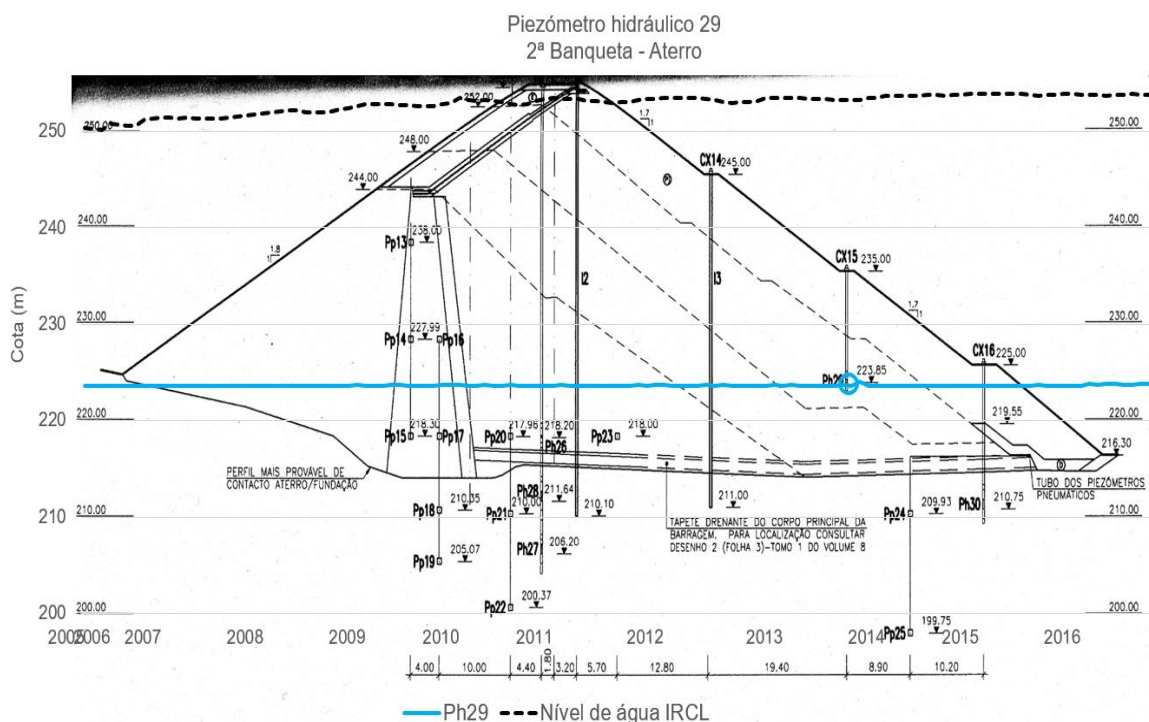


Figura 20: Piezómetro hidráulico 29.



O Ph29 exibido a azul claro, situado na 2ª banquetta – aterro, cujo início de medições deu-se a 03/2005, com um intervalo sem registo de 10/2005 a 03/2006. Não existem oscilações significativas, aliás o nível piezométrico é maioritariamente igual à cota da ponteira. A diferença entre os valores medianos do nível piezométrico e da cota da ponteira é de 0,0225 m. Entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 29,21 m, ver figura 20.

Os valores apresentam alguma dificuldade de interpretação pois não apresentam variações significativas e são semelhantes à cota da ponteira, não são conclusivos.

Tabela 19: Cotas relativas do Ph29.

Cotas (m)	Ph29
Tampa	235,46
Ponteira	223,66
Nível piezométrico (m)	
Média	223,68
Máximo	224,03
Mínimo	223,66

#### 4.2.3. Piezómetros hidráulicos de tubo aberto

Nesta portela existem 12 piezómetros tipo Casagrande, os primeiros 3, nomeadamente PCL1, PCL2 e PCL3 possuem um pico máximo de 225 m, aproximadamente a 11/1997, que pode justificar-se pelo valor elevado de precipitação atmosférica nesse mês em relação à evaporação, com valores de precipitação de 200,8 mm e de evaporação de 27,5 mm. O PCL4 tem um comportamento constante e o conjunto dos PCLs do 1 ao 4 são os únicos não artesianos nesta portela. Os PCLs 1,2,3 e 4 têm início do registo de medições a 08/1993. Para visualização dos 12 piezómetros hidráulicos tipo Casagrande – ANEXO VI.

Tabela 20: Cotas relativas dos PCL1, PCL2, PCL3 e PCL4.

Cotas (m)	PCL1	PCL2	PCL3	PCL4
Terreno (z)	224,54	224,20	223,96	223,75
Ponteira	204,54	214,20	203,96	210,74
Nível piezométrico (m)				
Média	219,15	220,38	216,51	214,75
Máximo	224,54	224,54	224,54	217,90
Mínimo	214,67	218,84	215,39	213,80

A partir do PCL5, os piezómetros tornam-se artesianos e/ou não artesianos, simultaneamente, ou seja, alturas em que o piezómetro tem é medido através do medidor de pressão (bar) e pelo nível de água. O PCL5 é artesiano apenas de 08/2004 a 08/2005. O PCL6 possui valores de nível de água e caudal de pressão de 11/1993 a 11/2016, ver tabela 21.

Tabela 21: Cotas e dados de pressão do PCL5 e PCL6.

Cotas (m)	PCL5 (cota)	PCL5 (bar)	PCL6 (cota)	PCL6 (bar)
Terreno (z)	215,06	---	214,82	---
Ponteira	195,06	---	204,82	---
Nível piezométrico (m)				
Média	215,06	0,048	221,18	0,636
Máximo	215,67	0,06	222,82	0,80
Mínimo	214,86	0,04	220,02	0,52

O PCL7 é artesiano de 08/2003 a 12/2010, devido a fugas no piezômetro, não permitia a leitura rigorosa da pressão, pelo que deixou de ter registros. O PCL8 possui valores de pressão garantidos de 08/2003 a 07/2012 e a partir desta data, alguns dados não são possíveis de medir ou não são rigorosos devido a avaria do piezômetro, ver tabela 22.

Tabela 22: Cotas e dados de pressão do PCL7 e PCL8.

Cotas (m)	PCL7 (cota)	PCL7 (bar)	PCL8 (cota)	PCL8 (bar)
Terreno (z)	214,22	---	214,22	---
Ponteira	194,22	---	204,22	---
Nível piezométrico (m)				
Média	217,79	0,358	215,5	0,128
Máximo	219,02	0,48	217,02	0,28
Mínimo	216,02	0,18	214,22	0,02

O PCL9 possui medições de pressão e nível de água de 08/2003 a 07/2005, e de 08/2006 a 11/2010, a partir desta data deixa de ter registros devido a avaria do piezômetro. O PCL10 é maioritariamente não artesiano, respetivamente de 11/2003 a 11/2011, após um intervalo sem medições, 01/2014 a 05/2016, e com valores de pressão de 11/2003 a 08/2005, ver tabela 23.

Tabela 23: Cotas e dados de pressão do PCL9 e PCL10.

Cotas (m)	PCL9 (cota)	PCL9 (bar)	PCL10 (cota)	PCL10 (bar)
Terreno (z)	220,83	---	220,65	---
Ponteira	200,83	---	210,65	---
Nível piezométrico (m)				
Média	221,21	0,048	220,53	0,045
Máximo	222,03	0,12	221,45	0,08
Mínimo	220,61	0,02	219,75	0,02

O PCL11 inicia em 08/2003 a 12/2010, tendo um intervalo e reinicia a 01/2013 a 11/2016. A partir de 09/2014 algumas leituras de pressão são inválidas devido a uma acentuada diminuição da pressão que é provocada por problemas no piezômetro. O PCL12 tem início a

08/2003 a 02/2011 e a partir desta data, deixa de ter registo devido a avaria do piezómetro, ver tabela 24.

Tabela 24: Cotas e dados de pressão do PCL11 e PCL12.

Cotas (m)	PCL11 (cota)	PCL11 (bar)	PCL12 (cota)	PCL12 (bar)
Terreno (z)	214,94	---	214,85	---
Ponteira	194,94	---	204,85	---
Nível piezométrico (m)				
Média	217,76	0,293	217,79	0,294
Máximo	219,74	0,48	219,05	0,42
Mínimo	214,94	0,14	215,65	0,08

#### 4.2.4. Caudais de infiltração

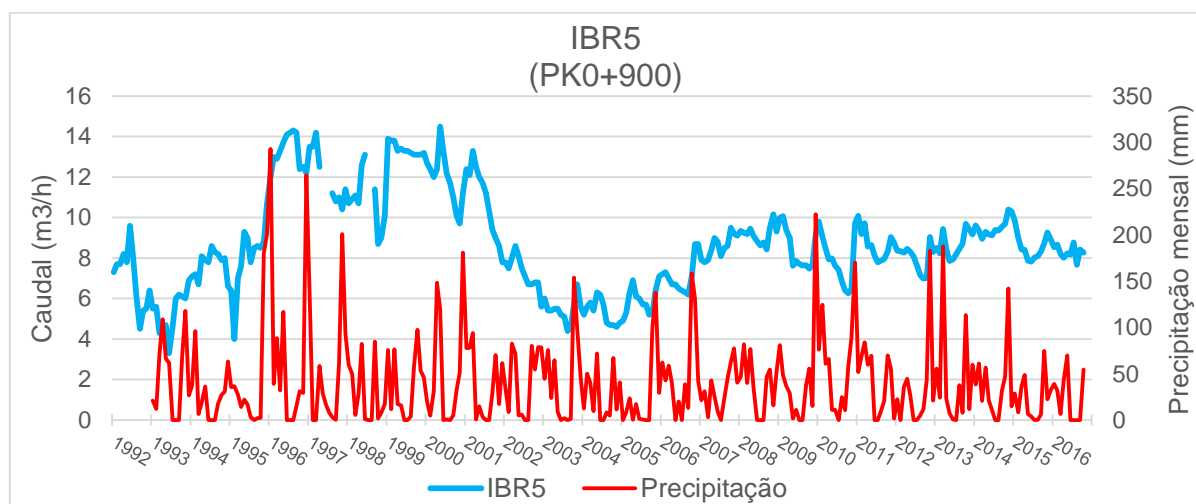


Gráfico 5: Relação entre o IBR5 e a precipitação.

O IBR5 é um dos mais antigos da IRCL, localizado no leito da ribeira à saída do tapete drenante que drena para o exterior as águas do filtro interno do Corpo Principal da IRCL. O IBR5 situa-se na zona planas mal drenada em que este funciona como poço drenante para o rebaixamento do aquífero existente. Como se trata de uma zona de forte afluência de água ao tapete drenante foram instalados tubos de drenagem suplementares para reforçar as entradas de água no IBR. Para além da selagem da fundação foram feitos diques em material impermeável para impedir a passagem da água para jusante. (CENORGE, 2005a)

- O nível de água na IRCL vai aumentando consoante os trabalhos de alteamento, que amplificou a área de enchimento da bacia e conseqüentemente, os volumes bombeados do poço para a albufeira. Provavelmente, o aumento registado em janeiro de 1996 pode dever-se aos elevados valores de precipitação atmosférica e a descida a partir de 2005 pode dever-se à 4ª fase de construção.

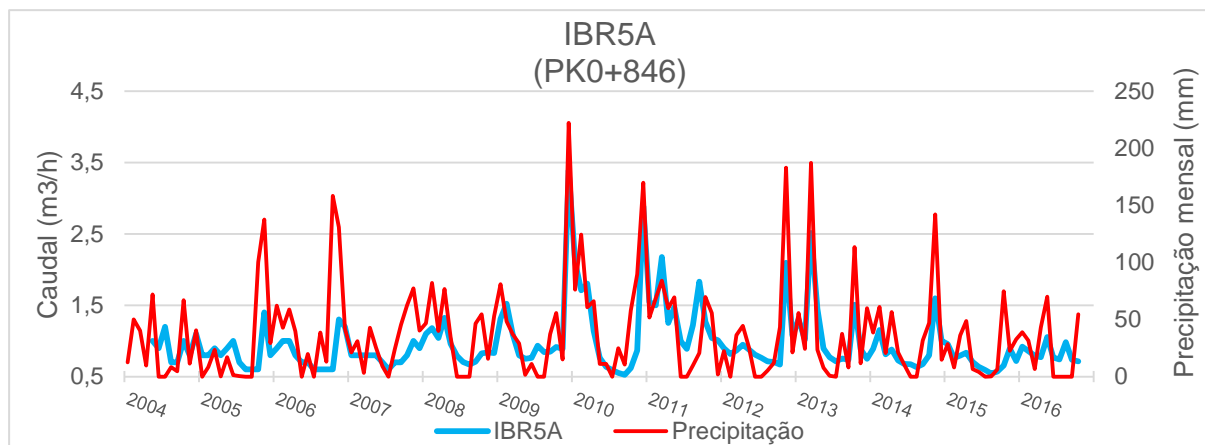


Gráfico 6: Relação entre o IBR5A e a precipitação.

O IBR5A situado junto ao leito da ribeira numa área bastante húmida próxima dos piezómetros PCL5 e PCL6 com artesianismo. Este poço capta as águas de percolação e de infiltração recolhidas pelo dreno de pé do Corpo Principal, entre o PK0+587 e o PK0+885, dos piezómetros PCL5 e PCL6 e de um dreno instalado sob o aqueduto AQ2. (CENORGE, 2005a) Tal como o IBR5, este poço localiza-se na zona mal drenada e serve como poço drenante para o rebaixamento do aquífero existente e possui também diques em material impermeável para impedir a passagem da água para jusante. (CENORGE, 2005a)

O IBR5A teve como finalidade captar as águas de percolação que por ali se vazavam e captar as águas do tapete drenante do lado direito da antiga descarga de fundo. Os picos do gráfico 6 estão relacionados com as estações do ano, em que nos meses de outubro a abril, há elevada precipitação e reduzida evaporação, sendo o caudal do IBR5A máximo nos picos de 12/2009 com caudal de 3,40 m<sup>3</sup>/h e em 12/2010 com caudal de 2,89 m<sup>3</sup>/h.

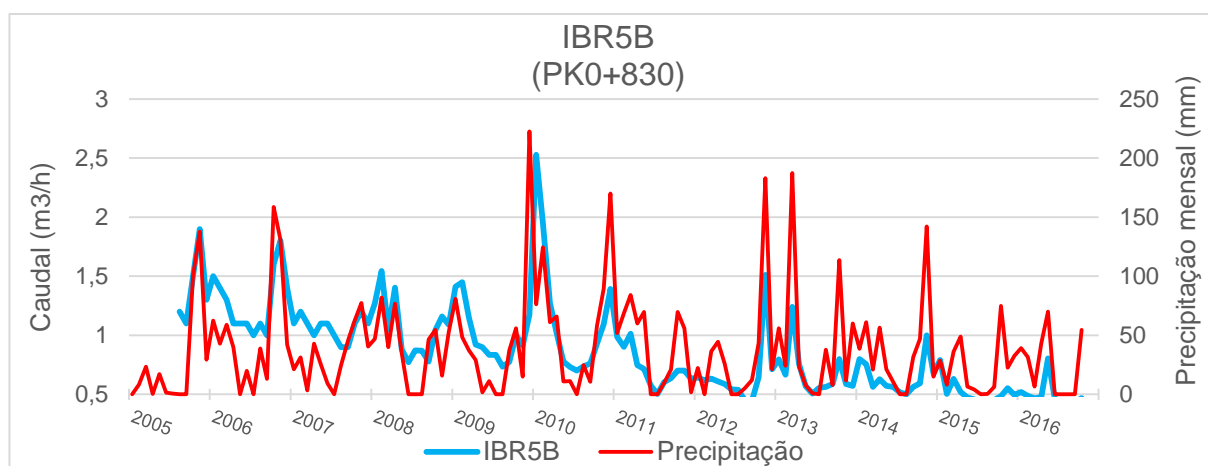


Gráfico 7: Relação entre o IBR5B e a precipitação.

O IBR5B situa-se a cerca de 50 m do pé do Corpo Principal da IRCL e capta apenas as águas subterrâneas. As obras de drenagem foram feitas de maneira a separar as águas superficiais

e subterrâneas. As águas superficiais são canalizadas para a ribeira a jusante do IBR5B. “As águas subterrâneas que são conduzidas para o IBR5B provêm essencialmente de um tapete drenante que cobre uma vasta área do leito da ribeira onde existem diversas nascentes, algumas delas associadas a uma falha e outras dispersas.” (CENORGE, 2005b) O IBR5B iniciou as suas medições a 08/2005, os picos máximos estão correlacionados com elevada precipitação e ao aumento do nível de água da IRCL, como no mês de janeiro em 2010 com caudal de 2,53 m<sup>3</sup>/h. E os picos mínimos como em julho de 2016 com caudal de 0,43 m<sup>3</sup>/h com níveis de evaporação de 264,4 mm em relação a 0,0 mm de precipitação.

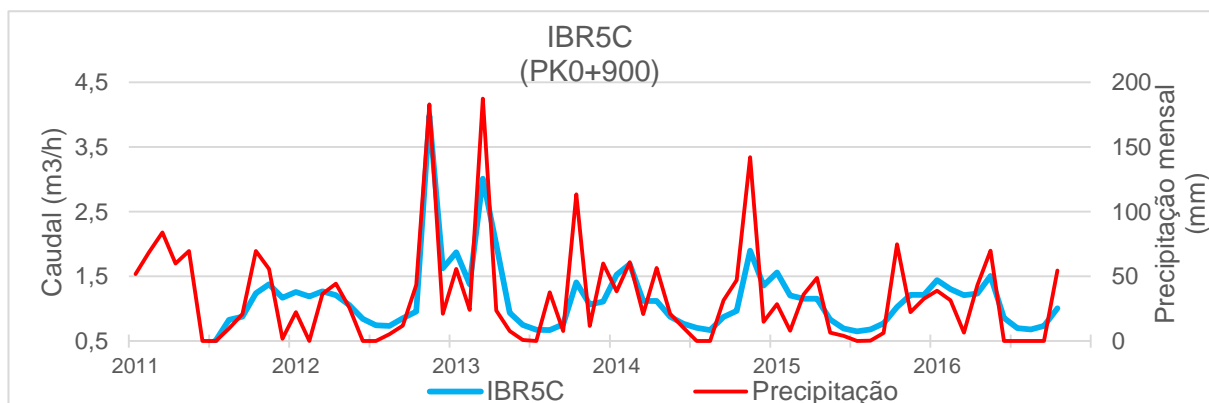


Gráfico 8: Relação entre o IBR5C e a precipitação.

O IBR5C capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo tapete drenante do Corpo Principal e pelo dreno de pé no troço entre o PK0+885 e o PK1+070. “Dos elementos do arquivo da SOMINCOR, pode concluir-se que o tapete drenante com saída junto a este poço segue o antigo leito da linha de água, infletindo no interior do aterro para o lado do encontro direito, tendo sido encontrado na perfuração do inclinómetro I2. A separação de águas no dreno de pé, entre os poços IBR5A e IBR5, é feita pelo maciço em betão da antiga descarga de fundo aproximadamente ao PK0+885.” (CENORGE, 2005b) O IBR5C iniciou as medições a 06/2011. Observa-se que o IBR5C é extremamente sensível às oscilações de precipitação. O caudal máximo é de 3,98 m<sup>3</sup>/h a 11/2012 e o caudal mínimo é de 0,37 m<sup>3</sup>/h a 06/2011.

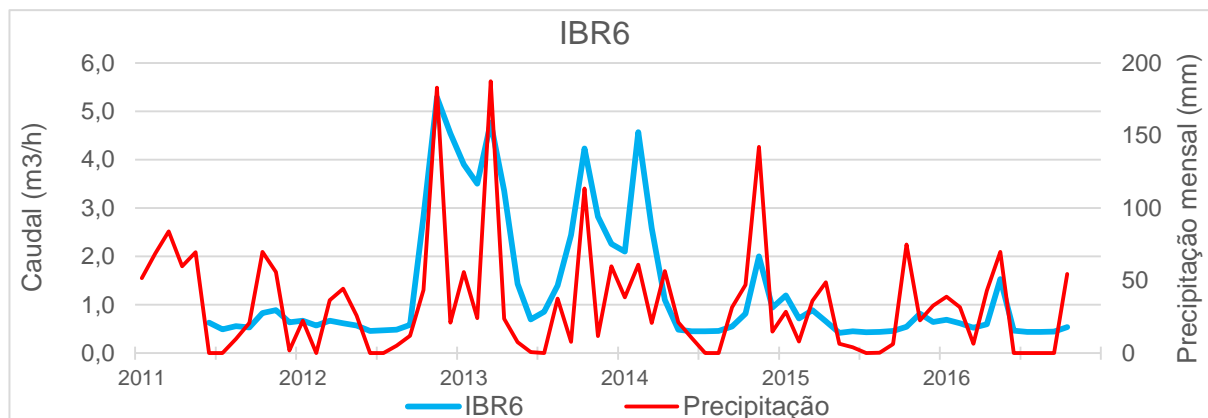


Gráfico 9: Relação entre o IBR6 e a precipitação.

O IBR6 situa-se a jusante do Corpo Principal. O caudal do IBR6 praticamente constante até finais de 2012. Em novembro de 2012 sofre um súbito aumento do caudal, sendo o pico máximo com valor de 5,29 m<sup>3</sup>/h, podendo ser explicado pelo elevado valor de precipitação (183,0 mm em relação à evaporação com valor de 47,3 mm). O pico mínimo em maio de 2015 com caudal de 0,42 m<sup>3</sup>/h em que a evaporação é de 204,8 mm em relação à precipitação que é de 6,6 mm. Ou seja, existe uma relação direta entre o caudal e as variações de precipitação e evaporação, e pela existência de um aquífero na zona.

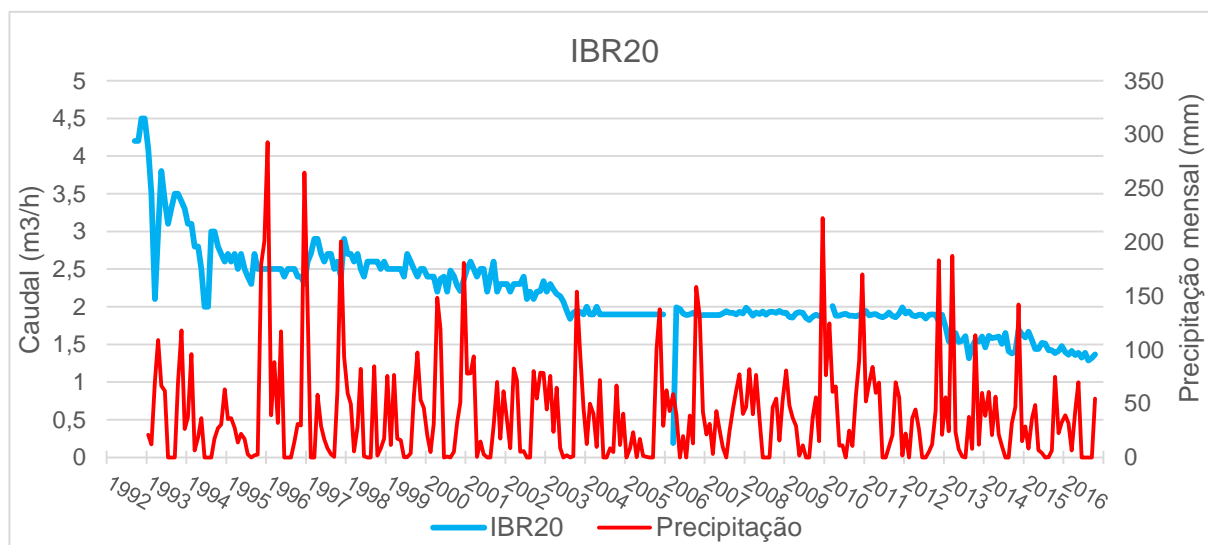


Gráfico 10: Relação entre o IBR20 e a precipitação.

O IBR20 situa-se a jusante do Corpo Principal, trata-se de uma caixa junto ao tanque, IBR23, que recebe as águas de um antigo furo com artesianismo, atualmente coberto pelo aterro do Corpo Principal (CENORGE, 2005b). Nota-se uma relação entre o IBR5 e o IBR20 em que o caudal do IBR5 é aproximadamente duplo do caudal do IBR20, provavelmente pela drenagem de um pequeno aquífero independente da albufeira. Faz-se esta comparação porque o poço IBR20 se localiza aproximadamente à mesma cota que o IBR5.

Como o IBR20 se trata de uma caixa que recolhe as águas de um antigo furo com artesianismo, o caudal não detém a suscetibilidade dos outros IBRs, como os IBRs 5A, 5B, 5C e 6, que possuem às variações da precipitação. No início do registo do gráfico 10, de 1993 a 1995 observa-se uma ligeira relação entre o caudal e a precipitação. A partir de 2003 o caudal torna-se constante entre os valores de 1,8 a 2,1 m<sup>3</sup>/h, não havendo relação direta com o aumento ou diminuição da precipitação. Em agosto de 2013 o caudal desce até os 1,32 m<sup>3</sup>/h. Observa-se, geralmente, uma tendência de diminuição do caudal do IBR20.

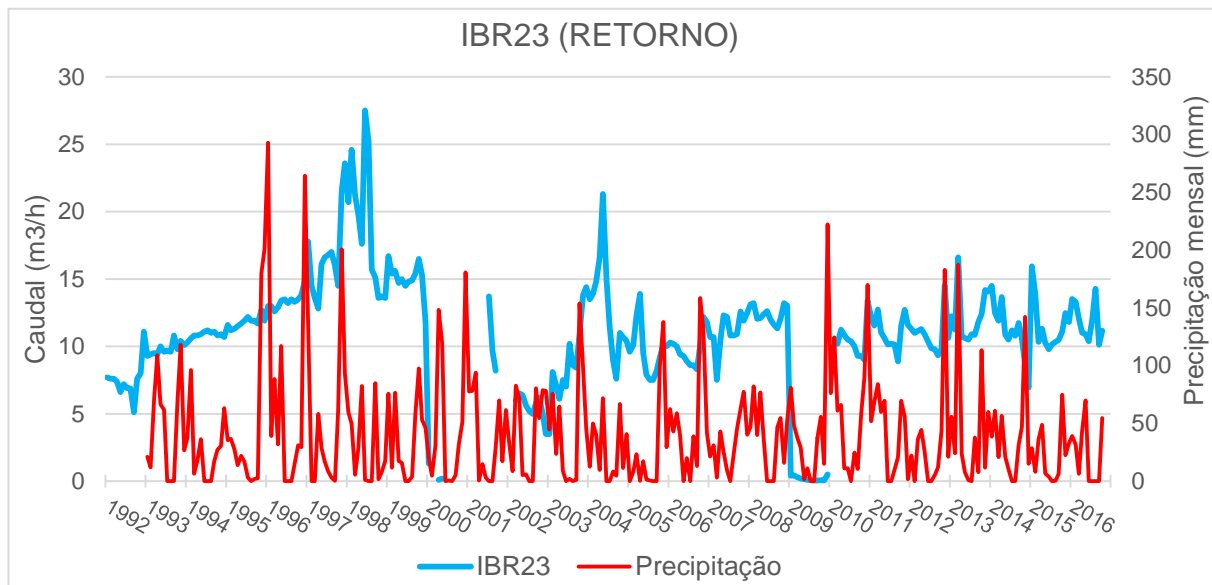


Gráfico 11: Relação entre o IBR23 e a precipitação

O IBR23 é um tanque que recebe as águas de infiltração no pé do Corpo Principal dos poços IBR5, IBR5A, IBR5B e IBR20. “As águas recolhidas neste tanque são bombeadas para a albufeira junto ao PK0+610, podendo ser derivadas para o tanque de enchimento do sifão por meio de um tubo *by-pass*.” (CENORGE, 2005b) Este IBR é de difícil interpretação uma vez que não se sabe a quantidade de água que é direcionada de cada IBR para o tanque (IBR23).

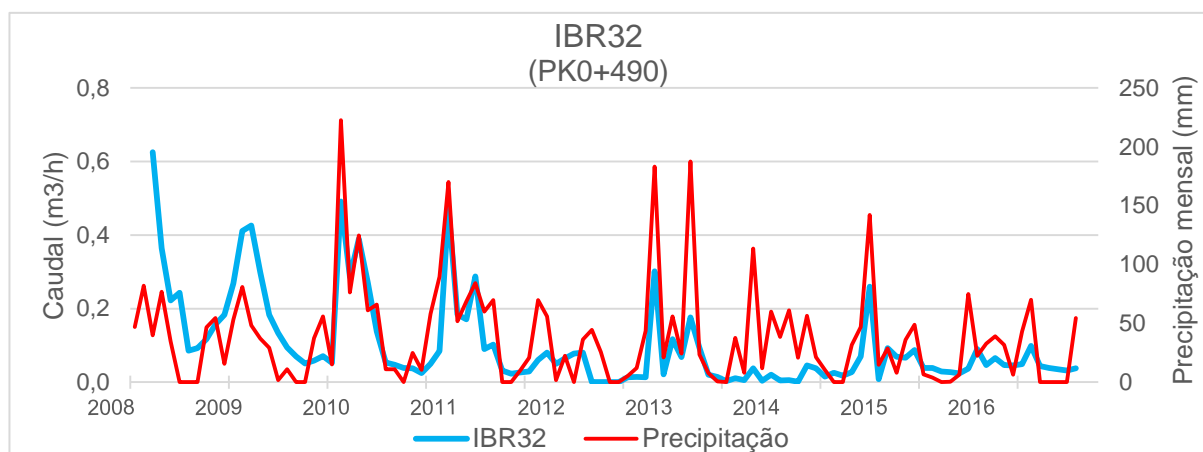


Gráfico 12: Relação entre o IBR32 e a precipitação

O IBR32 situa-se na fundação do aterro com o propósito de drenar uma zona com pendente para montante, havendo o risco de se estabelecer uma pressão de jusante para montante sobre a geomembrana (CENORGE, 2005a). Este poço recolhe as águas de percolação e infiltração coletadas pelo dreno em gravilha colocado a jusante do plinto (elemento que fica diretamente sob as base de um pilar) numa extensão de cerca de 20 m e as águas superficiais entre o pé da IRCL e a vedação no troço do Corpo Principal entre o PK0+425 e o PK0+587. (CENORGE, 2005b) O IBR32 entrou em operação no início de março de 2008 e pode-se concluir que os picos do gráfico se relacionam com os valores de máxima precipitação para os picos máximos e os valores de evaporação máxima para os troços mínimos.

#### 4.2.5. Inclínómetros

O perfil de observação PO5 possui dois inclinómetros: o inclinómetro 2 e o inclinómetro 3. Ambos se situam no PK0+850, contudo a cota de referência das leituras é diferente, ou seja, o inclinómetro 2 situa-se no coroamento do Corpo Principal com cota de referência de 255,62 m e o inclinómetro 3 situa-se na 1ª banquetta com cota de referência de 245,51 m. Antes de analisar os inclinómetros é importante conhecer as diferentes profundidades, cotas de referência das leituras e do terreno perfurado.

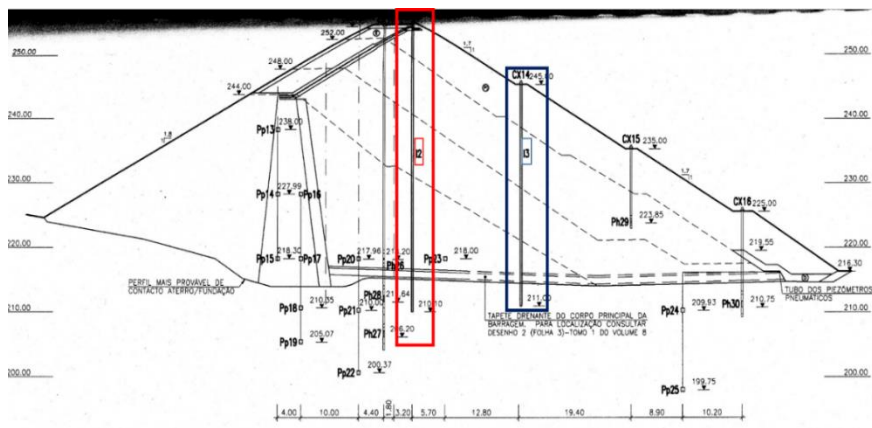


Figura 21: Localização dos inclinómetros 2 e 3 do Corpo Principal (CENORGE, 2005b).

Tabela 25: Profundidades relativas à cota de referência das leituras dos inclinómetros 2 e 3 (adaptação da tabela do relatório da CENORGE, 2005b).

Profundidades relativas à cota de referência das leituras	I2	I3
Contacto aterro/fundação	42,55 m	32,05 m
Fundo do furo	45,55 m	34,55 m
Ancoragem da calha com calda de cimento	43,05 m	32,55 m



Tabela 26: Descrição dos terrenos perfurados pela execução do furo do I2 e do I3 (adaptação da tabela do relatório da CENORGE, 2005b).

Inclinómetro 2		Inclinómetro 3	
Troço perfurado	Descrição dos terrenos	Troço perfurado	Descrição dos terrenos
0,00 – 6,00 m	Aterro de enrocamento, material Pj	0,00 – 6,00 m	Aterro de enrocamento, material Pj
6,00 – 41,00 m	Aterro de escombros, material E	6,00 – 31,50 m	Aterro de escombros, material E
41,00 – 41,50 m	Areia do tapete drenante existente	31,50 – 32,00 m	Fundação, xisto alterado, brando
41,50 – 42,00 m	Fundação, xisto alterado, brando	32,00 – 34,00 m	Fundação, xisto são ou pouco alterado
42,00 – 44,50 m	Fundação, xisto são ou pouco alterado		

Todos os dados apresentados nas tabelas 24 e 25 foram considerados na interpretação dos gráficos de deslocamento cumulativo em função da profundidade dos inclinómetros e também a forma correta de leitura dos eixos da sonda (os eixos A e B) como demonstra na figura 22. Para melhor visualização da localização dos inclinómetros ver o ANEXO III.

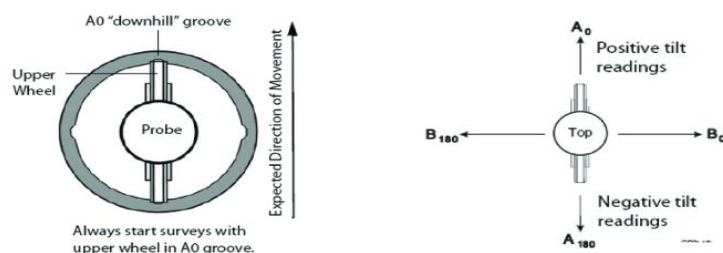


Figura 22: Orientação da sonda dentro das calhas inclinométricas (Machan and Bennet, 2008).

Na análise do gráfico 13, de deslocamento cumulativo do eixo A do inclinómetro 2 nota-se que na profundidade 0 m, o valor negativo atinge o máximo de -10 mm, que vai diminuindo até 0 mm aos 4 m de profundidade, aproximadamente, isto pode dever-se ao facto do alteamento ter sido controlado. A partir dos 4 m, o deslocamento torna-se positivo gradualmente até um máximo de 30 mm aos 21 m de profundidade, aproximadamente. E volta a diminuir até os 30 m de profundidade com deslocamento de 15 mm, aproximadamente. Dos 30 aos 33 m de profundidade, observa-se um deslocamento ligeiro para o exterior do aterro, de 10 a 15 mm, diminuindo para maiores profundidades. Dos 39 aos 42 m de profundidade, o deslocamento torna-se ligeiramente negativo e a partir do contacto aterro/fundação, o deslocamento é de 0 mm. Ao correlacionar o gráfico com a tabela \_ pode inferir-se que o deslocamento negativo dos 0 – 4 m pode dever-se ao material Pj que possui o fuso granulométrico adequado, e pelo contrário dos 6 – 39 m corresponde a material de escombros, que é mais deformável, indiciando um movimento da massa para jusante entre os 6 – 41 m.

O ligeiro deslocamento negativo dos 41 a 41,50 m pode dever-se há existência de areia do tapete drenante. E 0 mm de deslocamento dos 41,50 a 45,55 m devido à fundação e ancoragem com calda de cimento a 43,05 m.

O eixo B não possui variações significativas. As leituras mais antigas têm valores negativos de deslocamento mas a mais recente, dos 0 aos 3 m de profundidade, exhibe deslocamento de 5 mm, diminuindo ligeiramente até os 21 m. A partir daí possui leves curvaturas, aos 27 m quase que atinge os 5 mm de deslocamento. Dos 27 aos 33 m diminui e quase que alcança os 0 mm. Dos 33 aos 36 m aumenta até os 5 mm, aproximadamente. Dos 36 aos 42 m diminui e atinge os 0 mm até ao fundo do furo.

- O inclinómetro I3 é menos comprido em relação ao I2, isto é, situa-se 10 m abaixo do I2 mas no mesmo alinhamento. Observa-se que nas primeiras 3 medições de 2006 até aos 21 m, o deslocamento varia muito ligeiramente dos 0 mm. Mas nas outras medições o deslocamento inicia-se aos 20 mm e vai aumentando até os 30 mm aos 12 m de profundidade. Depois possui ligeiras curvaturas e vai diminuindo até 21 m entre os 15 – 20 mm, aproximadamente. Aos 22 m de profundidade, apresenta um pico acentuado que atinge um valor superior aos 30 mm mas inferior a 35 mm, zona que possivelmente pode estar em perigo de rotura. Depois, diminui também acentuadamente até os 15 mm aos 23 m. E vai diminuindo gradualmente até próximo dos 30 m, o deslocamento torna-se 0 mm.

O eixo B inicia com valor negativo de -5 mm e vai diminuindo até os 21 m, depois apresenta uma curva acentuada que quase alcança o valor de -5mm. Retorna a diminuir até alcançar o 0 mm até ao fundo do furo. Observa-se correlações entre o I2 e o I3, uma vez que se apresentam no mesmo alinhamento, dos 6 – 41 m do I2 e dos 0 - 30 m do I3 pode considerar-se uma zona com deformações controladas.

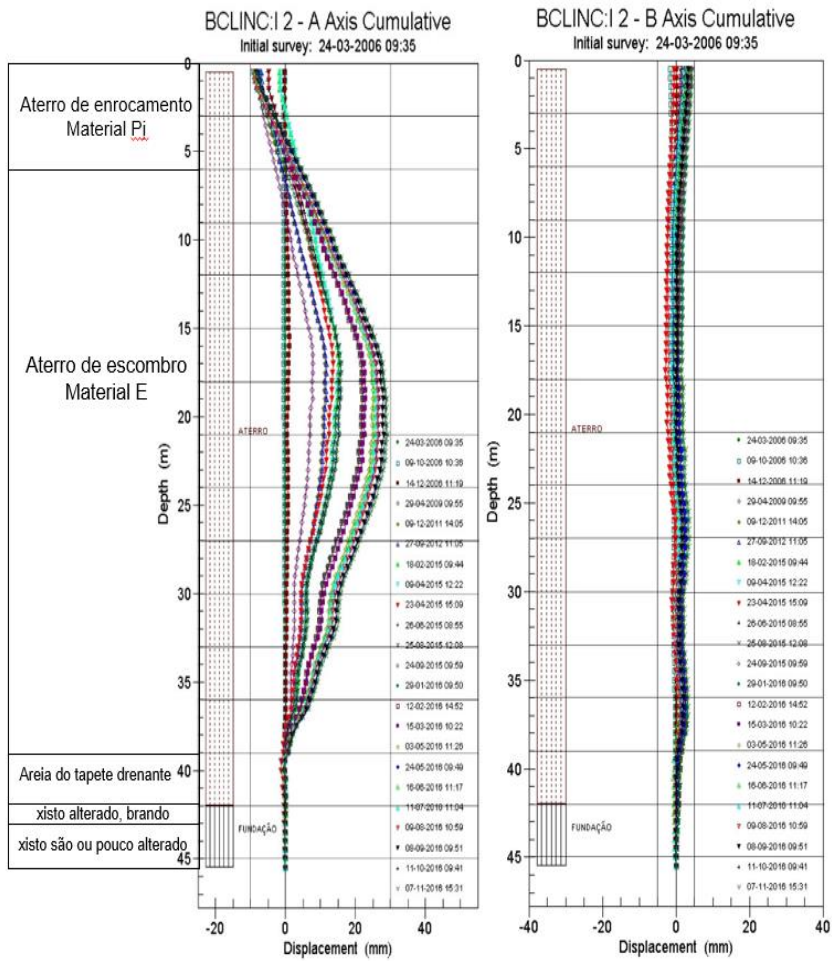


Gráfico 13: Deslocamento cumulativo: eixo A e do eixo B do inclinómetro I2.

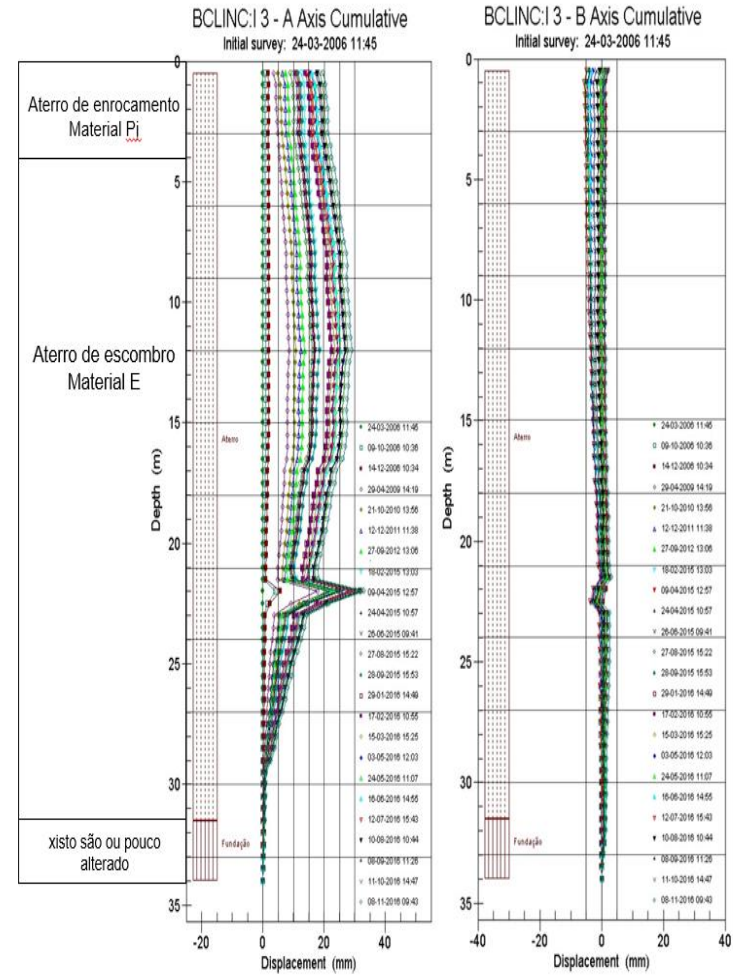


Gráfico 14: Deslocamento cumulativo: eixo A e do eixo B do inclinómetro I3

4.2.6. Marcas superficiais

As marcas superficiais presentes no coroamento do corpo principal são 18 colocadas nesta ordem de este para oeste: MS4, MS5, MS7, MS10, MS13, MS16, MS19, MS22, MS24, MS25, MS26, MS27, MS28, MS29, MS30, MS31, MS32 e MS33.

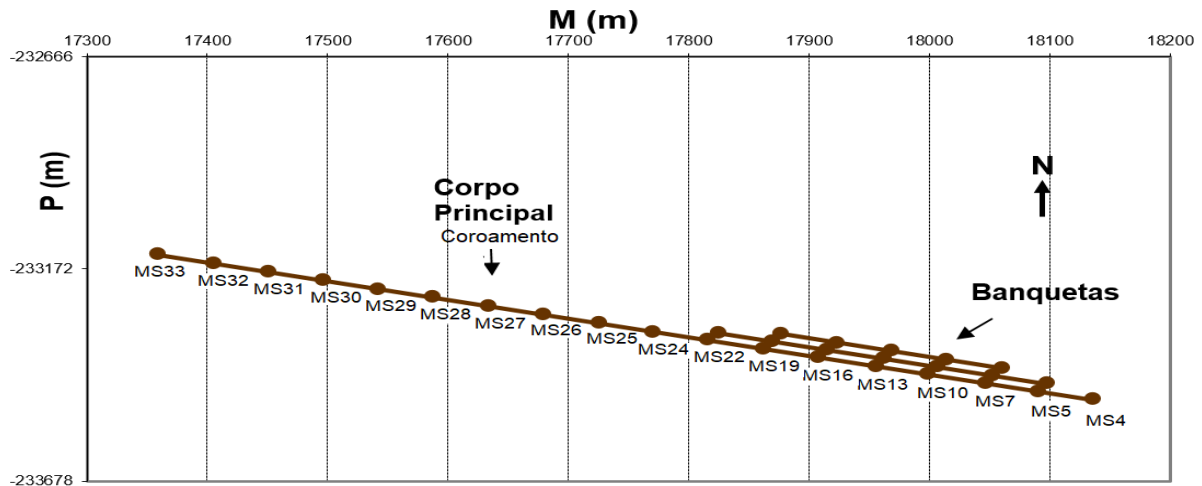


Figura 23: Localização das marcas superficiais no Corpo Principal (SOMINCOR, 2016).

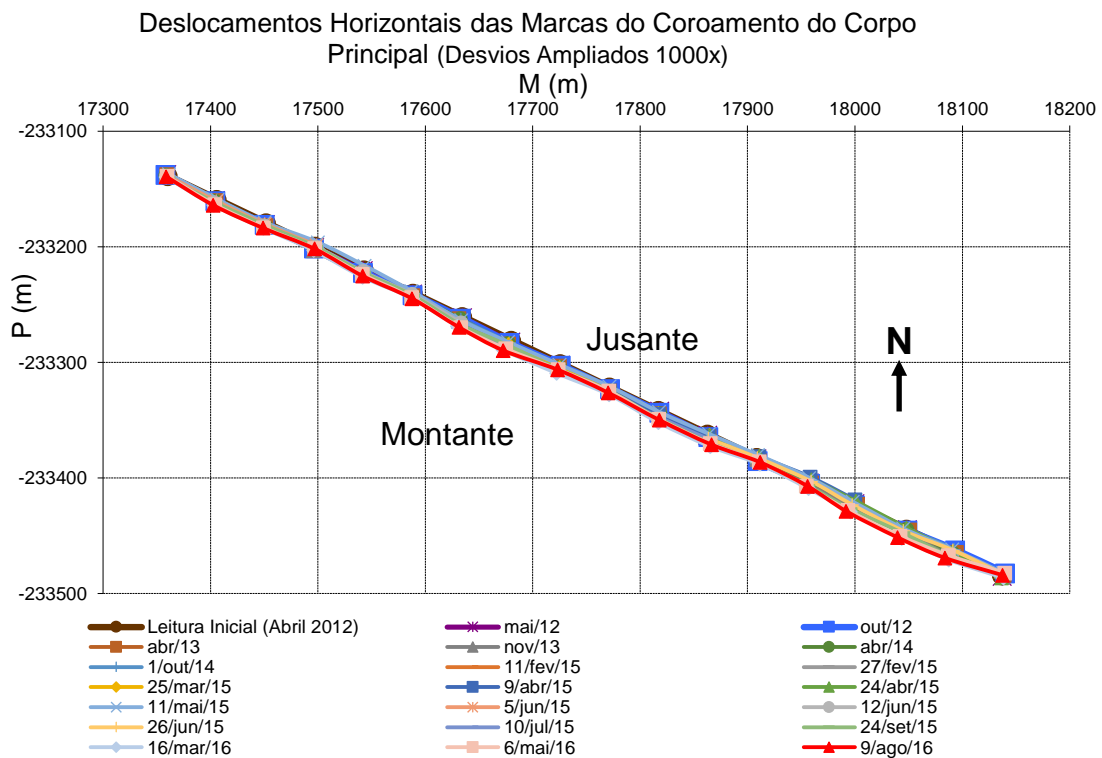


Gráfico 15: Deslocamentos horizontais do Coroamento do Corpo Principal - Desvios ampliados 1000x (SOMINCOR, 2016).

Pela análise do gráfico 15 verifica-se uma tendência de deslocamento para montante, que pode dever-se ao aumento de carga a montante, nomeadamente a deposição subaérea de rejeitados e da cobertura em escombros. De notar que os deslocamentos estão ampliados 1000 vezes, pelo que o deslocamento é na ordem de milímetros o que não é considerado relevante para a estabilidade da IRCL.

Em relação à altimetria, a tabela 28 apresenta a leitura zero, ou seja a leitura de referência, última leitura e a diferença entre elas. Pelos valores negativos da coluna da diferença entre as leituras verifica-se que há uma tendência para o assentamento das marcas superficiais. Este comportamento é típico dos aterros e como se trata de um assentamento milimétrico, não apresenta ameaça para a estabilidade da portela.

Tabela 27: Leituras relativas à altimetria das marcas superficiais

Marcas superficiais	Leitura de referência - novembro de 2005 (m)	Última leitura - Agosto de 2016 (m)	Diferença entre a leitura de referência e a última (mm)
MS 4	255,65935	255,65793	-1,42
MS 5	255,6203	255,60207	-18,23
MS 7	255,60138	255,55391	-47,47
MS 10	255,58014	255,52875	-51,39
MS 13	255,59781	255,51936	-78,45
MS 16	255,60316	255,54950	-53,66
MS 19	255,59651	255,55601	-40,5
MS 22	255,601	255,58987	-11,13
MS 24	255,59224	255,58741	-4,83
MS 25	255,60531	255,60150	-3,81
MS 26	255,59364	255,58038	-13,26
MS 27	255,56347	255,54889	-14,58
MS 28	255,59426	255,59028	-3,98
MS 29	255,59808	255,59382	-4,26
MS 30	255,59189	255,59017	-1,72
MS 31	255,59382	255,58960	-4,22
MS 32	255,5775	255,56585	-11,65
MS 33	255,587	255,58212	-4,88

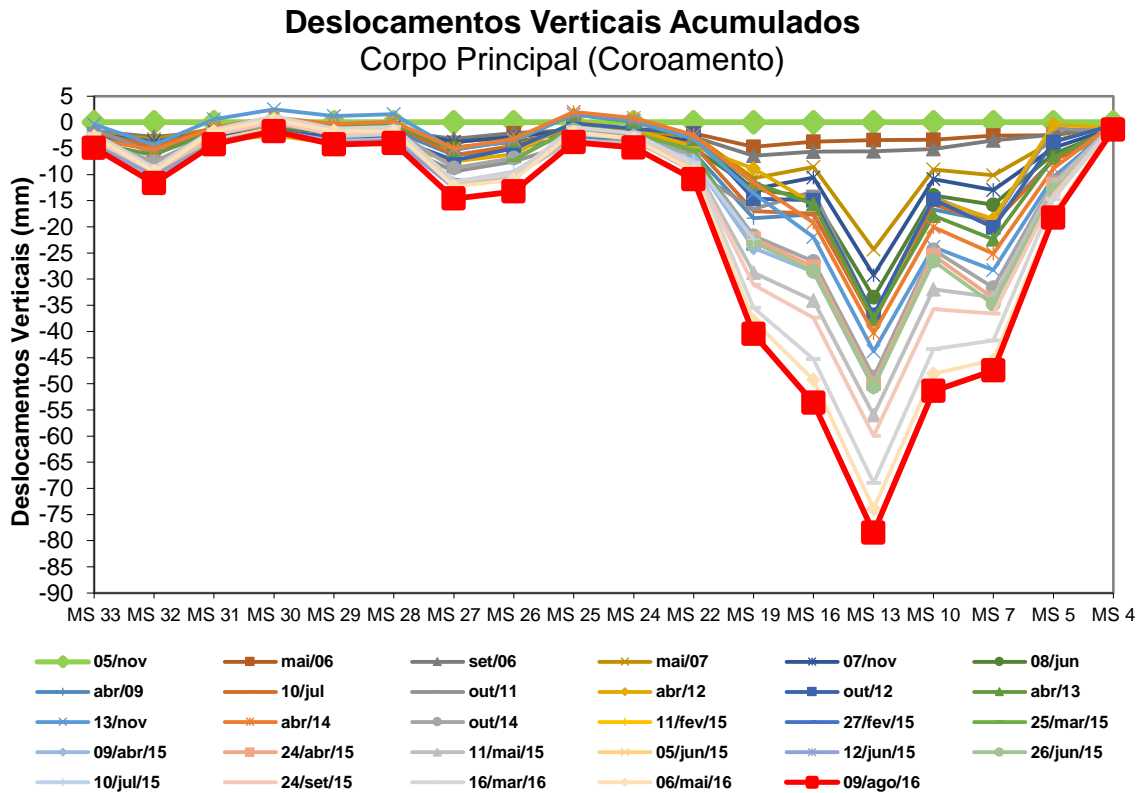


Gráfico 16: Deslocamentos verticais cumulados do Corpo Principal (adaptado SOMINCOR, 2016).

Pela observação do gráfico 16 nota-se que há deslocamentos verticais negativos, ou seja, assentamento do aterro, cujas marcas superficiais com maior deslocamento são as MS7, MS10, MS13, MS16 e MS19, isto deve-se há presença da 2ª e 3ª banquetas como se vê na figura 23. Verifica-se que os maiores assentamentos ocorrem nas zonas de maior altura da portela, pelo que se pode considerar que os assentamentos estão dependentes da altura do aterro.

#### 4.3. Portela do Corpo Principal

Existem dois perfis de observação desta portela mas como o PO7 tinha incongruências em relação à informação dos dados do Excel e dos esquemas da CENORGE, optou-se por apresentar o perfil de observação 8 (PO8) que é constituído por dois piezómetros pneumáticos, três piezómetros hidráulicos, um piezómetro hidráulico tipo Casagrande e três medidores de caudais de infiltração.

## 4.3.1. Piezómetros pneumáticos

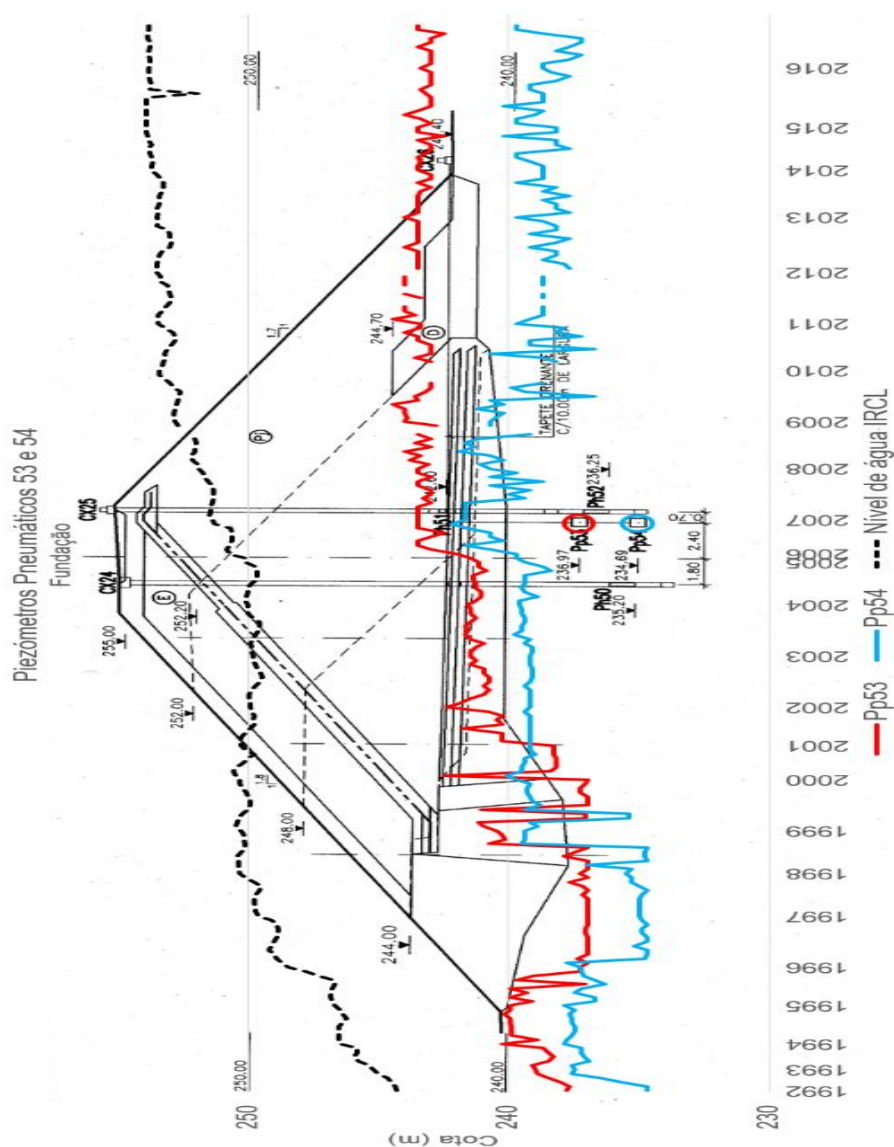


Figura 24: Relação entre o Pp53 e o Pp54.

- O Pp53 representado a vermelho, inicia com um nível piezométrico no intervalo entre 237 a 240 m. Intersecta a cota da ponteira a 02/1996. A partir desta data, o Pp53 oscila entre a cota da ponteira a 09/1998. Varia entre os 237 a 241 m. Volta a intersectar a cota da ponteira a 08/1999 e próximo desta até 03/2000. Alcança a cota 242,47 m a 05/2000, oscila entre 238 a 243 m. Exceto o pico máximo a 02/2011 com cota de 244,47 m.

A diferença entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 4,28 m, e este último entre o nível de água da IRCL é de 9,69 m.

- O Pp54 mostrado a azul, começa na cota da ponteira, o nível piezométrico ronda entre os 235 a 238 m, intersectando a cota da ponteira do Pp53. A partir de 04/1996 intersecta a sua

cota da ponteira, oscila entre os 234 a 236 m e volta a cruzar o Pp53. A 10/1998 aumenta para os 239 m. Diminui para a cota 235 m e depois, oscila entre os 238 a 242.

O Pp54 acompanha as tendências do Pp53. Muitos dos picos máximos são comuns, não em valor do nível piezométrico mas na série temporal em que acontecem. Só se observa uma vez em que o nível piezométrico do Pp54 ultrapassa o Pp53 a 04/1996, porém muito perto da cota da ponteira do Pp53. De resto não existem níveis piezométricos do Pp54 que excedam os níveis piezométricos do Pp53.

Tabela 28: Cotas relativas dos Pp53 e Pp54.

Cotas (m)	Pp53	Pp54	Diferença entre Pp53 e Pp54
Ponteira	236,97	234,69	2,28
Nível piezométrico (m)			
Média	241,25	238,49	2,76
Máximo	244,47	242,19	2,28
Mínimo	236,97	234,69	2,28

4.3.2. Piezômetros hidráulicos

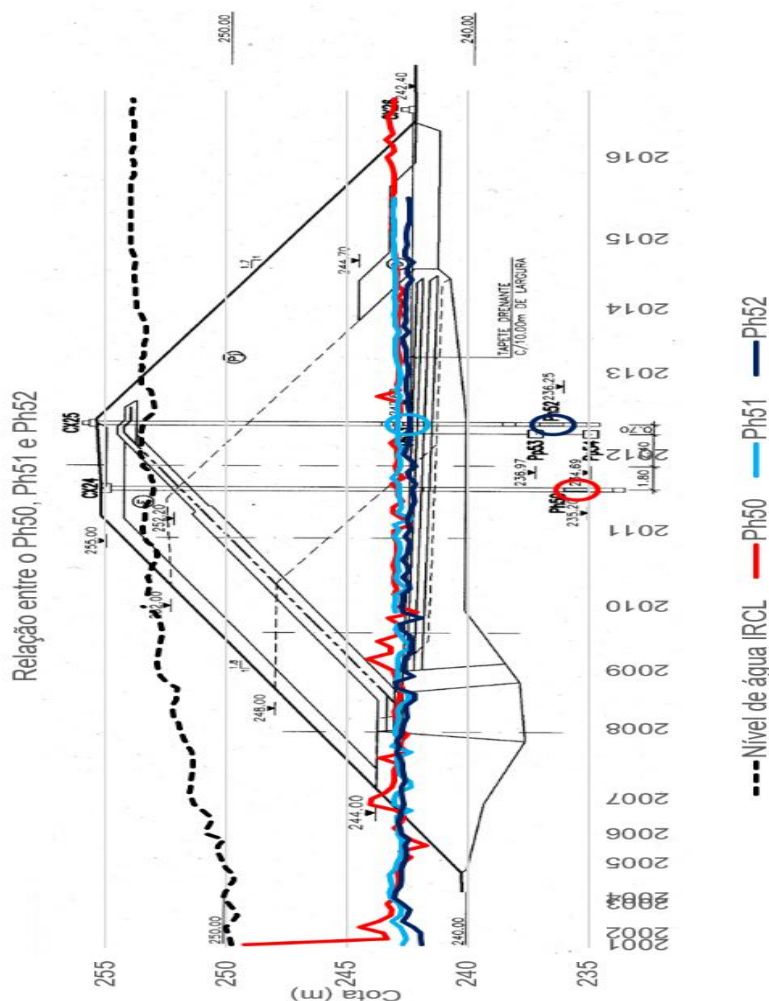


Figura 25: Relação entre o Ph50, Ph51 e Ph52.



Os dados da ponteira do Ph50 do Excel não estão em concordância com o esquema da CENORGE, respetivamente, 240,27 m e 235,20 m. Como já foi referido foram considerados os dados do Excel em relação aos da CENOR.

- O Ph50 possui um nível piezométrico máximo a 12/2001, ao relacionar este com os dados meteorológicos da estação meteorológica de Monte Branco, observa-se que no mês de dezembro houve valores elevados de precipitação, podendo ser esta a causa para o nível piezométrico máximo. A partir de 2002, o Ph50 apresenta algumas variações mas pouco significativas. A diferença entre a cota da ponteira e do nível piezométrico é de 2,75 m, e entre o nível piezométrico média e o nível de água do IRCL é de 9,58 m.

- O início das medições do piezómetro hidráulico 51 deu-se a 30/03/2005 com interrupção de medições de 13/10/2005 a 02/2006 e em 02/2011. Nota-se que na perfuração da 4ª fase, não foi detetado o tapete drenante. (CENORGE, 2005b). Na análise da figura 25, o Ph51 não exibe variações significativas, a diferença entre a cota da ponteira e do nível piezométrico é de 0,55 m, e relativamente ao nível de água do IRCL é de 10,05 m.

- O Ph52 iniciou o seu registo de medições a 30/03/2005 e esteve sem registo de 13/10/2005 a 02/2006. Como no Ph51, não foi detetado o tapete drenante na 4ª perfuração. Contudo existem níveis piezométricos que intersectam a zona do tapete drenante. Na análise do gráfico, a variação entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 6,47 m e entre o nível de água da IRCL e o nível piezométrico é de 10,40 m.

Tabela 29: Cotas relativas dos Ph50, Ph51 e Ph52.

Cotas (m)	Ph50	Ph51	Ph52
Tampa	255,18	255,70	255,95
Ponteira	240,27	242,31	236,25
Nível piezométrico (m)			
Média	243,03	242,87	242,52
Máximo	249,21	243,23	243,02
Mínimo	241,68	242,31	241,88

#### 4.3.3. Piezómetros hidráulicos de tubo aberto

Esta portela possui apenas um piezómetro hidráulico Tipo Casagrande, nomeadamente, o PCL31. O início das medições deu-se a 09/2003. Pela análise do gráfico observa-se correlação entre o nível de água da IRCL e do piezómetro. O PCL31 regista o nível de água máximo de setembro a dezembro de 2012, cujo valor é igual à cota do terreno (z), o que se conclui que este piezómetro teve artesianismo durante estes meses. Pela comparação dos dados do PCL31 com os dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Monte Branco,

que só no mês de novembro é que regista valores superiores de precipitação que a evaporação, respetivamente, 183 mm e 47,32 mm.

Tabela 30: Cotas relativas do PCL31.

Cotas (m)	PCL31
Terreno (z)	247,44
Ponteira	217,39
Nível piezométrico (m)	
Média	243,15
Máximo	247,44
Mínimo	242,16

#### 4.3.4. Caudais de infiltração

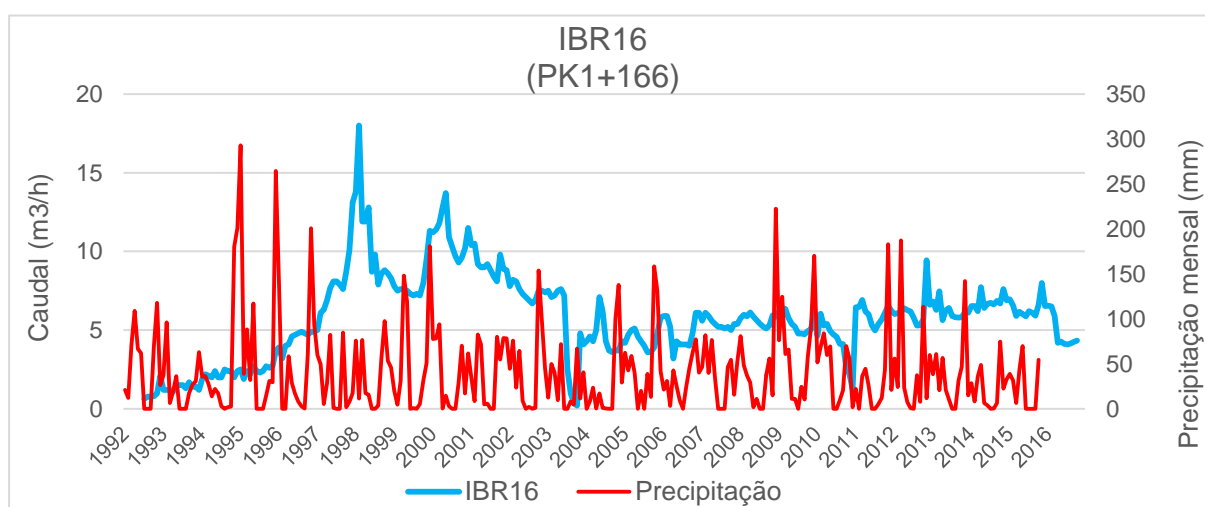


Gráfico 17: Relação entre o IBR16 e a precipitação.

O IBR16 situa-se numa zona aplanada pouco favorável à passagem de água contaminada para jusante, no entanto, as aflúncias de água eram consideráveis. Este poço recolhe as águas de percolação e de infiltração coletadas por um dos tapetes drenantes da Portela do Corpo Principal e pelo dreno de pé no troço entre o PK17+070 e o PK1+372. “O encaminhamento das águas desde o PK1+372 para este poço foi assegurado pelo aprofundamento da vala longitudinal de interceção. Este poço ficou ligado ao tanque IBR23 por um tubo de 4” para descarga gravítica em casos de paragem prolongada da bomba.” (CENORGE, 2005b)

O IBR16 inicia o seu registo de medições a junho de 1992, apresenta um aumento do caudal que atinge o seu máximo a fevereiro de 1998, que não se explica com a relação evaporação/precipitação desse mês (evaporação: 32,8 mm e precipitação: 49,7 mm). Pode dever-se à acumulação dos valores de precipitação e de evaporação dos meses anteriores, como o de novembro de 1997, em que o valor de precipitação é de 200,8 mm e da evaporação

é de 27,5 mm. A partir de 2002, o caudal oscila entre os 0 a 10 m<sup>3</sup>/h suscetível às variações de precipitação.

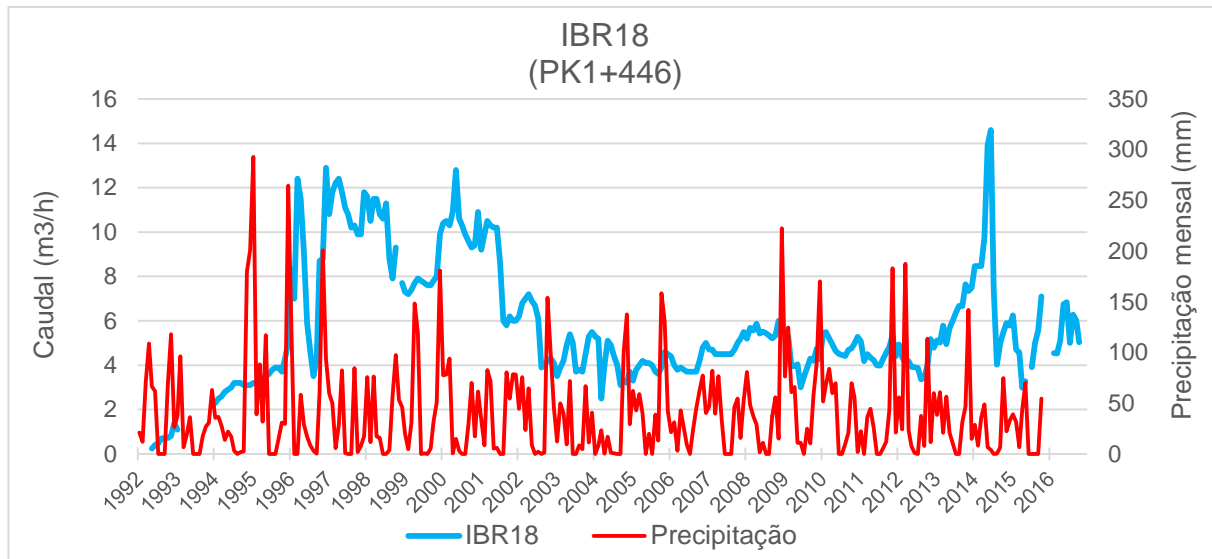


Gráfico 18: Relação entre o IBR18 e precipitação.

O IBR18 capta as águas de percolação e de infiltração coletadas por um dos tapetes drenantes da Portela do Corpo Principal e pelo dreno de pé no troço entre o PK1+365 e o PK1+546. (CENORGE, 2005b). Este poço situa-se numa área aplanada pouco propícia à passagem de água contaminada para jusante. A existência de água contaminada no pé da IRCL demonstrou deficiências no funcionamento da trincheira drenante existente, devido à concentração de lamas ricas em sulfatos.

Como se trata de uma zona de afluição de água ao tapete drenante, foram instalados tubos de drenagem suplementares, como o caso das águas drenadas pela manga de proteção em polietileno dos tubos dos piezómetros pneumáticos Pp53 e Pp54 medidos pelo IBR18A e encaminhados para o IBR18. (CENORGE, 2005a)

O registo de medições deste poço iniciou-se em 05/1992 com intervalo sem medições de 02/1993 a 11/1993. O 1º pico máximo com caudal de 12,4 m<sup>3</sup>/h em março de 1996 parece acompanhar a subida do nível de água da IRCL e o 1º pico mínimo com caudal de 3,5 m<sup>3</sup>/h em agosto de 1996 parece assistir a descida do nível de água da IRCL, e pela comparação destes dados com os valores de evaporação/ precipitação, observa-se 243,5 mm de evaporação e 0 mm de precipitação. Exceto, no ano de 1999, o caudal não segue o aumento do nível de água.

A tendência do caudal do IBR18 acompanha a precipitação, a partir daí 2003, oscila entre os 2 a 6 m<sup>3</sup>/h. Em julho de 2013, ultrapassa os 6 m<sup>3</sup>/h e atinge um pico máximo de 14,60 m<sup>3</sup>/h a junho de 2014, o que se considera anómalo, uma vez que sendo um mês de verão, a

evaporação é mais elevada que a precipitação, como se confirma nos dados da estação meteorológica de Monte Branco (evaporação: 206,6 mm/ precipitação: 10,5 mm). Esta situação pode dever-se ao encaminhamento de caudal do IBR18A para o IBR18.

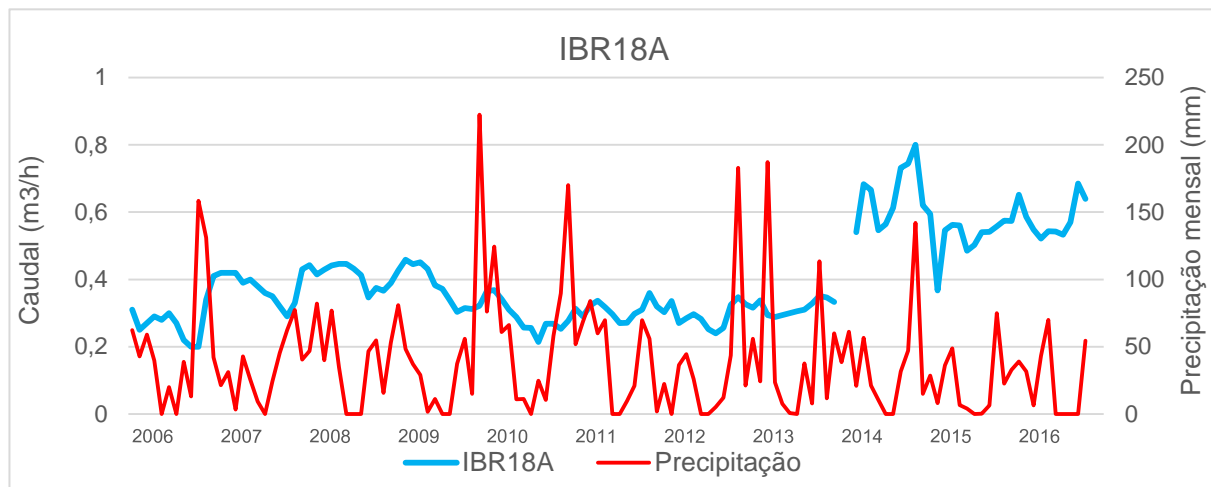


Gráfico 19: Relação entre o IBR18A e a precipitação.

O IBR18A está muito próximo do IBR18, como se verifica no ANEXO II. Tem como finalidade medir as águas de percolação e de infiltração drenadas pela manga de proteção em polietileno dos tubos dos piezómetros pneumáticos Pp53 e Pp54 que depois são direcionados para o IBR18. (CENORGE, 2005a)

Em comparação com o IBR18, o IBR18A possui um caudal muito reduzido, não alcança 1 m³/h. Na análise do gráfico, observa-se que o caudal do IBR18A é sensível às variações da precipitação. A 09/2006 alcança o pico mínimo com 0,2 m³/h. Oscila entre os 0,21 a 0,46 m³/h, tem um intervalo sem medições de 01 a 02 de 2014. A partir de 03/2014 tem caudal de 0,68 m³/h, diminui para os 0,54 m³/h e depois atinge o pico máximo de 0,8 m³/h a 11/2014, o maior caudal registado para este poço.

#### 4.4. Portela da Margem Esquerda 1

O perfil de observação desta portela é o PO9, este possui 2 piezómetros pneumáticos, 3 piezómetros hidráulicos, 8 piezómetros hidráulicos tipo Casagrande e 1 caudal de infiltração.

## 4.4.1. Piezómetros pneumáticos

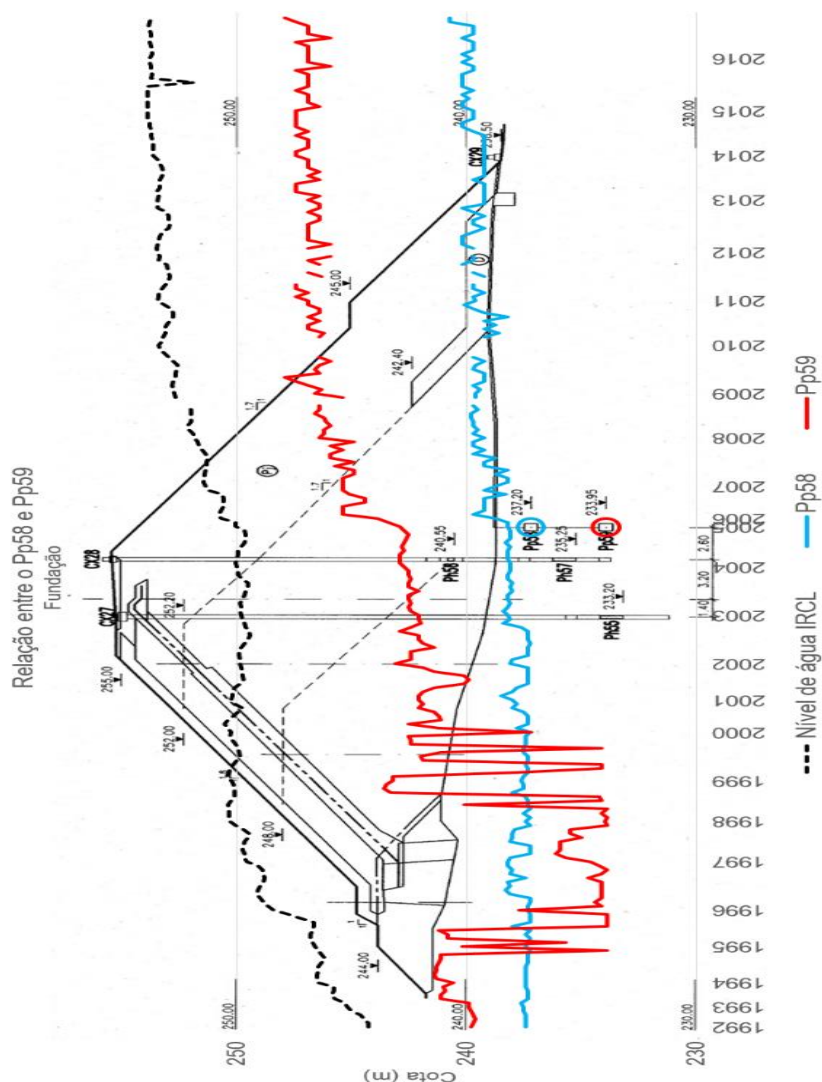


Figura 26: Relação entre o Pp58 e Pp59.

- O Pp58 representado a azul, possui uma suave tendência crescente. Inicialmente o nível piezométrico ronda entre 237,26 m a 238,46 m, aproximadamente. A partir de 11/2002, o nível piezométrico deixa de intersectar a cota da ponteira do mesmo, e passa a oscilar de 238,46 m a 240,76 m. A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 1,35 m, e este último entre o nível de água da IRCL é de 12,33 m.

- O Pp59 exibido a vermelho, possui um comportamento anómalo em relação ao Pp58. No início do registo das medições, o nível piezométrico entre os 239 m a 241 m. A 11/1994 desce para a cota da ponteira do Pp59. O nível piezométrico com vários altos e baixos, que atinge a cota da ponteira do Pp58, 4 vezes. Intersecta a cota da ponteira do Pp59 a 09/1995 e do Pp58 a 01/1996. O nível piezométrico oscila entre 233 a 236 m. A 06/1998 atinge os 240,15

m, cruzando a cota da ponteira do Pp58, 3 vezes. A 10/1998 alcança o intervalo entre 243,25 a 243,65 m. Retorna a intersectar 5 vezes a cota da ponteira do Pp58, e 2 vezes do Pp59. A partir de 03/2000 de cota 237,25 m, não volta a descer até à cota da ponteira do Pp58 e do Pp59. Oscila entre os 239 a 247,95 m. Alcança o pico máximo a 05/2009. A variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 9,05 m, e este último entre o nível de água da IRCL é de 7,94 m.

Os Pp58 e Pp59 situam-se na fundação sob paramento de jusante. Apesar de o Pp59 se localizar a maior profundidade, com diferença entre o Pp58 de 3,31 m (em relação às ponteiras), os valores do nível piezométrico do Pp59 é mais elevado que o Pp58. Os resultados parecem indicar que há pressões neutras mais elevadas nas zonas mais profundas do terreno de fundação e que elas se dissipam com a aproximação à base do aterro da portela do IRCL. Esta situação é favorável à estabilidade pois indica que o aterro evita a existência de tensões elevadas na sua base ao permitir a sua dissipação.

Tabela 31: Cotas relativas dos Pp58 e Pp59.

Cotas (m)	Pp58	Pp59	Diferença entre Pp58 e Pp59
Ponteira	237,26	233,95	3,31
Nível piezométrico (m)			
Média	238,61	243,00	-4,39
Máximo	240,76	247,95	-7,19
Mínimo	237,26	233,95	3,31

#### 4.4.2. Piezómetros hidráulicos

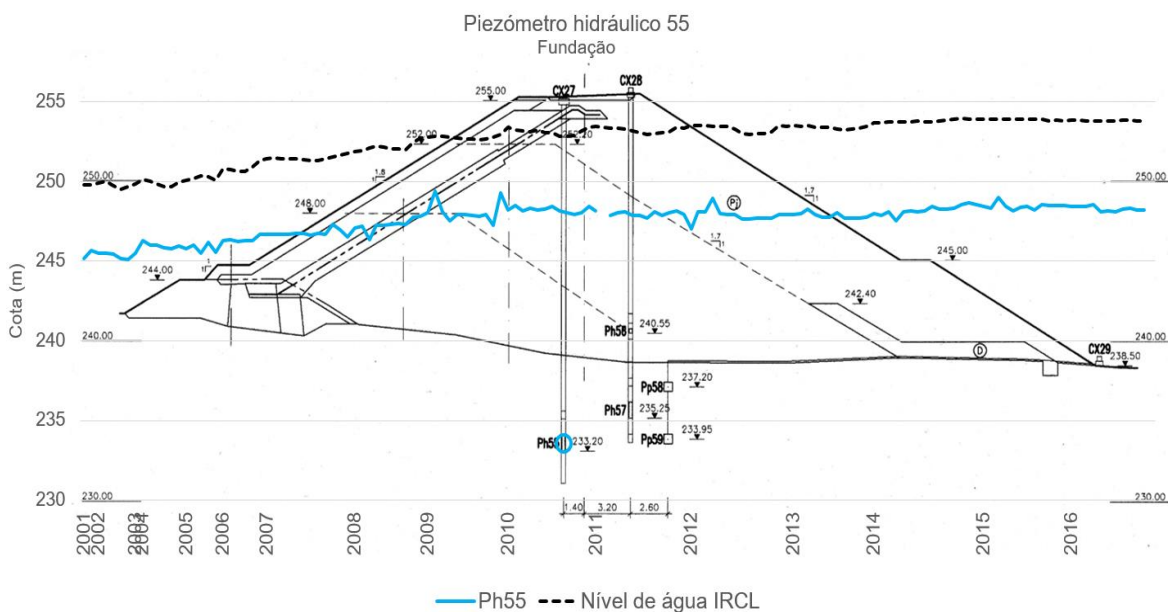


Figura 27: Piezômetro hidráulico 55.

O piezômetro hidráulico 55 (Ph55) apresentado a azul e situado na fundação, iniciou o seu registo de medições a 05/12/2001. O nível piezométrico mantém-se afastado da cota da ponteira, em média 13,57 m e a diferença entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 5,05 m.

Tabela 32: Cotas relativas do Ph55.

Cotas (m)	Ph55
Tampa	254,99
Ponteira	233,99
Nível piezométrico (m)	
Média	247,56
Máximo	249,38
Mínimo	245,12

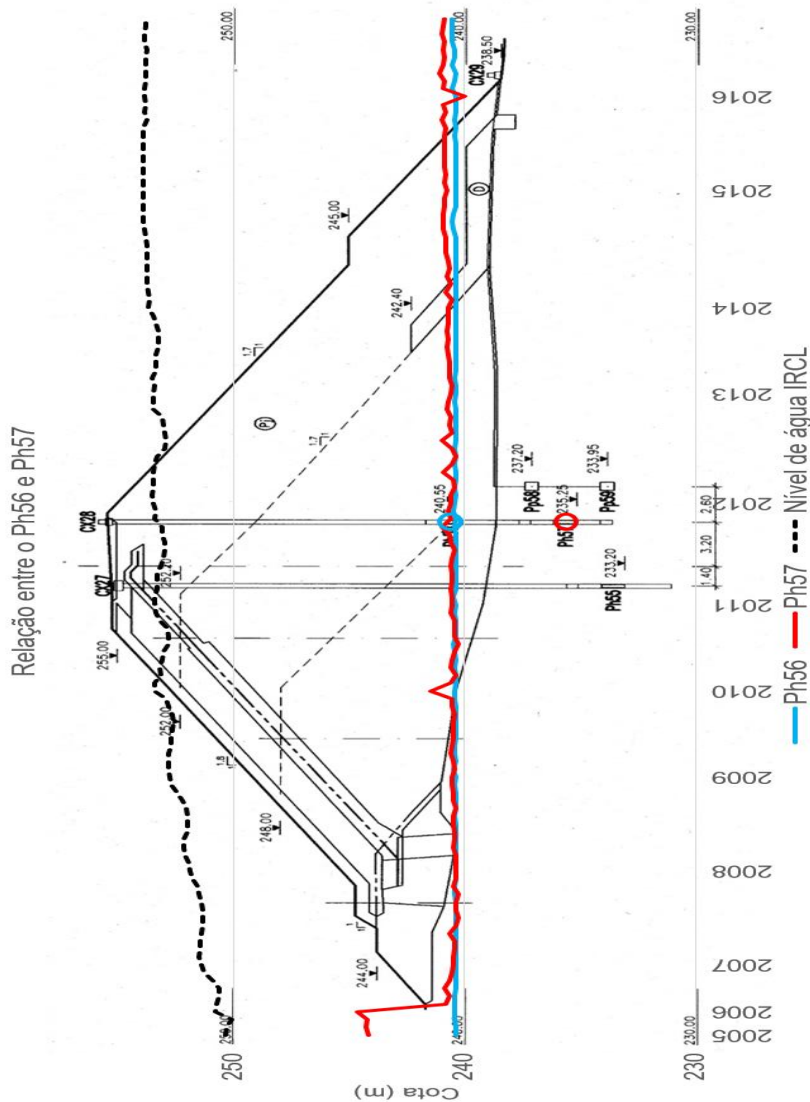


Figura 28: Relação entre o Ph56 e o Ph57.

- O Ph56 situado no aterro e representado a azul, possui um comportamento bastante uniforme. As variações registadas do nível piezométrico são, em média de 0,032 m, em

relação à cota da ponteira. O nível piezométrico em relação ao nível de água na IRCL é de 12,54 m.

- O Ph57 situado na fundação e representado a vermelho, este inicia-se com cota elevada (244 m) durante 2005 e março de 2006. Isto pode dever-se aos trabalhos do 3º alteamento, que terminaram em outubro de 2005. Apesar do Ph57 se situar na fundação, este alcança e intersecta o nível piezométrico do Ph56. Em média, a variação entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 5,77 m e este entre o nível de água da IRCL é de 12,18 m.

Ambos piezómetros hidráulicos iniciaram o seu registo de medições a 30/03/2005.

Tabela 33: Cotas relativas dos Ph56 e Ph57.

Cotas (m)	Ph56	Ph57
Tampa	255,39	255,68
Ponteira	240,36	234,98
Nível piezométrico (m)		
Média	240,39	240,75
Máximo	240,54	244,68
Mínimo	240,30	239,90

#### 4.4.3. Piezómetros hidráulicos de tubo aberto

O PCL13 e o PCL14 são os únicos piezómetros hidráulico tipo Casagrande que são somente não artesiano, início a 08/1993 a 11/2016. O PCL15 inicia a 10/2003 e possui valores de nível de água e pressão (bar). O PCL16 inicia os dados de pressão a 01/2003 e a cota a 09/2003. O PCL17 e o PCL18 começam a 09/2003, o PCL19 e o PCL20 a 08/1993.

Tabela 34: Cotas relativas dos PCL13, PCL14, PCL15 e dados de pressão deste.

Cota (m)	PCL13	PCL14 (cota)	PCL15 (cota)	PCL15 (bar)
Terreno (z)	239,27	239,09	237,41	---
Ponteira	219,27	229,09	217,41	---
Nível piezométrico (m)				
Média	242,50	241,75	241,01	0,363
Máximo	243,88	242,52	242,21	0,48
Mínimo	238,32	238,54	237,41	0,22

Tabela 35: Cotas e dados de pressão do PCL16 e PCL17.

Cota (m)	PCL16 (cota)	PCL16 (bar)	PCL17 (cota)	PCL17 (bar)
Terreno (z)	237,27	---	239,22	---
Ponteira	227,27	---	219,22	---
Nível piezométrico (m)				
Média	239,24	0,197	244,31	0,098
Máximo	241,27	0,4	246,98	0,32
Mínimo	237,27	0,0	243,70	0,0



Tabela 36: Cotas e dados de pressão do PCL18 e PCL19.

Cota (m)	PCL18 (cota)	PCL18 (bar)	PCL19 (cota)	PCL20 (cota)
Terreno (z)	239,08	---	237,71	237,59
Ponteira	229,08	---	217,71	227,59
Nível piezométrico (m)				
Média	242,79	0,112	237,69	237,04
Máximo	244,58	0,24	237,71	237,59
Mínimo	242,18	0,0	235,59	234,74

#### 4.4.4. Caudais de infiltração

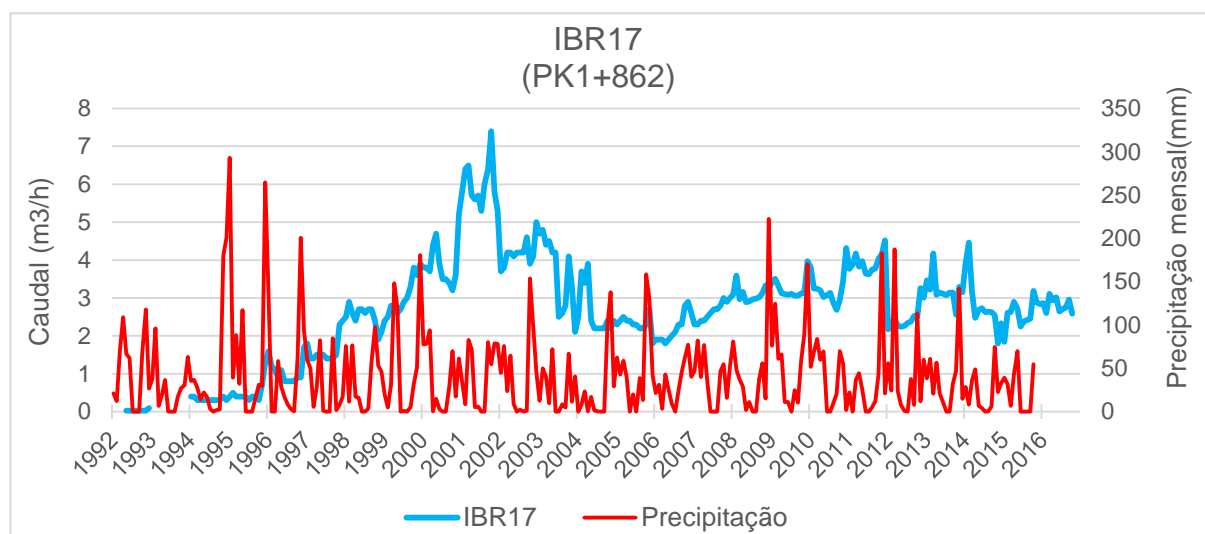


Gráfico 20: Relação entre o IBR17 e a precipitação.

O IBR17 situado numa zona aplanada pouco propícia à passagem de água contaminada para jusante. Este poço capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo tapete drenante, pelo dreno de pé e aterros da portela ME1 no troço entre o PK1+740 e o PK2+030. As águas saídas por artesianismo do piezômetro PCL18 são conduzidas para o IBR17. (CENORGE, 2005b)

As medições iniciam-se a 05/1992 com intervalo de medições durante o ano de 1993. No início quase que nem tem caudal, a partir de 01/1996, o nível de água da IRCL aumenta, assim como, o caudal do IBR17 de 1,6 m<sup>3</sup>/h, deve-se ao elevado valor de precipitação em relação ao valor de evaporação, 293,0 mm e 63,3 mm, respetivamente. Pela análise do gráfico, observa-se uma clara dependência com o nível de água acumulada na IRCL com um progressivo aumento do caudal surgente. A 03/2001 com caudal de 6,5 m<sup>3</sup>/h, cujos valores de evaporação e precipitação, 39,5 mm e 93,9 mm. O pico de 7,4 m<sup>3</sup>/h, o valor de caudal mais alto, que se explica pelos valores de evaporação e de precipitação, 61,5 mm e 70,0 mm, respetivamente, e pela água que é direcionada do PCL18 para o IBR17, que nesse mês, regista artesianismo repuxante.

#### 4.5. Portela da Margem Esquerda 2A

O perfil de observação seleccionado para a portela da margem esquerda 2A é o PO10. Este é composto por um piezómetro pneumático, um piezómetro hidráulico, 9 piezómetros de tubo aberto e 4 poços de medição de infiltração.

##### 4.5.1. Piezómetros pneumáticos

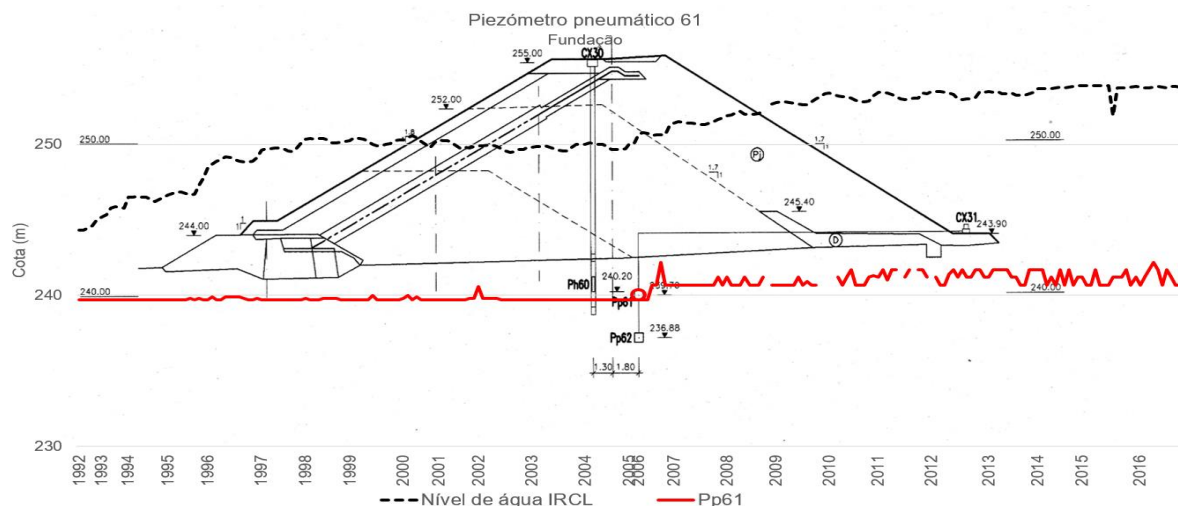


Figura 29: Piezómetro pneumático 61.

- O Pp61 representado a vermelho, localizado na fundação (sob paramento de jusante). Inicialmente, o nível piezométrico oscila entre os 239,7 a 240,7 m. A partir de 09/2006 atinge o pico máximo de 242,2 m e deixa de intersectar a cota da ponteira, volta a oscilar entre os 240 a 242,2 m. A diferença entre a cota da ponteira e o nível piezométrico é de 0,68 m, e este último entre o nível de água da IRCL é de 10,55 m.

Tabela 37: Cotas relativas do Pp 61.

Cota (m)	Pp61
Ponteira	239,70
Nível piezométrico (m)	
Média	240,38
Máximo	242,2
Mínimo	239,7

## 4.5.2. Piezômetros hidráulicos

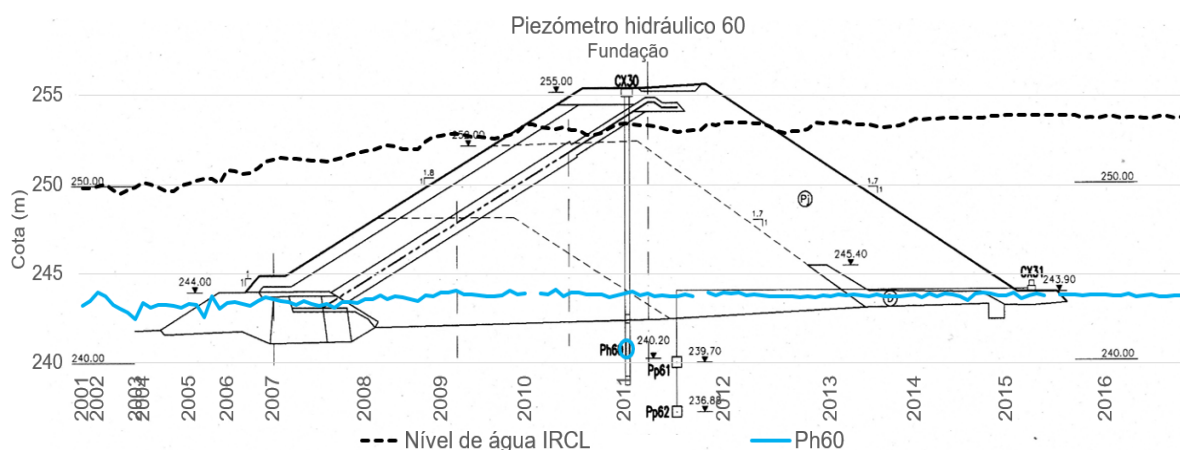


Figura 30: Piezômetro hidráulico 60.

O piezômetro hidráulico 60 (Ph60), de 2001 a finais de 2005 possui um comportamento mais errático que no período de 2006 a 2016. No final de 2005 terminou a última fase de construção o que depois pode ter causado a constância do nível piezométrico do Ph60. O registo de medições iniciou-se a 5/12/2001. A variação entre o nível piezométrico e a cota da ponteira é de 2,90 m. A diferença entre o nível piezométrico e o nível de água da IRCL é de 8,92 m.

Tabela 38: Cotas relativas do Ph60.

Cota (m)	Ph60
Ponteira	240,78
Nível piezométrico (m)	
Média	243,68
Máximo	244,10
Mínimo	242,47

## 4.5.3. Piezômetros hidráulicos de tubo aberto

Os piezômetros hidráulicos de tubo aberto estão agrupados segundo o comprimento: o PCL21, PCL23, PCL25 e o PCL27 têm 20 m entre a cota do terreno e a cota da ponteira. E o PCL22, PCL24, PCL26 e PCL28 têm 10 m entre a cota do terreno e a ponteira. Todos os PCLs iniciam os dados a 08/1993 exceto, o PCL32 que inicia a 09/2003 e também é o único com artesianismo repuxante (PCL32 tem comprimento de 30,1 m). Para observação dos gráficos ver o ANEXO VI, gráfico 48 e 49. No gráfico 48 vê-se o conjunto de PCLs 21, 23, 25 e 27 cujos comportamentos são muito semelhantes. O gráfico 49 apresenta o conjunto de PCLs 22, 24, 26 e 28 possuem uma tendência idêntica. Este último conjunto é o que tem médias de nível piezométrico superiores.

Tabela 39: Cotas relativas do PCL21, PCL23, PCL25 e PCL27.

Cota (m)	PCL21	PCL23	PCL25	PCL27
Terreno (z)	243,94	243,05	243,94	243,61
Ponteira	223,94	223,05	223,94	223,61
Nível piezométrico (m)				
Média	241,05	240,85	242,14	240,95
Máximo	242,70	242,14	243,74	242,79
Mínimo	239,19	239,00	239,84	239,01

Tabela 40: Cotas relativas do PCL22, PCL24, PCL26 e PCL28

Cota (m)	PCL22	PCL24	PCL26	PCL28
Terreno (z)	243,94	242,94	243,74	243,42
Ponteira	233,94	232,94	233,74	233,42
Nível piezométrico (m)				
Média	241,58	240,99	241,92	240,99
Máximo	243,93	242,34	243,48	242,24
Mínimo	239,18	239,04	239,69	238,72

Tabela 41: Cotas e dados de pressão do PCL32.

Cota (m)	PCL32 (cota)	PCL32 (bar)
Terreno (z)	242,19	---
Ponteira	212,09	---
Nível piezométrico (m)		
Média	244,72	0,253
Máximo	245,59	0,34
Mínimo	244,19	0,2

#### 4.5.4. Caudais de infiltração

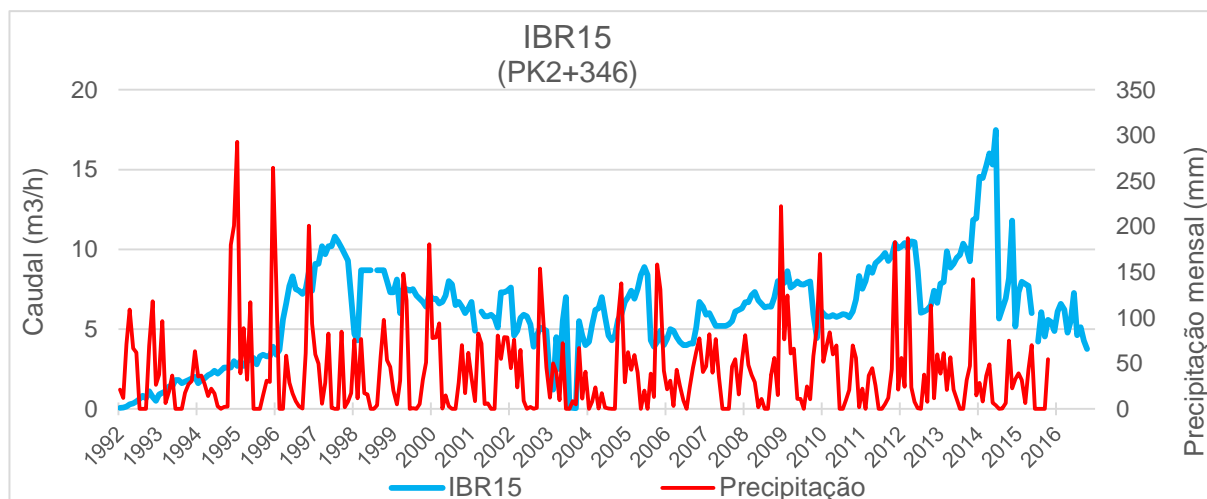


Gráfico 21: Relação entre o IBR15 e a precipitação.

O IBR15 capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo tapete drenante, dreno de pé e aterro da portela ME2A no trecho entre o PK2+150 e o PK2+470 (CENORGE, 2005b).

As medições iniciaram-se a 01/1992. A 06/1996 o caudal aumenta, atingindo os 10,8 m<sup>3</sup>/h e 07/1997, diminui e oscila entre os 2,5 a 8 m<sup>3</sup>/h. De julho a setembro de 2003, o caudal diminui bastante com valores entre os 0,04 a 0,08 m<sup>3</sup>/h, o que é anómalo em comparação aos restantes valores de caudal. Pode ter sido causado pelos elevados níveis de evaporação em comparação aos valores de precipitação, que são quase nulos. Volta a oscilar entre aproximadamente 4 a 9 m<sup>3</sup>/h. A 11/2011 atinge um caudal de 10,37 m<sup>3</sup>/h volta a diminuir até os 6,02 m<sup>3</sup>/h e aumenta até os 17,49 m<sup>3</sup>/h, o caudal máximo registado a 06/2014. Pela análise do gráfico observa-se a relação entre o caudal do IBR15 e as variações de precipitação.

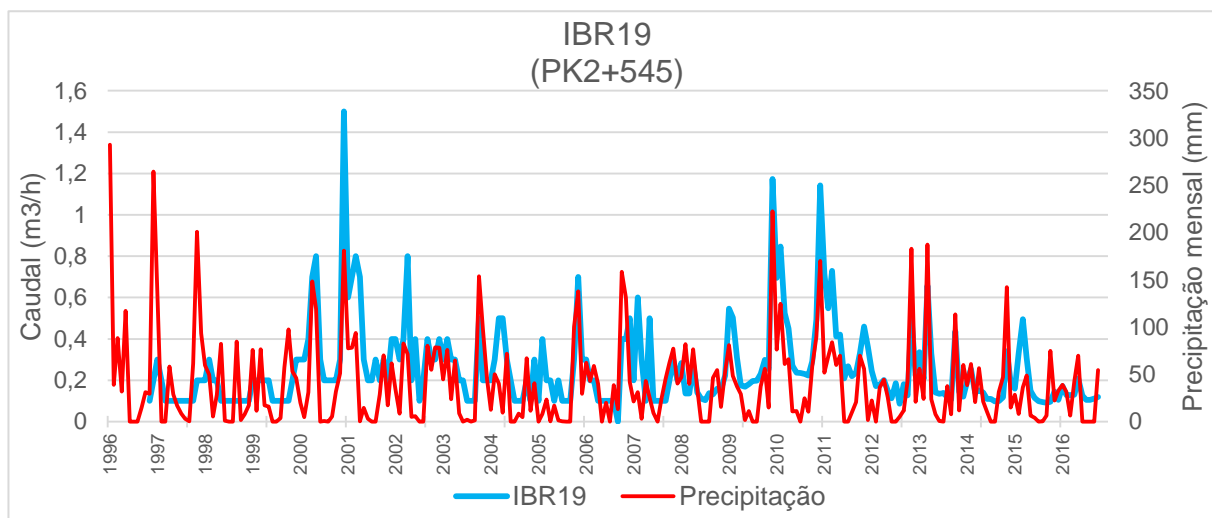


Gráfico 22: Relação entre o IBR19 e a precipitação.

O IBR19 está situado numa zona pouco propícia à passagem de água para jusante. Este poço capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo tapete drenante da portela ME2B e pelo dreno de pé no troço entre o PK2+470 e o PK2+650 (CENORGE, 2005b).

O registo das medições iniciou-se a 11/1996. Nota-se pela análise do gráfico que o caudal do IBR19 é sensível às oscilações do nível de água da IRCL. Como também à precipitação e evaporação, como por exemplo: o pico máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/h a 12/2000 cujo valor de precipitação é maior que o de evaporação, 180,7 mm e 26,3 mm, respetivamente. E o pico mínimo de 0 m<sup>3</sup>/h a 09/2006 cujo valor de evaporação é maior que o da precipitação, 173,2 mm e 13,1 mm, respetivamente.

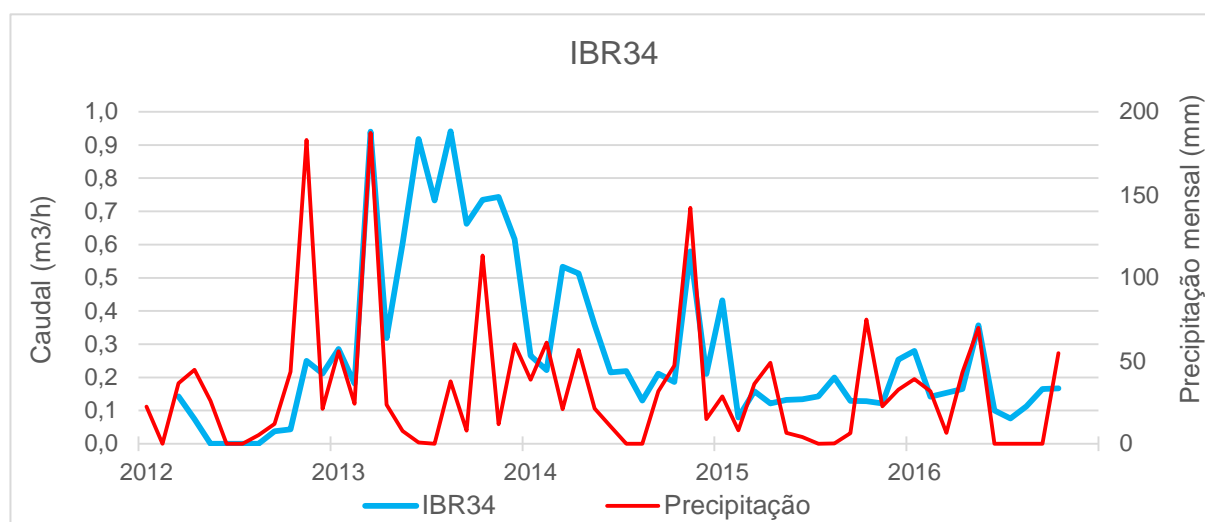


Gráfico 23: Relação entre o IBR34 e a precipitação.

O IBR34 localizado a jusante da portela ME2A. Este poço funciona para controlo das infiltrações que podem surgir fora do terreno da SOMINCOR.

O registo de medições iniciou-se a 03/2012. O caudal máximo é de  $0,94 \text{ m}^3/\text{h}$  a 03/2013 cujo valor de precipitação é maior que o valor de evaporação, nomeadamente,  $187,3 \text{ mm}$  a  $44,5 \text{ mm}$ . E caudal mínimo de  $0,0 \text{ m}^3/\text{h}$  de maio a agosto de 2012, cujo valor da evaporação é maior que o valor de precipitação, como por exemplo (07/2012):  $287,2 \text{ mm}$  de evaporação e precipitação nula. O caudal não atinge  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , o que é considerado bom, uma vez que este situa-se muito a jusante da IRCL.

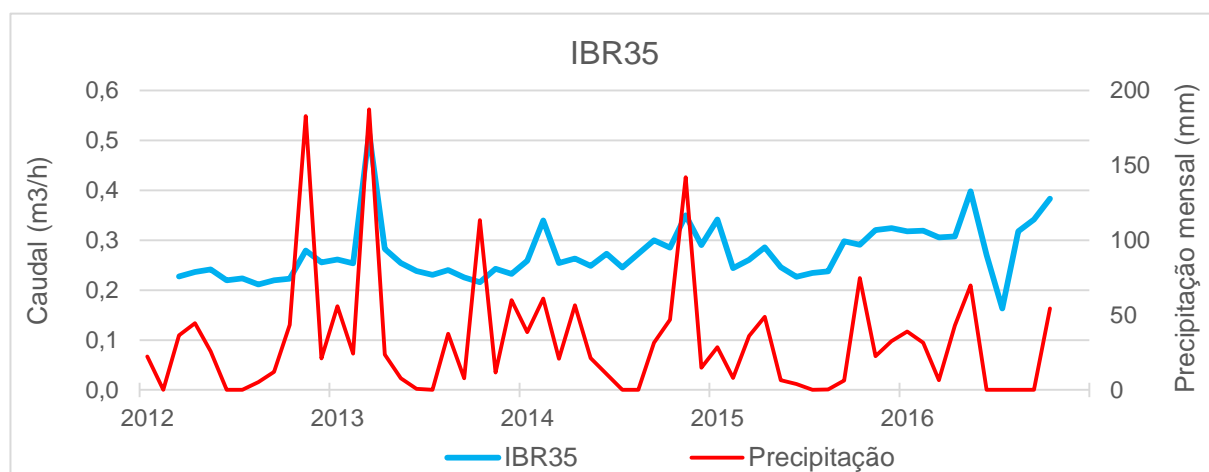


Gráfico 24: Relação entre o IBR35 e a precipitação.

O IBR35 situado a jusante da portela do corpo principal. O registo das medições iniciou-se a 03/2012. O caudal não ultrapassa os  $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ . O caudal máximo do IBR35 é coincidente com o IBR34 mas com valor mais baixo, nomeadamente de  $0,51 \text{ m}^3/\text{h}$  a 03/2013 e o caudal mínimo de  $0,16 \text{ m}^3/\text{h}$  a 07/2016, que também coincide com um pico mínimo do IBR34.

#### 4.6. Portelas ME2B e ME2C

As portelas ME2B e ME2C não possuem perfil de observação, só existem IBRs para controlo de possíveis infiltrações. Para uma análise mais completa considerou-se que deveriam ser examinados estes IBRs e o IBR da albufeira de Monte Branco. Para melhor visualização da localização deste IBRs ver o anexo I. Na portela ME2B localizam-se o IBR26 e o IBR29 e na portela ME2C localizam-se o IBR29A e o IBR30, e o IBR31 da albufeira de Monte Branco.

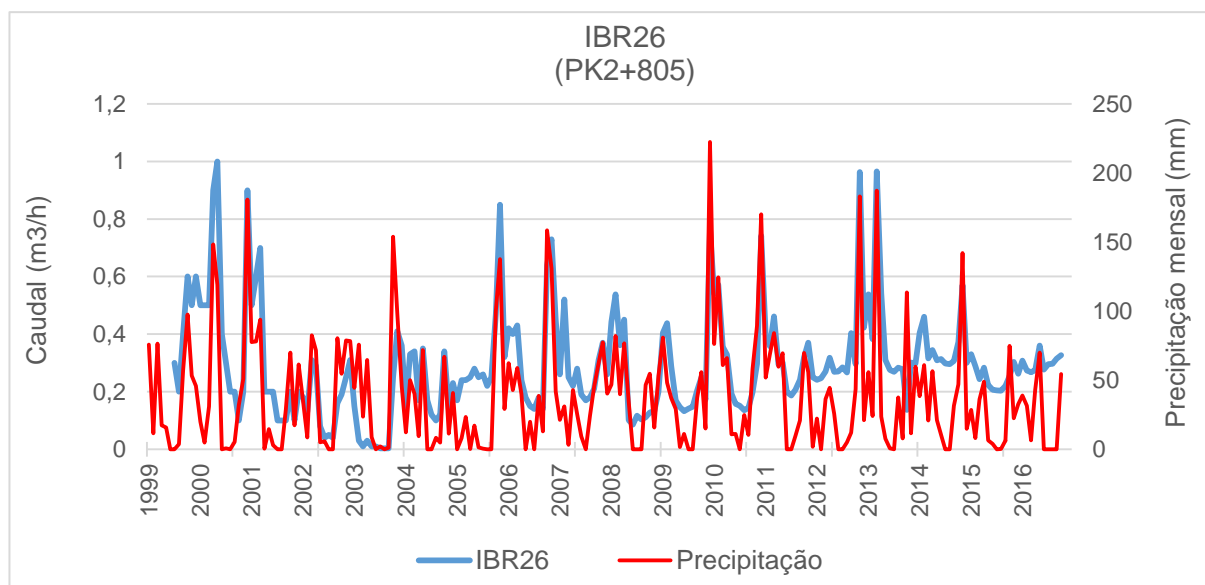


Gráfico 25: Relação entre o IBR26 e a precipitação.

O IBR26 situa-se no antigo canal do descarregador de superfície da 3ª fase de construção e recolhe as águas de percolação e de infiltração pelo dreno de pé no troço entre o PK2+650 e o PK2+860 (CENORGE, 2005b). No IBR26 observa-se uma associação entre a precipitação e o caudal do IBR, em que os picos máximos de caudal coincidem com precipitação elevada e os picos mínimos de caudal com valores de precipitação baixos ou inexistentes.

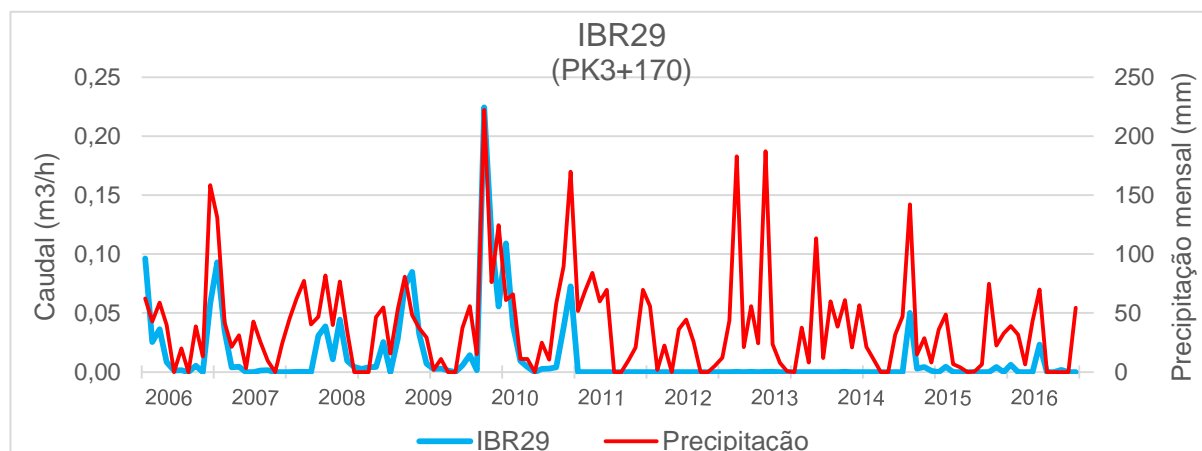


Gráfico 26: Relação entre o IBR29 e a precipitação.

O IBR29 capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo tapete drenante da portela ME2B e pelo dreno de pé no troço entre o PK2+860 e o PK3+000 (CENORGE, 2005b). Tal como o IBR26, o IBR29 tem uma correlação entre a precipitação e o caudal até 2011. De 2011 a meados de 2014 o caudal é de 0 m<sup>3</sup>/h, o que pode ser explicado pela inexistência de água de infiltração pelo tapete drenante e pelo dreno na portela ME2B. Possui um pico de 0,05 m<sup>3</sup>/h que se associa a um pico de precipitação elevada, diminui e oscila entre os 0,00 a 0,05 m<sup>3</sup>/h.

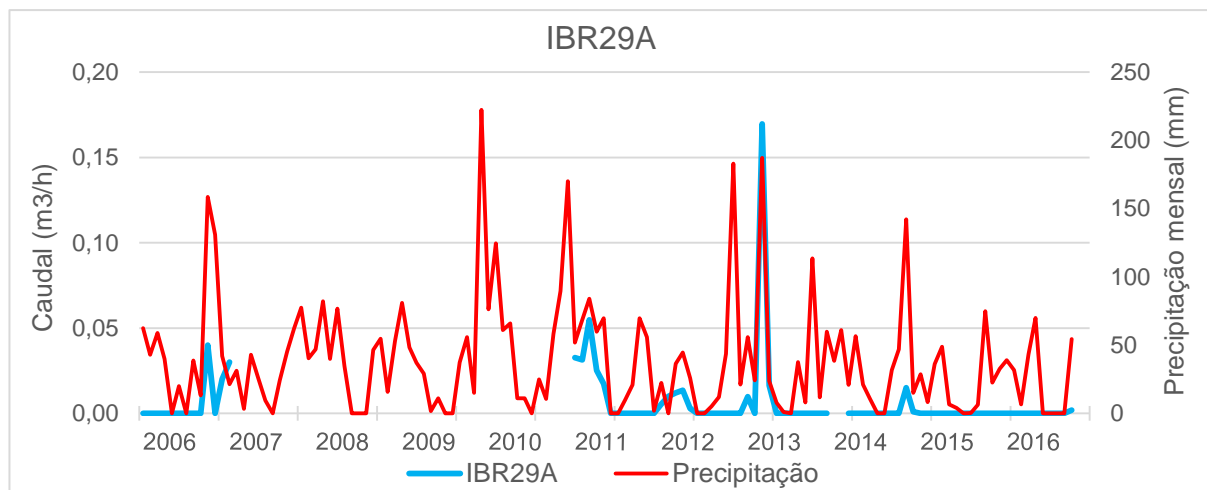


Gráfico 27: Relação entre o IBR29A e a precipitação.

O IBR29A é uma caixa que está ligada a um dreno preparado para captar as águas de uma zona isolada da fundação da IRCL (CENORGE, 2005b). Este poço inicia o seu registo em 2006 mas de 2007 a finais de 2011 não possui registo. Este IBR tem um caudal mínimo em relação a outros IBRs, tornando-se um IBR de observação de vestígios de água. O caudal máximo coincide com um pico de precipitação elevada, contudo é um caudal errático em relação ao restante registo.

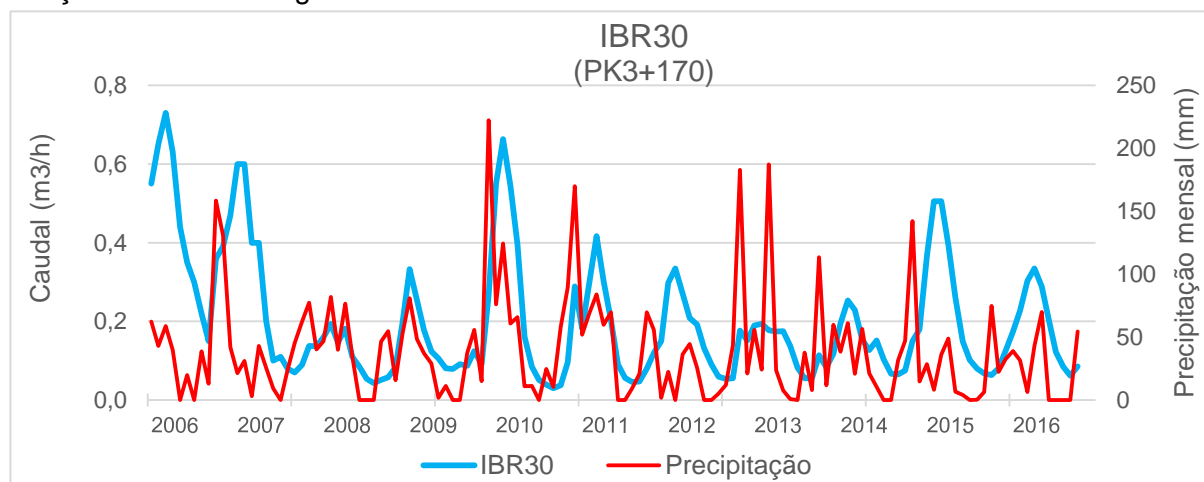


Gráfico 28: Relação entre o IBR30 e a precipitação.



O IBR30 situa-se no canal do antigo descarregador de superfície da 3ª fase de construção e capta as águas de infiltração do aterro Pj entre o PK3+060 e PK3+230 (CENORGE, 2005b). O caudal do IBR30 tem uma associação com os valores de precipitação mas com algum atraso, como se observa no caudal máximo de 0,65 m<sup>3</sup>/h, aproximadamente mas o pico de precipitação elevada dá-se um mês antes. A partir de 2012, a relação entre o caudal e a precipitação não é tão acentuada.

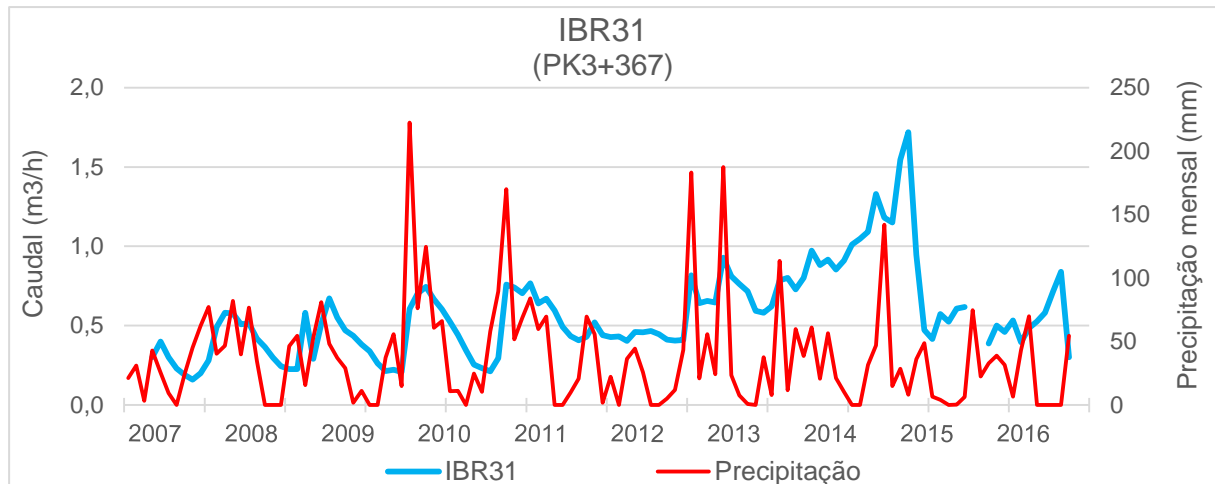


Gráfico 29: Relação entre o IBR31 e a precipitação.

O IBR31 situa-se no corpo a barragem de Monte Branco e capta as águas de percolação e de infiltração coletadas pelo material Pj entre o PK3+230 e PK3+482. Neste IBR a relação entre o caudal e a precipitação é notória de 2007 a 2010 mas a partir daí, o caudal não é tão sensível às variações de precipitação, podendo tendo como influência o corpo de barragem de Monte Branco.

## 5. Discussão

Este capítulo tem como propósito a articulação dos elementos que compõem o trabalho científico. Compara-se e valida-se a interpretação dos dados feita no capítulo dos resultados. Para melhor aprender o que é dito neste capítulo, poderá, em alguns pontos, ser conveniente ver figuras e tabelas dos piezômetros pneumáticos e dos piezômetros hidráulicos, gráficos dos caudais de infiltração e tabelas dos piezômetros de tubo aberto (PCL) no capítulo anterior (resultados). Para verificação da localização do equipamento ver anexo I

### 5.1. Portela da Margem Direita

Em relação aos piezômetros pneumáticos Pp2 e Pp3 (ver figura 11) considera-se que o comportamento é expectável em que o Pp3, a maior profundidade, tem níveis piezométricos menores que o Pp2, ver tabela 10. Detêm oscilações coincidentes, tendo uma diferença de níveis medianos de 2,13 m.

O único piezómetro hidráulico presente nesta portela, ver figura 12, tem uma subida do nível de água durante o 3º alteamento, mas que depois estabiliza, tendo como média de 242,60 m.

O poço IBR25 possui um caudal máximo de 6,0 m<sup>3</sup>/h no início do funcionamento, a partir de 2005 torna-se mais estável com variações entre 0 a 1,3 m<sup>3</sup>/h, sendo sensível às mudanças dos valores de precipitação, ver gráfico 4.

### 5.2. Corpo Principal

No corpo principal foram estudados os instrumentos presentes no PO5, para melhor observação dos equipamentos ver ANEXO III, e como complemento as marcas superficiais no coroamento. Esta portela é a mais crítica pelo que abrange maior número de instrumentos.

- No que se refere aos piezômetros pneumáticos temos a relação entre os Pp14, Pp16 e Pp15, Pp17, (ver figura 13 e tabela 12) cujos níveis piezométricos medianos são 242,15 m, 230,65 m, 239,59 m, 228,81 m, respetivamente. Repara-se que os Pp15 e Pp17 (na fundação) dispõem de níveis piezométricos superiores aos Pp14 e Pp16. Ao relacionar o Pp14 e o Pp16 denota-se que o fluxo se faz de montante para jusante, o que é o preferível. O Pp18 e o Pp19 na fundação com diferença de cota da ponteira de 5 m, cujos valores medianos são 230,17 m e 230,61 m, respetivamente (ver figura 14 e tabela 13). Detêm níveis piezométricos muito próximos de 0,44 de diferença dos valores medianos. Alguns valores piezométricos semelhantes ao Pp16.

A relação entre o Pp20, Pp21 e Pp22 (ver figura 15 e tabela 14): o Pp20 com a ponteira aproximadamente no mesmo alinhamento que os Pp15 e Pp17, contudo o Pp20 possui um valor mediano de 219,64 m, com oscilações muito próximas da ponteira, mais reduzido que

os Pp15 e Pp17. O que se deve a que o Pp15 e Pp17 se situam no núcleo argiloso e o Pp20 no aterro por cima do tapete drenante. O Pp21 na fundação com nível piezométrico mediano de 218,77 m tem uma cota de ponteira idêntica ao Pp18, porém o Pp21 possui nível piezométrico mediano mais baixo. Este situa-se por baixo do tapete drenante, o nível piezométrico elevado até 1994 que diminui, o que terá promovido a estabilização do nível após o 2º alteamento. O Pp22 tem a cota da ponteira a maior profundidade mas alcança níveis piezométricos mais elevados com média de 224,76 m.

A relação do Pp24 e Pp25 situados na fundação e a jusante, possuem valores medianos de 217,65 m e 218,43 m, respetivamente, e as oscilações são pouco significativas. Todavia, o Pp25 a maior profundidade exhibe níveis piezométricos ligeiramente superiores que o Pp24 (ver figura 16 e tabela 15).

A associação do Pp20 e do Pp23 foi feita pela semelhança da cota da ponteira para verificação dos níveis piezométricos, cuja média de valores é idêntica, 219,64 m e 219,17 m, respetivamente. O Pp20 possui um pico máximo em 1998 e o Pp23 tem um pico máximo em 2000, ambos estabilizam e oscilam ligeiramente com cotas próximas (ver figura 17 e tabela 16).

Ao correlacionar os piezómetros pneumáticos anteriores, nota-se que o fluxo se faz de montante para jusante. O facto de muitos dos piezómetros mais profundos terem níveis piezométricos maiores provém da fundação ter uma permeabilidade mais elevada que o aterro e ainda pelo facto do tapete drenante na base do aterro rebaixar as pressões de água.

- Relativamente aos piezómetros hidráulicos, a relação entre o Ph26, Ph27 e Ph28 que detém níveis piezométricos médios de 218,27 m, 225,07 m e 216,99 m, respetivamente (ver figura 18 e tabela 17). O Ph26 localizado no aterro acima do tapete drenante tem variações pouco significativas. O Ph28 na fundação tem oscilações inferiores ao Ph26, mas intersecta alguns valores do nível piezométrico pertencentes ao Ph26. O primeiro mínimo pode ter sido provocado pelo 3º trabalho de alteamento. O Ph27 detém a cota da ponteira a maior profundidade mas apresenta níveis piezométricos superiores aos Ph26 e Ph28.

O piezómetro hidráulico 30 (Ph30) localizado na fundação perto do pé do aterro tem valor mediano de 215,84 m, ver figura 19 e tabela 18. A cota da ponteira do Ph30 e do Ph28 apresenta diferença de 1,55 m e dos valores medianos 1,15 m, em que o Ph30 apresenta valores menores.

O piezómetro hidráulico 29 (Ph29) situado na base da 2ª banquetta do aterro com cota da ponteira de 223,66 m e média de nível piezométrico de 223,68 m, ver figura 20 e tabela 19. Com suave oscilação de 0,02 m, o que indica bom funcionamento do piezómetro.

- O Corpo Principal apresenta 12 piezômetros de tubo aberto para melhor observação da sua localização veja o ANEXOS I e II. O PCL1, PCL2 e PCL3 exibem cotas máximas iguais, ver tabela 20 e gráfico 30 – ANEXO VI. O PCL1 é artesiano na sua cota máxima pois é igual à cota do terreno deste. A relação entre o PCL1, PCL2, PCL3 e o PCL4 (ver gráfico 31 – ANEXO VI) são não artesianos e a cota mediana diminui. Ao comparar as cotas médias dos PCLs mais próximos do pé da IRCL (PCL1 e PCL2) e dos PCLs mais a jusante (PCL3 e PCL4) com características de comprimento iguais. Os comprimentos dos PCLs são dados pela subtração entre a cota do terreno e a cota da ponteira, 20 m e 10 m, respetivamente pode-se ver:

$$\text{PCL1} - \text{PCL3} = 219,15 - 216,51 = 2,64 \text{ m}$$

$$\text{PCL2} - \text{PCL4} = 220,38 - 214,75 = 5,63 \text{ m}$$

Estas equações indicam que o nível piezométrico dos PCLs a jusante é menor que os PCLs a montante (ver ANEXO II), com maior diferença entre os PCL2 e PCL4.

O PCL5, PCL6, PCL7 e o PCL8 variam entre artesianos e artesianos repuxantes. A comparação das médias entre estes foi feita segundo a sua localização, perto da IRCL (PCL5 e PCL6, ver gráficos 32 e 33 – ANEXO VI) e mais a jusante (PCL7 e PCL8, ver gráficos 34 e 35) como também das características de comprimento dos piezômetros (20 m e 10 m), ver tabelas 21 e 22. Para verificar a localização dos piezômetros ver ANEXO II.

Nível piezométrico:  $\text{PCL5} - \text{PCL7} = 215,06 - 217,79 = - 2,73$

$$\text{PCL6} - \text{PCL8} = 221,18 - 215,5 = 5,68 \text{ m}$$

Dados de pressão:  $\text{PCL5} - \text{PCL7} = 0,048 - 0,358 = -0,31 \text{ bar}$

$$\text{PCL6} - \text{PCL8} = 0,636 - 0,128 = 0,508 \text{ bar}$$

A diferença entre as cotas da ponteira e do terreno entre o PCL5 e o PCL7 é de 0,84 m, porém o PCL7 exhibe maior nível piezométrico, pelo que a comparação entre os dois surge negativa. Assim como nos dados de pressão em que o resultado da subtração é negativo, pelo que se deduz a existência de um aquífero ou fluxo de água na zona destes PCLs.

O PCL6 entre os quatro PCLs comparados é o que exhibe valores mais elevados tanto no nível piezométrico como na pressão, o mais errático uma vez que está mais perto do pé da IRCL. A diferença entre as cotas do terreno e da ponteira entre o PCL6 e o PCL8 é de 0,60 m. A correlação destes entre os momentos em que são artesianos e artesianos repuxantes e a diminuição dos valores apresentados na tabela 22 (PCL7 para o PCL8) podem sugerir que o fluxo está a ser feito de montante para jusante.

O PCL9, PCL10, PCL11 e o PCL12 variam entre artesianos e artesianos repuxantes. Para visualização dos gráficos ver ANEXO VI, gráficos 36, 37, 38 e 39, respetivamente. Para observação das cotas e níveis piezométricos ver tabelas 23 e 24 e para localização dos PCLs ver ANEXO II. A comparação das médias entre estes foi feita segundo a sua localização, perto da IRCL (PCL9 e PCL10) e mais a jusante (PCL11 e PCL12) como também das características de comprimento dos piezómetros (20 m e 10 m).

Nível piezométrico:

$$\text{PCL9} - \text{PCL11} = 221,21 - 217,76 = 3,45 \text{ m}$$

$$\text{PCL10} - \text{PCL12} = 220,53 - 217,79 = 2,74 \text{ m}$$

Dados de pressão:  $\text{PCL9} - \text{PCL11} = 0,048 - 0,293 = - 0,245 \text{ bar}$

$$\text{PCL10} - \text{PCL12} = 0,045 - 0,294 = - 0,249 \text{ bar}$$

Relativamente aos níveis piezométricos, verifica-se que os PCLs a jusante apresentam valores médios menores que os PCLs perto da IRCL. Contudo quando exibem artesianismo repuxante, os PCLs a jusante demonstram pressões mais elevadas. Na comparação entre a tabela 23 nota-se diminuição das cotas e dados de pressão entre o PCL9 para o PC10. Na tabela 24 as cotas e dados de pressão medianos do PCL11 para o PCL12 são semelhantes. É de notar que o resultado da subtração é negativo relativamente aos dados de pressão, pois o PCL11 e o PCL12 possuem pressão superior que os PCL10 e PCL9 que se situam mais a montante, o que indica a existência de um aquífero confinado.

- O Corpo Principal é o que detém mais poços para medição de infiltrações, para a localização dos IBRs ver ANEXO II, sendo o IBR5, o mais antigo e com o maior caudal, próximo dos 15 m<sup>3</sup>/h (ver gráfico 5). O IBR5A é mais recente, com início do registo das medições em 2004 e caudal máximo de 3,4 m<sup>3</sup>/h, ver gráfico 6. Ambos se situam numa zona mal drenada, este poço tem como propósito o rebaixamento do aquífero existente independente da albufeira. Também exhibe uma relação instantânea com as variações de precipitação.

O IBR5B capta as águas subterrâneas que estão relacionadas a diversas nascentes, cujo caudal máximo é de 2,53 m<sup>3</sup>/h, ver gráfico 7, este poço serve como separação entre a água superficial da água subterrânea.

O IBR5C recolhe as águas de infiltração pelo tapete drenante e o dreno de pé no corpo principal, é um dos poços mais recentes do corpo principal, iniciando o seu registo no segundo semestre de 2011, o caudal máximo é de 3,98 m<sup>3</sup>/h, ver gráfico 8. A sua construção deveu-se à conclusão que junto a este poço, a água seguia o antigo leito de linha de água que infletia para o interior do aterro no encontro direito. (CENORGE0, 2005b)

O IBR6 é o poço mais a jusante e tal como o IBR5C inicia o seu registo em junho de 2011. Apresenta caudal máximo de 5,29 m<sup>3</sup>/h (ver gráfico 9), superior ao IBR5C, o que pode indicar o que o fluxo de água segue para jusante.

O IBR20 é um dos mais antigos poços com início de medições em finais de 1992, ver gráfico 10, localiza-se a uma cota aproximada do IBR5, e o seu caudal é mais de metade do caudal do IBR5.

O IBR23 é de difícil interpretação, uma vez que recebe as águas dos IBR5, IBR5A, IBR5B e IBR20. No início recebe as águas do IBR5 e IBR20, em 2004 recebe a água do IBR5A e em 2005 do IBR5B. A partir de 2005 o caudal não ultrapassa os 18 m<sup>3</sup>/h (ver gráfico 11). Apesar de, em 2011 passar a recolher água de mais dois poços, nomeadamente o IBR5C e o IBR6. Isto porque parte da água é tratada pela Estação de Tratamento de Águas da Mina e a outra parte é bombeada de volta para a albufeira, podendo ser derivada para o tanque de enchimento do sifão por meio de um tubo *by-pass* (CENORGE0, 2005b). Como não disponho dos dados relativos à quantidade de água que foi tratada ou direcionada de volta para a albufeira, não é possível efetuar outros tipos de cálculos.

O IBR32 iniciou o registo em 2008, situado na fundação do aterro com a finalidade de drenar uma zona com pendente para montante, de maneira a aliviar qualquer pressão que se estabelece-se de jusante para montante sobre a geomembrana. O seu caudal máximo é de 0,6 m<sup>3</sup>/h (ver gráfico 12). No ANEXO II observa-se que o IBR32 está afastado dos restantes poços do CP, mas é considerado como parte integrante da instrumentação do CP, uma vez que, este poço capta as águas de percolação coletadas pelo dreno em gravilha colocado a uma extensão de cerca de 20 m e as águas superficiais entre o pé da IRC e a vedação no troço do Corpo Principal (CENORGE0, 2005b).

Os IBRs no Corpo Principal são sensíveis às variações dos valores de precipitação e de evaporação, exceto o IBR5, IBR20 e o IBR23. Quanto ao IBR23 a partir de 2010 torna-se vulnerável à precipitação.

- O inclinómetro 2 (ver gráfico 13) e o inclinómetro 3 apresentam um deslocamento mínimo para jusante, no máximo de 30 mm e de 35 mm respetivamente, no eixo A. No inclinómetro 3, à profundidade dos 22 m (ver gráfico 14), demonstra várias leituras repentinas para jusante no eixo A, e no eixo B apresenta uma curva que indica deslocamento negativo. As deformações devem-se à deformação do material, contudo a dimensão milimétrica do deslocamento não constitui um fator de instabilidade.

- As marcas superficiais medem os deslocamentos horizontais e verticais. No que se refere aos deslocamentos horizontais, as marcas superficiais sugerem um desvio mínimo para

montante mas pouco significativo (ver gráfico 15), contudo o este desvio pode ser o resultado de erros de leitura. Relativamente aos deslocamentos verticais, as marcas superficiais revelam a tendência de assentamento, ver gráfico 16 e tabela 27. As marcas superficiais no coroamento demonstram maior assentamento à medida que sob estas se posicionam as banquetas, ou seja maiores alturas do aterro, ver figura 23. A marca superficial que apresenta maior assentamento é a MS13, com o máximo assentamento vertical de aproximadamente 80 mm. As relações de assentamento entre as marcas superficiais no topo das três banquetas é feita da seguinte forma: MS5 <MS7 <MS10 <MS13> MS16> MS19 (ver gráfico 16). Como o Corpo Principal compreende uma altura máxima do aterro acima da fundação de 42 m, os 80 mm de assentamento não são considerados relevantes para a estabilidade do aterro.

### 5.3. Portela do Corpo Principal

- Relativamente aos piezómetros pneumáticos na Portela do Corpo Principal, existe apenas uma relação entre piezómetros, nomeadamente o Pp53 e o Pp54, cujos níveis piezométricos medianos são 241,25 m e 238,49 m, respetivamente (ver tabela 28). Denota-se que ambos oscilam de forma semelhante e os níveis piezométricos do Pp54 não ultrapassam os do Pp53, este que se localiza a 2,28 m acima do Pp54 (ver figura 24).

- Quanto aos piezómetros hidráulicos temos três nesta portela, o Ph50, o Ph51 e o Ph52, cujos níveis piezométricos medianos são 243,03 m, 242,87 m e 242,52 m, respetivamente (ver tabela 29). No Ph50 observa-se uma incoerência entre o esquema da CENORGEO e dos dados do Excel relativamente à cota da ponteira, em que no esquema a cota da ponteira é de 235,20 m e nos dados do Excel 240,27 m. Como disse no capítulo anterior, preferiu-se a cota da ponteira do Excel, pela sua constante atualização por parte da SOMINCOR. No Ph 50 observa-se uma descida acentuada do nível piezométrico em 2001 de aproximadamente 5 m e depois mantem-se num patamar com ligeiras oscilações. O Ph51 varia pouco significativamente, estando os níveis piezométricos muito próximos da cota da ponteira deste. O Ph52 por baixo do Ph51, nomeadamente a 5,79 m, possui uma média menor que o Ph51, mas não muito considerável com uma diferença de 0,35 m. Basicamente, existem níveis piezométricos comuns entre os Ph50, Ph51 e Ph52, ver figura 25.

- No que se refere aos piezómetros de tubo aberto, esta portela só inclui um, sendo o PCL31, cuja diferença entre a cota do terreno e a cota da ponteira é de 30,05 m, ver tabela 30. O nível piezométrico mediano é de 243,15 m e o nível máximo é de 247,44 m sendo igual ao da cota da ponteira, indicando momentos de artesianismo (ver gráfico 50 – ANEXO VI), para observação da localização deste PCL ver ANEXO II. O nível mínimo é de 242,16 m, ao comparar com a cota da ponteira, pode-se dizer que existe uma coluna de água de 24,77 m. Segundo estes dados, pode-se afirmar que não existem momentos em que este PCL esteja

seco, e mesmo no seu nível piezométrico mínimo, a diferença entre este e o nível máximo é de 5,28 m.

- Na portela do corpo principal estão presentes três poços. Os mais antigos são o IBR16 e o IBR18 com início de registo em 1992. O IBR16 mais próximo do corpo principal é o que tem maior caudal máximo de 18 m<sup>3</sup>/h, ver gráfico 17. A partir de 1997, este IBR torna-se sensível à variação de precipitação, embora com atraso de alguns meses. De 2002 a finais de 2016 o caudal mantém-se entre os 0 a 10 m<sup>3</sup>/h. O IBR18 tem caudal máximo de 14,60 m<sup>3</sup>/h, devido à ligação existente entre este e o IBR18A. No início das medições do IBR18, observa-se dependência do caudal deste com os valores de precipitação e de evaporação, todavia devido à ligação entre o IBR18A, fez com que o caudal deste aumentasse, ver gráfico 18. O IBR18A é o mais recente, de 2006, e capta a água de infiltração na manga dos Pp53 e Pp54, pelo que o seu caudal é reduzido, não alcança 1 m<sup>3</sup>/h, e não é sensível aos valores de precipitação e evaporação, ver gráfico 19.

#### 5.4. Portela da Margem Esquerda 1

- A portela ME1 possui dois piezómetros pneumáticos, o Pp58 e o Pp59, cujos níveis médios são 238,61 m e 243,00 m, respetivamente (ver tabela 31). O Pp59, com cota da ponteira a 3,31 m abaixo do Pp58, exhibe níveis piezométricos superiores aos do Pp58, exceto de 1996 a 2000. O Pp59 revela um comportamento mais oscilante que o Pp58, sendo o Pp58 mais constante com ligeiras oscilações e níveis piezométricos mais próximos da ponteira, ver figura 26.

- Quanto a piezómetros hidráulicos, a portela ME1 dispõe de três piezómetros, nomeadamente, Ph55, Ph56 e Ph57. O Ph55 situado na fundação é o que obtém níveis piezométricos superiores cuja média é de 247,56 m (ver figura 27 e tabela 32). A relação entre os Ph56 e Ph57, cuja ponteira do Ph57 situa-se a 5,38 m abaixo do Ph56, mas possui valores piezométricos medianos ligeiramente mais elevados, na ordem dos 0,39 m, ver tabela 33. O Ph57 exhibe um nível máximo em 2005 e depois diminui e estabiliza muito próximo da cota da ponteira do Ph56, isto deve-se à estabilização do nível piezométrico após os trabalhos do 3º alteamento. Excetuando este caso, pode-se afirmar que o comportamento dos Ph56 e Ph57 é semelhante e constante, ver figura 28.

- A portela ME1 conta com 7 piezómetros de tubo aberto: PCL13, PCL14, PCL15, PCL16, PCL17, PCL18, PCL19 e PCL20. Os gráficos apresentam-se no ANEXO VI, gráficos 40, 41, 42, 43, 44, 45 e 46, respetivamente. O PCL13, PCL14, PCL19 e PCL20 são unicamente artesianos enquanto os outros variam de artesianos para artesianismo repuxante. Para visualização da localização dos PCLs ver ANEXO II. A comparação das médias entre estes foi feita segundo a sua localização, perto da IRCL (PCL13, PCL14, PCL17 e PCL18) e mais



a jusante (PCL15, PCL16, PCL19 e PCL20) como também das características de comprimento dos piezómetros (20 m e 10 m). Os comprimentos dos PCLs resultam da subtração entre a cota do terreno e a cota da ponteira de cada PCL, ver tabelas 34, 35 e 36.

Nível piezométrico:

$$\text{PCL13} - \text{PCL15} = 242,50 - 241,01 = 1,49 \text{ m}$$

$$\text{PCL14} - \text{PCL16} = 241,75 - 239,24 = 2,51 \text{ m}$$

$$\text{PCL17} - \text{PCL19} = 244,31 - 237,69 = 6,62 \text{ m}$$

$$\text{PCL18} - \text{PCL20} = 242,79 - 237,04 = 5,10 \text{ m}$$

Dados de pressão:

$$\text{PCL17} - \text{PCL15} = 0,098 - 0,363 = - 0,265 \text{ bar}$$

$$\text{PCL18} - \text{PCL16} = 0,112 - 0,197 = - 0,085 \text{ bar}$$

Os cálculos de subtração entre as cotas dos PCLs perto do pé da IRCL e dos PCLs mais a jusante indicam que o nível piezométrico diminui para jusante. Os cálculos de subtração entre os dados de pressão revelam que os piezómetros com pressão mais elevada estão a jusante, pelo que se obtém dados negativos de pressão. Pode-se deduzir que exista algum aquífero ou fluxo de água mais intenso na zona dos PCL15 e do PCL16.

Nas tabelas 34, 35 e 36, demonstra-se que o PCL13 e o PCL14 possuem níveis piezométricos semelhantes (apenas 0,75 m de diferença). Lateralmente, o PCL14 tem cotas mais reduzidas que o PCL17, e do PCL17 para o PCL18 diminui na média das cotas, mas aumenta ligeiramente na pressão. Os PCLs mais a jusante, do PCL15 para o PCL16 tanto a cota como a pressão diminuem. O nível piezométrico diminui do PCL16 para o PCL20. Maioritariamente, o fluxo diminui lateralmente para nordeste, ou seja na aproximação da portela do Corpo Principal.

- O único poço presente nesta portela é o IBR17 com funcionamento desde 1992, desde este ano até ao final de 2005, não demonstra sensibilidade às variações de precipitação e de evaporação. No final de 2001 regista o caudal máximo de 7,4 m<sup>3</sup>/h coincidente com o artesianismo repuxante do PCL18, uma vez que este poço recebe água deste PCL quando existe artesianismo repuxante.

### 5.5. Portela da Margem Esquerda 2A

- Nesta portela existe apenas um piezómetro pneumático, o Pp61 que regista oscilações pouco significativas sendo a diferença entre a cota mediana (240,38 m) e a cota da ponteira (239,70 m) é de 0,68 m.

- Relativamente a piezómetros hidráulicos também só há um no perfil de observação escolhido, sendo o Ph60 cuja média é de 243,68 m e apresenta variações pouco significativas na ordem dos 1,63 m.

- A portela ME2A dispõe de 8 piezómetros de tubo aberto: PCL21, PCL22, PCL23, PCL24, PCL25, PCL26, PCL27, PCL28 e PCL32. Os PCLs foram agrupados segundo o comprimento dos PCLs, resultado da subtração entre a cota do terreno e a cota da ponteira. O gráfico 48 apresenta os PCLs 21, 23, 25 e 27 e o gráfico 49 exhibe os PCLs 22, 24, 26 e 28, ambos situados no ANEXO VI. São artesianos, exceto o PCL32 que varia entre artesiano e artesiano repuxante, ver gráfico 51 – ANEXO VI. A comparação das médias do nível piezométrico entre estes foi feita segundo a sua localização, considerando os PCLs perto da IRCL (PCL21, PCL22, PCL25 e PCL26) e mais a jusante (PCL23, PCL24, PCL26, PCL27 e PCL28) como também das características de comprimento dos piezómetros (20 m e 10 m).

$$\text{PCL21} - \text{PCL23} = 241,05 - 240,85 = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{PCL22} - \text{PCL24} = 241,58 - 240,99 = 0,59 \text{ m}$$

$$\text{PCL25} - \text{PCL23} = 240,85 - 242,14 = 1,29 \text{ m}$$

$$\text{PCL26} - \text{PCL24} = 240,99 - 241,92 = 0,93 \text{ m}$$

$$\text{PCL25} - \text{PCL27} = 242,14 - 240,95 = 1,19 \text{ m}$$

$$\text{PCL26} - \text{PCL28} = 241,92 - 240,99 = 0,93 \text{ m}$$

Ao verificar as tabelas 39, 40 e o ANEXO II nota-se que os PCLs estão em pares, tanto que os níveis piezométricos medianos são semelhantes entre cada par, apesar da diferença de comprimento do PCL. O PCL24 e o PCL28 tem cotas médias iguais. Os cálculos de subtração revelam que o fluxo é feito para jusante, com ligeiras diferenças de cota, no máximo de 1,30 m. O PCL32 é o único que inclui dados de pressão e localiza-se mais a jusante, na observação da tabela 41 indica que a cota média e a cota mínima são superiores à cota do terreno, o que evidencia que o comportamento do PCL32 é maioritariamente artesiano repuxante, o que pode dever-se à presença de um aquífero naquela área.

- Esta portela dispõe de quatro poços de medição de infiltrações, IBR15, IBR19, IBR34 e IBR35. O IBR15 é o mais antigo e que regista maior caudal, as oscilações do caudal devem-se parcialmente às variações de precipitação, mas evidenciam com algum atraso, ver gráfico 21.

Os outros IBRs registam pouco caudal relativamente ao IBR15, o IBR19 com início de registo em 1996 inclui um caudal máximo de 1,5 m<sup>3</sup>/h a 12/2000, as variações do caudal estão intimamente associadas às variações de precipitação e evaporação, ver gráfico 22.

O IBR34 e o IBR35 são os mais recentes, desde 2012, o IBR34 está localizado mais a jusante. O IBR35 com caudal máximo de 0,51 m<sup>3</sup>/h (ver gráfico 24) e o IBR34 com caudal máximo de 0,94 m<sup>3</sup>/h (ver gráfico 23). Como o IBR34 está mais a jusante possui maior caudal que o IBR35, o que permite inferir que o fluxo está a ser direcionado para jusante.

#### 5.6. Portelas ME2B e ME2C

As portelas ME2B e ME2C possuem apenas quatro poços (IBR26, IBR29, IBR29A e IBR30) e para complemento o IBR31 da albufeira de Monte Branco.

O IBR26 é o mais antigo (1999) e com caudal máximo superior a 1 m<sup>3</sup>/h, aproximadamente (ver gráfico 25). Todos os outros datam de 2006 e possuem caudal reduzido. O IBR29 de caudal máximo de 0,20 a 0,25 m<sup>3</sup>/h, de 2011 a 2015 o caudal é zero, como outros instantes, verificar o gráfico 26. O IBR29A é um IBR de observação de água de infiltração numa zona isolada da fundação, não tendo registo de caudal de 2007 a finais de 2011, regista um caudal máximo de 0,16 a 0,18 m<sup>3</sup>/h, podendo ter sido alguma infiltração. O IBR30 apresenta suscetibilidade às variações de precipitação e de evaporação, com atraso na reação (ver gráfico 28), o caudal máximo é ligeiramente superior a 0,7 m<sup>3</sup>/h. O IBR31 coleta as águas de infiltração do material Pj entre o PK3+230 e PK3+482, registando um caudal máximo de 1,6 a 1,8 m<sup>3</sup>/h, sendo influenciado pelas variações de precipitação e de evaporação (ver gráfico 29). Do IBR26 ao IBR30, o caudal diminui, sendo o IBR31 o que apresenta maior caudal.

#### 5.7. Considerações finais

Em jeito de considerações finais deste capítulo, é notório que o Corpo Principal é o corpo de aterro mais crítico para a segurança e bom desempenho do IRCL, devido às suas características, com maior altura e comprimento, 42 m e 650 m respetivamente, em relação às outras portelas, pelo que inclui o maior número de instrumentos geotécnicos, sendo o único que possui inclinómetros. A partir da comparação e relação dos gráficos, tabelas e a localização dos instrumentos geotécnicos verifica-se que todas as portelas da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo estão estáveis. Ao considerar as dimensões e as características de cada portela deduz-se que o Corpo Principal é o mais suscetível de instabilizar em relação às outras portelas. Seguido da Portela do Corpo Principal, portela ME1, portela ME2A, portela MD, portela da ME2B e por último a menos suscetível de instabilizar a portela ME2C.

A maior limitação encontrada foi a impossibilidade de examinar e relacionar toda a instrumentação presente na IRCL, de modo a corroborar o tema da dissertação. Outra limitação foi o facto do conjunto de dados digitalizados só se iniciarem em 1992, uma vez que a 1ª fase de construção da IRCL terminou em 1988, pelo que o estudo não se inicia a 1988 mas sim a 1992.

## 6. Conclusão

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivo principal a interpretação dos dados da instrumentação das portelas da IRCL. Para tal, compreendeu-se e descreveu-se a estrutura em causa, bem como a instrumentação existente na IRCL. Foi selecionada a instrumentação que se considerou mais representativa, escolhendo os perfis mais relevantes em cada portela, de modo a ser viável a sua análise no contexto de um trabalho de mestrado. A instrumentação escolhida foi interpretada e foram efetuados e gráficos tabelas para cada conjunto de instrumentos em cada portela.

Os piezómetros pneumáticos que se situam na fundação alcançam cotas relativamente elevadas, o que pode justificar-se através da permeabilidade da fundação e da inexistência da cortina de impermeabilização.

No Corpo Principal, os piezómetros pneumáticos mostram que há um fluxo ascendente na fundação em direção ao dreno da fundação da IRCL. Mostra ainda que o dreno está a cumprir a sua função ao reduzir a pressão neutra para cotas próximas da do próprio dreno, tendo em atenção a necessidade de ainda haver gradiente hidráulico capaz de promover o fluxo drenante para o exterior da estrutura do IRCL, a jusante. Temos o exemplo do Pp22 (figura 15) que se localiza a jusante do núcleo, deveria exibir uma menor pressão, mas a ausência de cortina de impermeabilização e de drenagem na fundação não favorece a redução das pressões neutras.

Os piezómetros pneumáticos Pp20 e Pp23 (figura 17) estando situados acima do dreno de fundação a jusante do núcleo, verifica-se que as cotas dos Pp20 e do Pp23 são muito semelhantes a praticamente coincidentes com a cota da ponteira, evidenciando a ausência de tensões críticas neste caso.

Os piezómetros pneumáticos indicam a presença de pressões neutras mais elevadas nas zonas mais profundas do terreno de fundação, e que elas se dissipam com a aproximação à base do aterro, onde se encontra o tapete drenante. Esta situação é favorável à estabilidade pois indica que o aterro evita a existência de tensões elevadas na sua base ao permitir a sua dissipação. O facto de muitos dos piezómetros mais profundos terem níveis piezométricos maiores provém da fundação ter uma permeabilidade mais elevada que o aterro e ainda pelo facto do tapete drenante na base do aterro rebaixar as pressões de água.

Consideramos que há bastante semelhança entre a piezometria nos Pp20, Pp21 e Pp22 e os Ph26, Ph27 e Ph28, o que se deve à proximidade e à semelhança de condições geotécnicas.

Os valores medidos mostram que não há tensões neutras significativas no pé da IRCL, o que é uma situação muito favorável para a estabilidade do IRCL. Mostra também que a drenagem da fundação cumpre a sua função.

Os piezômetros hidráulicos de tubo aberto (PCL) têm como propósito o controlo do nível freático natural a jusante da IRCL. Os PCLs dividem-se em apenas artesianos e artesianos/artesianos repuxantes, os que variam entre artesianismo e artesianismo repuxante indicam que existe uma recarga aquífera, podendo ser causada pela pluviosidade ou águas subterrâneas. Os PCLs com artesianismo repuxante indicam a possível presença de um aquífero confinado. O PCL com pressão mais elevada é o PCL6 a jusante do Corpo Principal, com 0,8 bar que equivale a 8 m de coluna de água, ao adicionar esta altura de coluna de água à cota da tampa do PCL equivale a 222,82 m. Ao relacionar esta cota à cota do coroamento, revelou que sobram 32,18 m, pelo que se considera que não é prejudicial à estabilidade da IRCL. A monitorização dos piezômetros de tubo aberto (PCL) demonstra a sua dependência geral com a cota da albufeira, contudo não apresenta valores preocupantes para a estabilidade da IRCL.

Os IBRs controlam a altura de água da IRCL, na medida em que direcionam as águas de circulação para jusante da IRCL que são captadas nos poços (IBRs) e por sua vez bombeadas para a albufeira por meio de bombas elétricas. A maioria dos IBRs são sensíveis à precipitação e evaporação. Os poços de captação e bombagem (IBR) coletam os caudais percolados através do corpo e da fundação da IRCL, e devolvem-nos à albufeira impedindo a sua descarga no meio ambiente, de modo a minimizar o impacto ambiental. Permitem também aferir o comportamento hidráulico da IRCL e respetivos órgãos de estanquidade. Os valores medidos são comparados com o modelo da IRCL.

Em relação aos inclinómetros observam-se deslocamentos para jusante, máximo de 35 mm (gráfico 15), que ao relacionar este deslocamento com a altura do aterro não são considerados um fator de instabilidade.

As marcas superficiais verificam que os maiores assentamentos ocorrem nas zonas de maior altura (gráfico 16), pelo que se pode considerar que os assentamentos estão dependentes da altura do aterro.

A forma de deposição dos rejeitados modificou-se no final de 2010, pelo que o processo de deposição subaérea de rejeitados espessados compreende apenas um intervalo de 6 anos. No tempo de existência da IRCL, perfazendo 28 anos no final de 2016, os parâmetros que possam ter sido alterados devido ao novo método de deposição de rejeitados ainda não são muito perceptíveis.

Concluiu-se que a Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo se encontra estável, porém é imprescindível a contínua monitorização das portelas e a vigilância dos instrumentos de medição como prevenção e continuação das melhores práticas disponíveis.

Como trabalhos futuros sugere-se o estudo da restante instrumentação da IRCL e os efeitos da deposição subaérea do rejeitado espessado na estabilidade das portelas. Um estudo mais pormenorizado, o tratamento de dados feito com outro tipo de gráficos para melhor análise temporal.

## Referências Bibliográficas

- Carvalho, P. & Ferreira, A. (1995) “Geologia de Neves-Corvo: Estado Actual do Conhecimento” In: II Simpósio de Sulfuretos Polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica, Évora”.  
12 de Novembro de 2016  
<<http://geomuseu.ist.utl.pt/JAZIGOS%20MINERAIS%202006/Geologia%20Neves%20Corvo/Geologia%20de%20Neves%20Corvo.pdf>>
- CENORGEO (2005a). Relatório Final de Construção, *Barragem de rejeitados do Cerro do Lobo – 4ª Fase de Construção, Alçamento para a cota 255, Volume 1 – Memória descritiva da execução de trabalhos*, Outubro 2005, CENORGEO
- CENORGEO (2005b). Relatório Final de Construção, *Barragem de rejeitados do Cerro do Lobo – 4ª Fase de Construção, Alçamento para a cota 255, Volume 6 – Observação da barragem, Controlo da instalação do sistema de instrumentação da barragem*, Outubro 2005, CENORGEO
- Fell, Robin; MacGREGOR, Patrick; Stapledon, David, 1992, *Geotechnical engineering of embankment dams*, 1ª Edição
- Hidroprojeto (2002). Relatório *Barragem de Cerro do Lobo, 4ª fase de construção – Remodelação do projeto de alçamento da barragem da cota 252 para a cota 255 – Projeto de Execução, Volume 1 – Memória descritiva e justificativa*, Dezembro 2002, Hidroprojeto
- Johnston, T.A., 1999, “An Engineering Guide to the Safety of Embankment Dams in the United Kingdom”, 2ª Edição, Published by Construction Research Communications Ltd by permission of Building Research Establishment (BRE)
- Machan, George and Bennet, Victoria, 2008, “Use of Inclometers for Geotechnical Instrumentation on Transportation Projects – *State of Practice*”, Transportation Research Circular E-C129, Transportation Research Board of the National Academies, Washington DC.
- Oliveira, J. T.; Carvalho, P.; Pereira, Z.; Pacheco, N.; Fernandes, J. P. & Korn, D. 1997 - The stratigraphy of the Neves Corvo Mine Region. SEG - Neves Corvo Field Conference 1997. 12 de Novembro de 2016 <[http://repositorio.ineq.pt/bitstream/10400.9/943/1/28627CD\\_A96.pdf](http://repositorio.ineq.pt/bitstream/10400.9/943/1/28627CD_A96.pdf)>
- Oliveira, Mafalda, 2015, Seminário “Gestão, projeto, construção e encerramento de instalações de resíduos mineiros – *A problemática da gestão dos resíduos mineiros (SOMINCOR Mina Neves- Corvo)*”, Auditório da Sede Nacional da Ordem dos Engenheiros, Lisboa. 25 de Setembro de 2016  
<[http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_artigo/20170127\\_moliveira\\_58580693354d3502c68934.pdf](http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20170127_moliveira_58580693354d3502c68934.pdf)>

Relvas, Jorge M.R.S., Jorge, Raul C.G.S., Pinto, Álvaro M.M., Matos, João X., Rosa, Carlos J., Barriga, Fernando J.A.S. Encontro II de Professores de geociências do Alentejo e Algarve “Geologia, mineralizações e biodiversidade na faixa piritosa - *As Mineralizações da Faixa Piritosa e sua Importância Económica*”, 2007, Cineteatro Marques Duque, Mértola. 27 de Setembro de 2016 <[http://www.associacaodpga.org/II\\_alent\\_e\\_alg\\_merto\\_files/Relvas.pdf](http://www.associacaodpga.org/II_alent_e_alg_merto_files/Relvas.pdf)>

Relvas, JMRS, 2000. Geology and metallogenesis at the Neves Corvo deposit, Portugal. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 20 de Novembro<<http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Mina%20de%20Neves%20Corvo.pdf>>

Rosa, Diogo R.N., Inverno, Carlos M. C., Oliveira, J and Rosa, Carlos J.P. (2004) *Geochemistry of Volcanic Rocks, Albernoa Area, Iberian Pyrite Belt, Portugal* International Geology Review, Vol. 46, p. 366 – 383, Copyright by V. H. Winston & Son, Inc.

Soil Instruments Limited, “Vertical Digital Inclinometer System” Datasheet C17 nº 07960087, Reino Unido. 2 de Dezembro de 2016 <<http://soil.co.uk/products/inclination/vertical-digital-inclinometer-system/>>>

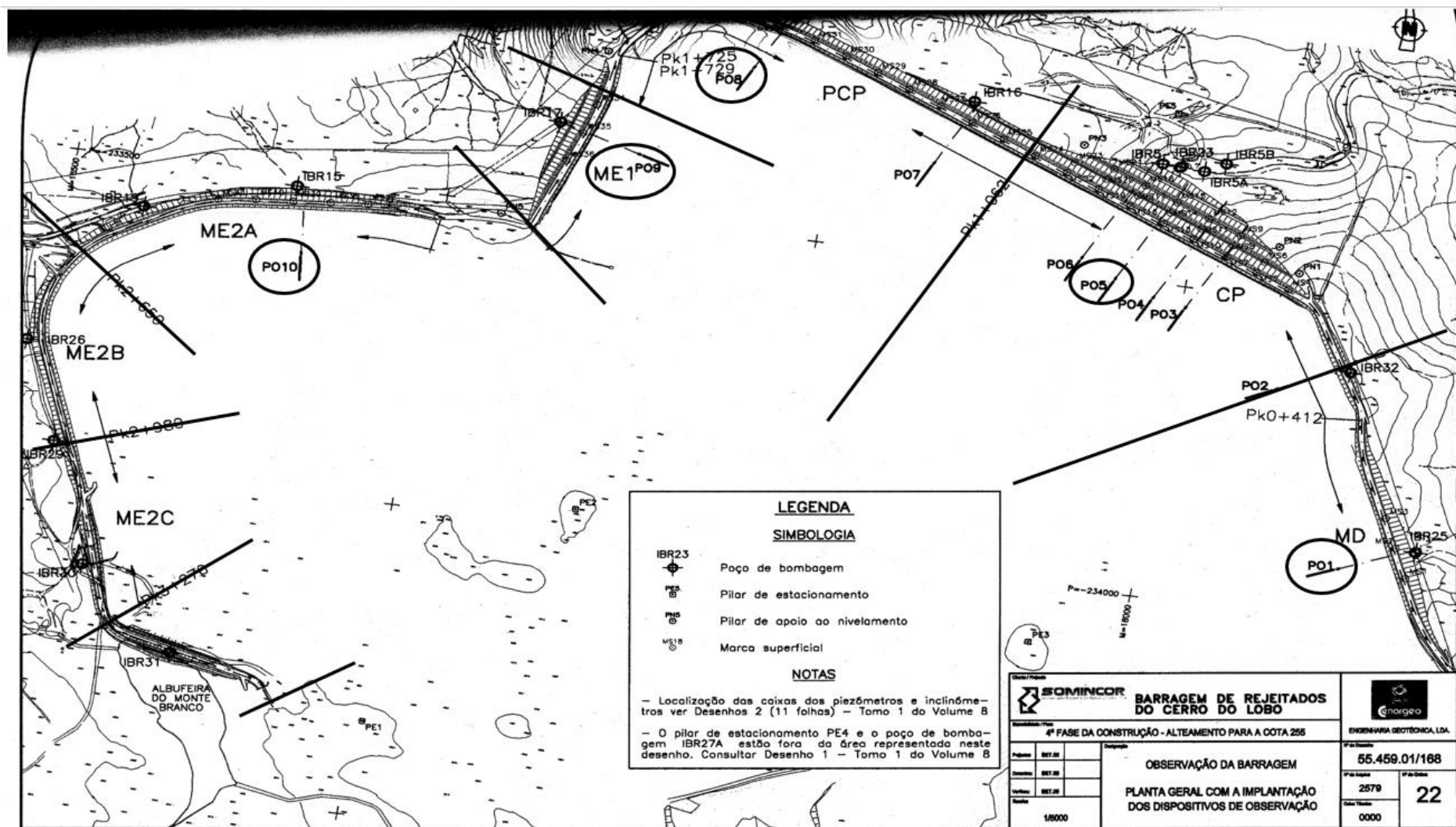
VEIGA PINTO, A. (1983). Previsão do Comportamento Estrutural de Barragens de Enrocamento. Lisboa, LNEC



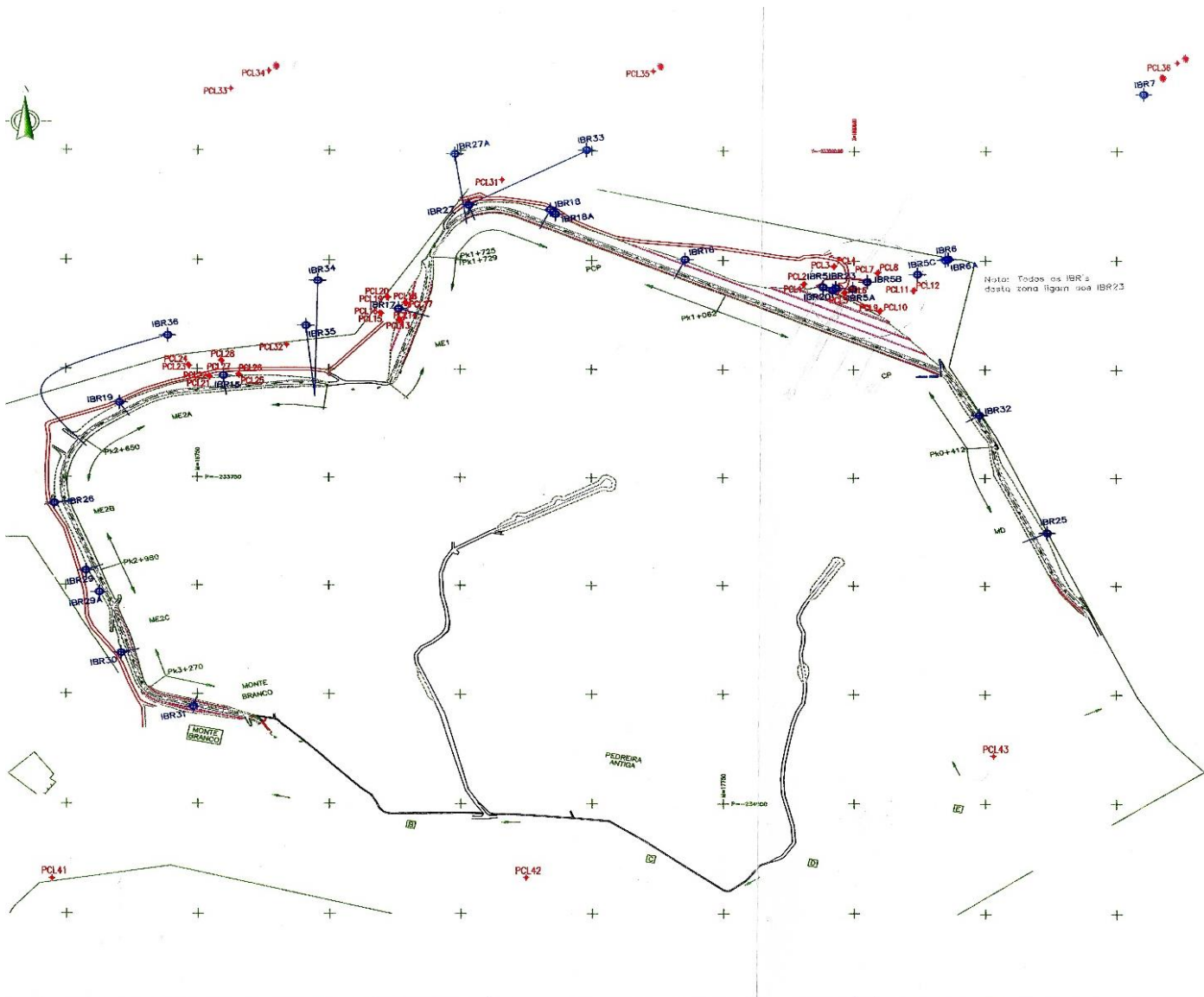
## ANEXOS

ANEXO I: Planta geral da implantação dos dispositivos (CENORGEO, 2005b) .....	102
ANEXO II: Localização dos equipamentos de observação (CENORGEO, 2005b) .....	103
ANEXO III: Perfil transversal do PO5 (Corpo Principal) .....	104
ANEXO IV: Perfil transversal do PO1 (MD) e do Perfil PO8 (PCP).....	105
ANEXO V: Perfil transversal do PO9 (ME1) e do PO10 (ME2A).....	106
ANEXO VI: Gráficos dos piezômetros hidráulicos de tubo aberto (PCL) .....	107

ANEXO I: Planta geral da implantação dos dispositivos (CENORGEO, 2005b)



# ANEXO II: Localização dos equipamentos de observação (CENORGEO, 2005b)



LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE OBSERVAÇÃO

LOCAL	EQUIPAMENTO
MD	IBR 25
CP	IBR 32 20 23 5 5A 5B 5C 6 6A 7
	PCL 1/2 3/4 5/6 7/8 9/10 11/12
	INC 1(CX8) 2(CX13) 3(CX14) 4(CX18)
PCP	IBR 16 18 18A 27 27A 33
	PCL 31
ME 1	IBR 17
	PCL 13/14 15/16 17/18 19/20
ME 2A	IBR 19 15 34 35
	PCL 21/22 23/24 25/26 27/28 32
ME 2B	IBR 26 29
ME 2C	IBR 29A 30
MONTE BRANCO	IBR 31
MONTANTE CL	PCL 41 42 43
JUSANTE CL	PCL 33 34 35 36

NOTAS :  
 • OS PCL'S 34 , 35 , 36 e o IBR 7 NÃO ESTÃO IMPLANTADOS  
 NOS COORDENADOS CORRETO.  
 IBR : IMPLANTAÇÃO BARRAGEM DE RESERVAÇÃO  
 PCL : PIEZOMETRO CERRO DO LOBO

COORDENADAS:  
 O SISTEMA DE REFERÊNCIA NAUTICAL É O DATUM LISBOA

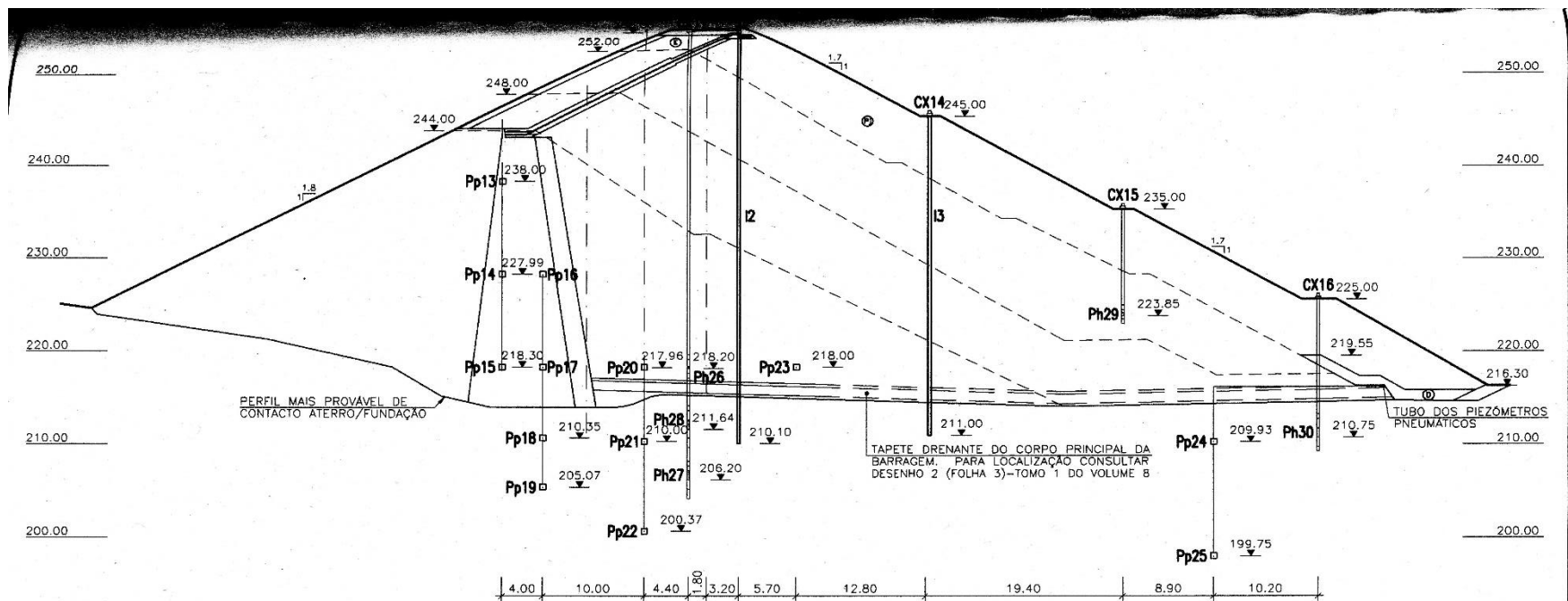
Revisto	Data	Intervenção	Proj.	Des.	Verif.

**SOMINCOR**  
 SISTEMAS, MEDIAS, REDES, CORRE SA

MINA DE NEVES CORVO  
 BARRAGEM DO CERRO DO LOBO  
 IBR'S E PCL'S  
 IMPLANTAÇÃO  
 Código de Armazém:

PROJETO	DATA	REVISÃO	APROVADO	EMEL	REVISÃO
DESIGNOU	13-12-2005	J. Mendes			
ORÇAMENTO					
REVISÃO					
ESCALA	1:4000				
Nº	41	10	32	137	2

### ANEXO III: Perfil transversal do PO5 (Corpo Principal)



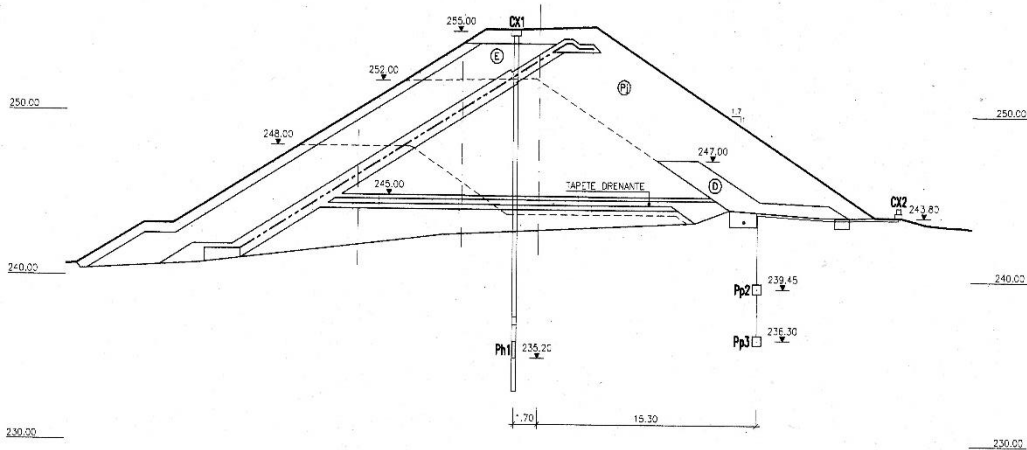
CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX11	PK 0+854	Ph26 e Ph27
CX12	PK 0+865	Ph28
CX13	PK 0+850	I2
CX14	PK 0+850	I3
CX15	PK 0+854	Ph29
CX16	PK 0+854	Ph30

**NOTAS:**

- Os caminhos das tubagens dos piezómetros pneumáticos nos aterros das fases anteriores de construção são traçados a título indicativo
- Neste Desenho estão indicados os cotos da base das ponteiros dos piezómetros e da base dos inclinómetros. Para informação mais pormenorizada consultar a Volume 6 do relatório final de construção:
  - Quadro 6.2.2. Relatório nº2
  - Quadro 6.2.3. Relatório nº3
  - Quadro 6.3.6. Relatório nº6
  - Quadro 6.3.7. Relatório nº7
- O tapete drenante que se indica neste desenho tem uma posição oblíqua ao eixo da barragem, e situa-se à esquerda da antiga descarga de fundo
- Designação anterior: 27 e 27A

		<b>BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO</b>			
4ª FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 255		ENGENHARIA GEOTÉCNICA, LDA.		55.459.01/173	
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM		CORPO PRINCIPAL		2584	
PERFIL PO5 - PK 0+854		14000		27	

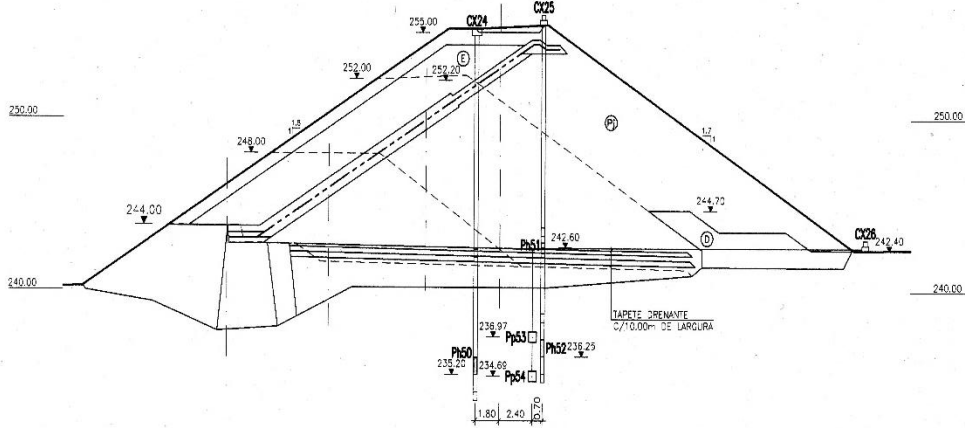
# ANEXO IV: Perfil transversal do PO1 (MD) e do Perfil PO8 (PCP).



CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX1	PK 0+190	Ph1
CX2	PK 0+200	Pp2 e Pp3

NOTAS:  
 - Os caminhos dos tubagens dos piezómetros pneumáticos nos aterros das fases anteriores de construção são traçados e título indicativo  
 - Designação anterior: Perfil 32

<b>BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO</b>		ENGENHEIRO RESPONSÁVEL	
# FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 206		Nº de Projeto: 55.459.01/169	
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM PORTELA MD PERFIL PO1 - PK 0+190		Fases: 2880 Escala: 0000	
1000		23	

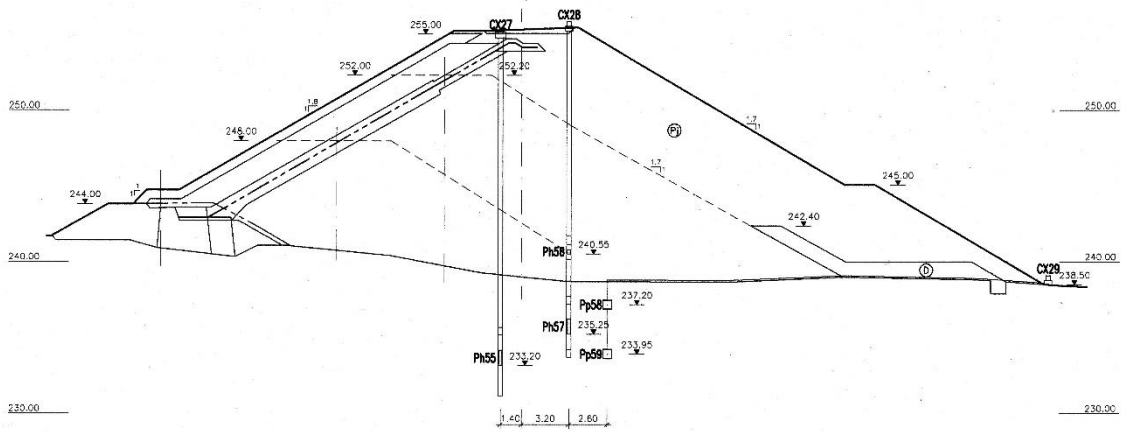


CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX24	PK 1+445	Ph50
CX25	PK 1+445	Ph51 e Ph52
CX26	PK 1+438	Pp53 e Pp54

NOTAS:  
 - Na perfuração para os piezómetros Ph51 e Ph52, indicadas nesta 4ª fase de construção, não foi colectada a lapete drenante.  
 - Os caminhos das tubagens dos piezómetros pneumáticos nos aterros das fases anteriores de construção são traçados e título indicativo  
 - No CX26 está instalado um mecanismo de caudal de água que circula no mangue de protecção aos tubos hidráulicos do Pp53 e Pp54  
 - Neste Desenho estão indicadas as cotas da base dos parâmetros dos piezómetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório relativo final de construção.  
 - Quadro 6.3.10. Relatório nº 0  
 - Designação anterior: Perfil 20

<b>BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO</b>		ENGENHEIRO RESPONSÁVEL	
# FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 206		Nº de Projeto: 55.459.01/178	
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM PORTELA DO CORPO PRINCIPAL PERFIL PO8 - PK 1+446		Fases: 2887 Escala: 0000	
1000		30	

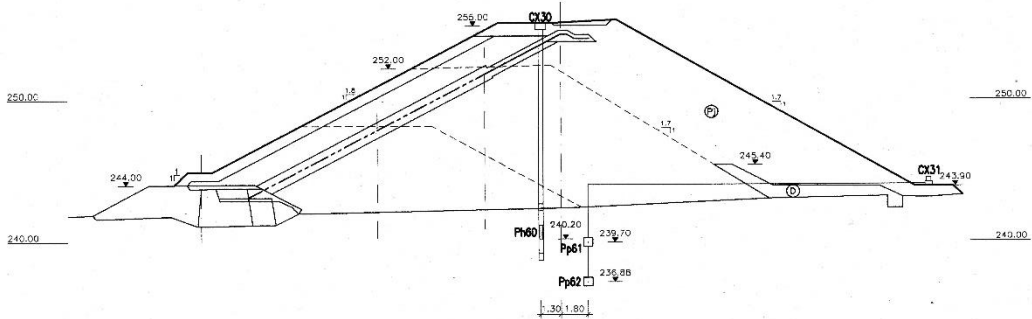
# ANEXO V: Perfil transversal do PO9 (ME1) e do PO10 (ME2A).



CAIXA	POSIÇÃO AO EIXO	APARELHO
CX27	PK 1+852	Ph55
CX28	PK 1+853	Ph54 E Ph57
CX29	PK 1+850	Pp58 E Pp59

NOTAS:  
 - Os caminhos das tubagens dos piezómetros pneumáticos nos alicerces das fases anteriores de construção são traçados a título indicativo.  
 - Neste Desenho estão indicados os cotas de base dos pontos dos piezómetros. Para informação mais pormenorizada consultar o Volume 6 do relatório relativo final de construção.  
 - Quadro E.3.1.1. Relatório nº11  
 - Designação anterior: Perfil 13

<b>SOMINICOR</b>		<b>BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO</b>		<b>Geotecnia</b>	
# FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 255					
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM				65.459.01/177	
PORTELA ME1				2658	
PERFIL PO9 - PK 1+852				0000	
1250				31	



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

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

<b>SOMINICOR</b>		<b>BARRAGEM DE REJEITADOS DO CERRO DO LOBO</b>		<b>Geotecnia</b>	
# FASE DA CONSTRUÇÃO - ALTEAMENTO PARA A COTA 255					
OBSERVAÇÃO DA BARRAGEM				65.459.01/178	
PORTELA ME2A				2659	
PERFIL PO10 - PK 2+335				0000	
1250				32	

ANEXO VI: Gráficos dos piezômetros hidráulicos de tubo aberto (PCL)

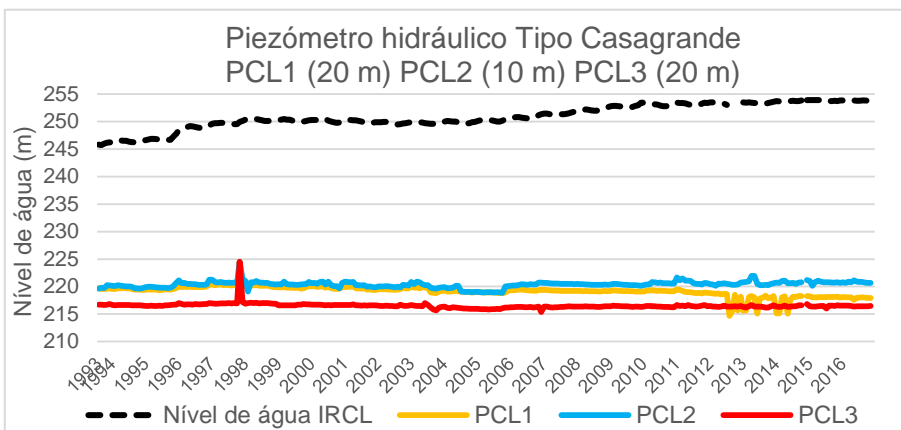


Gráfico 30: PCL1, PCL2 e PCL3 a jusante do Corpo Principal

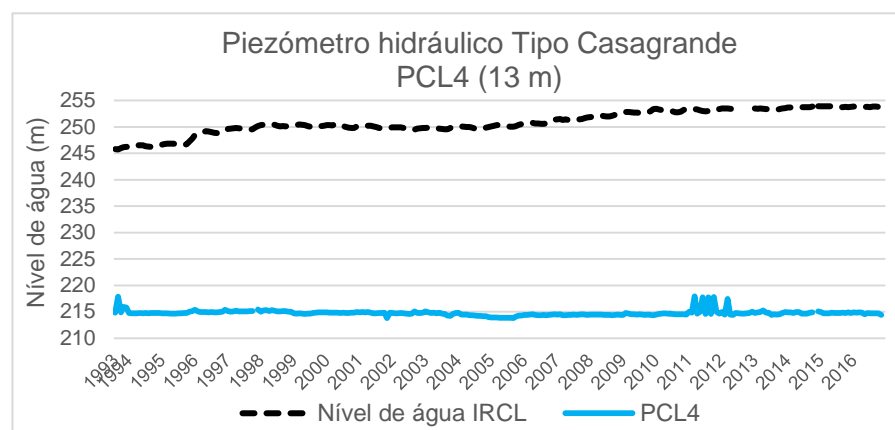


Gráfico 31: PCL4 a jusante do Corpo Principal.

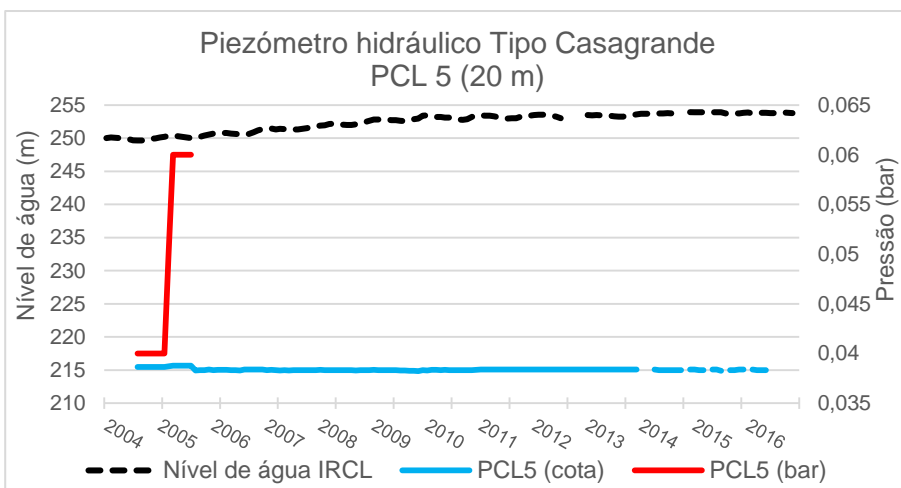


Gráfico 32: PCL5 a jusante do Corpo Principal.

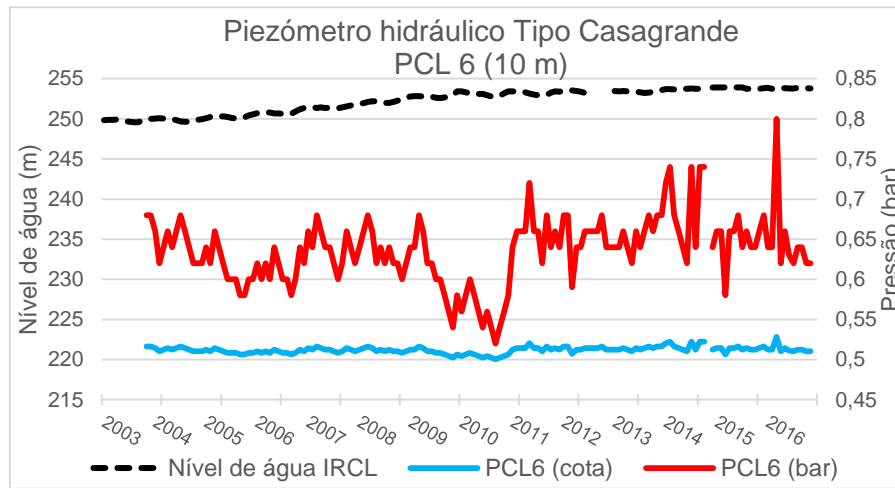


Gráfico 33: PCL6 a jusante do Corpo Principal.

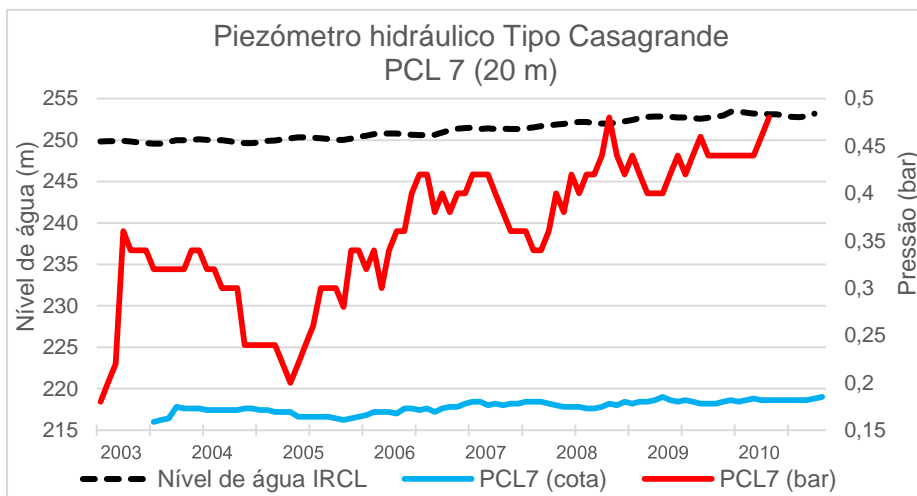


Gráfico 34: PCL7 a jusante do Corpo Principal.

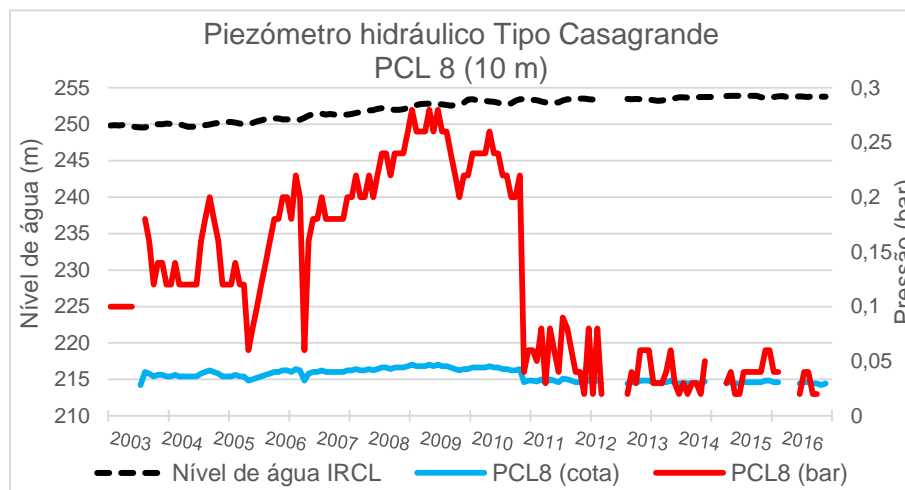


Gráfico 37: PCL10 a jusante do Corpo Principal.

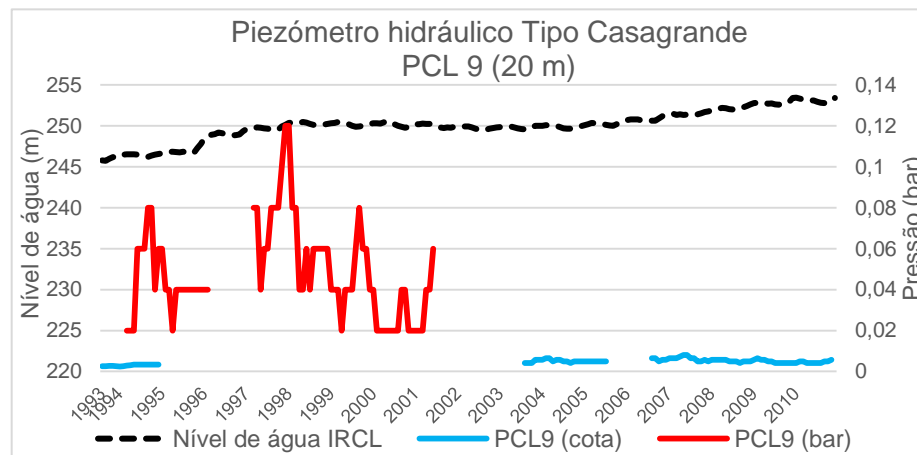


Gráfico 36: PCL9 a jusante do Corpo Principal.

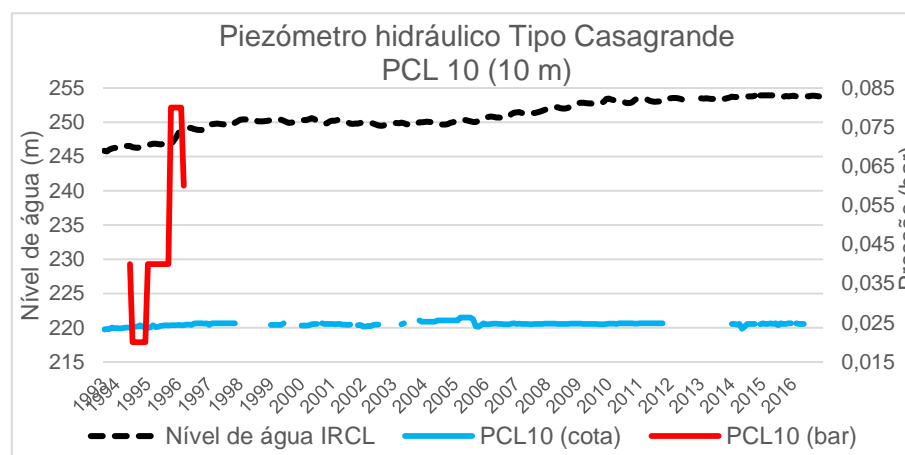


Gráfico 35: PCL8 a jusante do Corpo Principal.



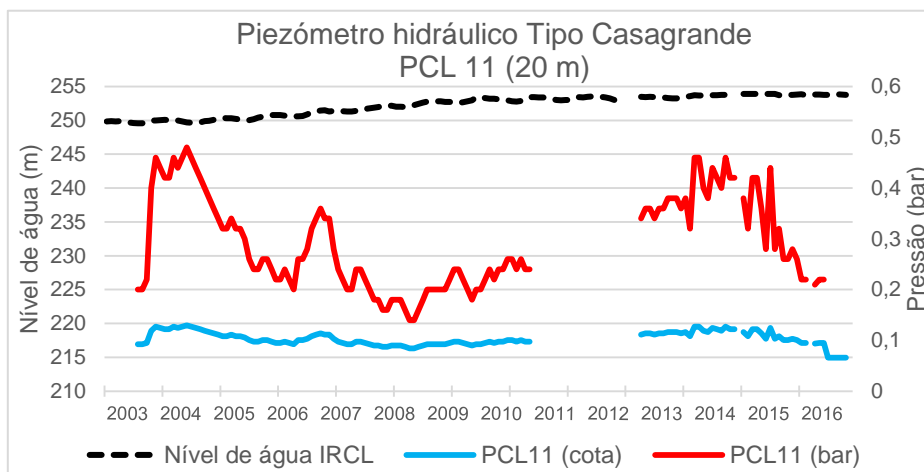


Gráfico 38: PCL11 a jusante do Corpo Principal

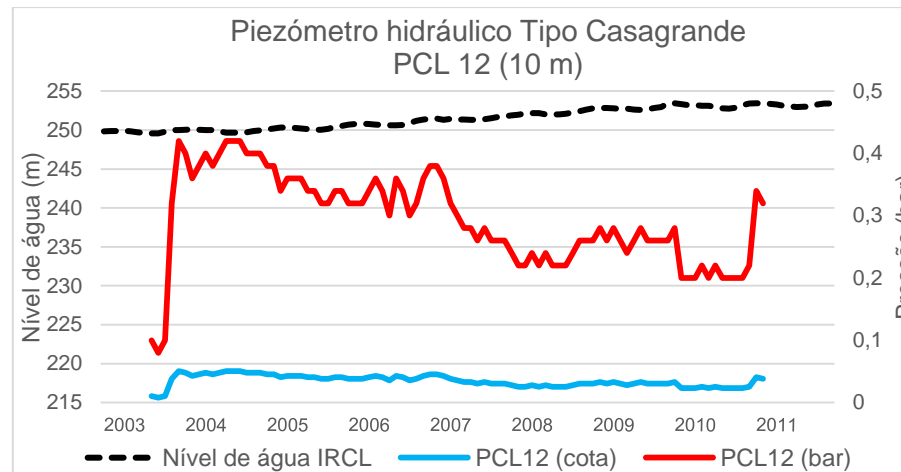


Gráfico 41: PCL14 a jusante da portela ME1.

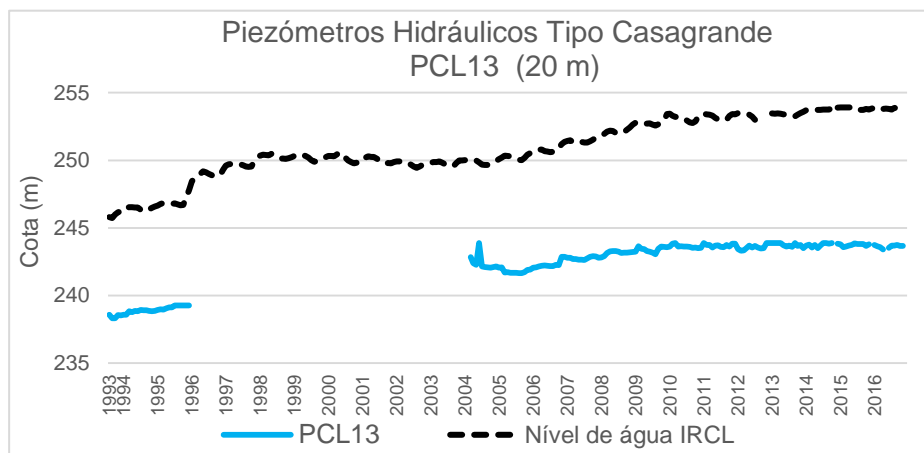


Gráfico 40: PCL13 a jusante da portela ME1.

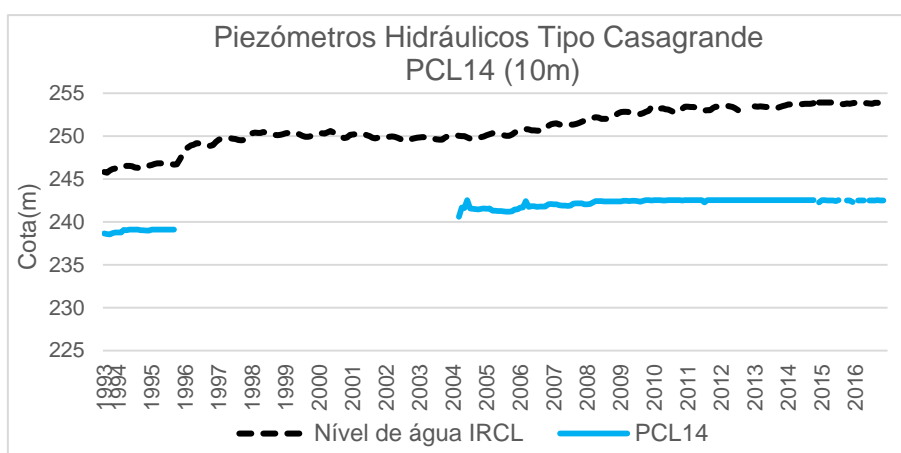


Gráfico 39: PCL12 a jusante do Corpo Principal.

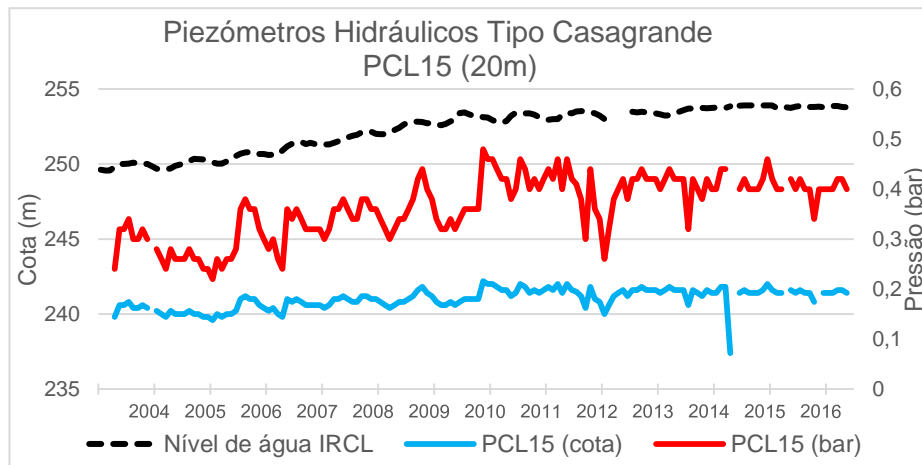


Gráfico 42: PCL15 a jusante da portela ME1.

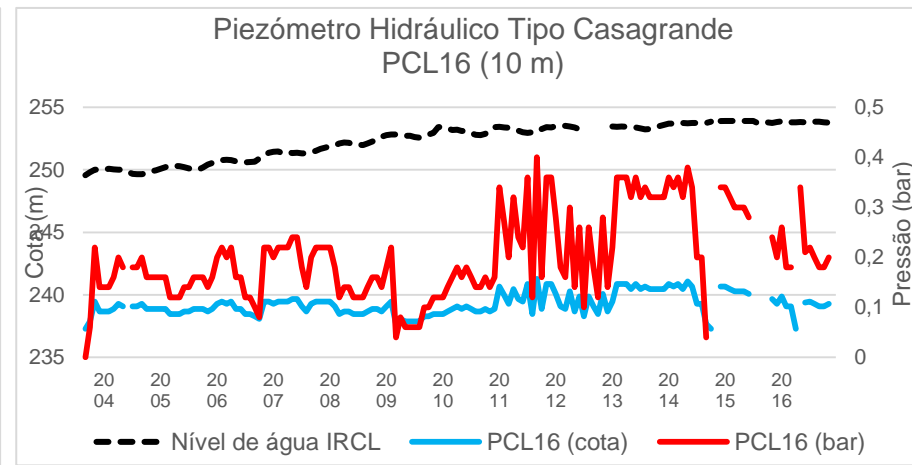


Gráfico 43: PCL16 a jusante da portela ME1.

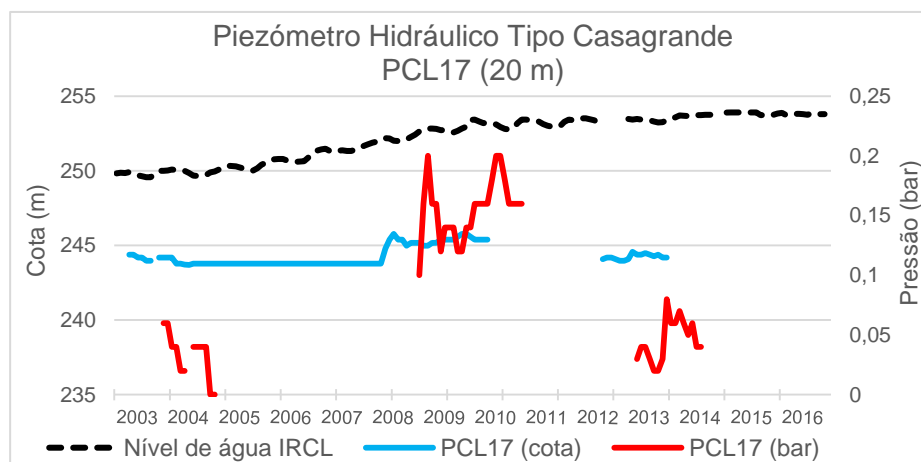


Gráfico 44: PCL17 a jusante da portela ME1

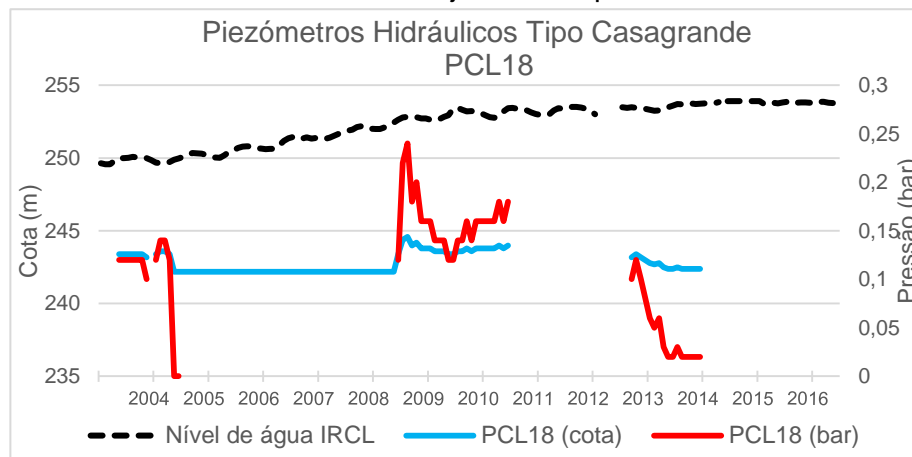


Gráfico 45: PCL18 a jusante da portela ME1.

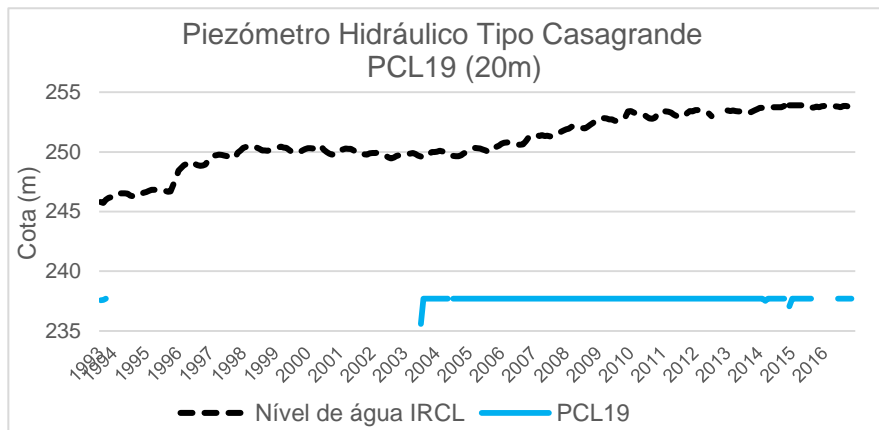


Gráfico 46: PCL19 a jusante da portela ME1.

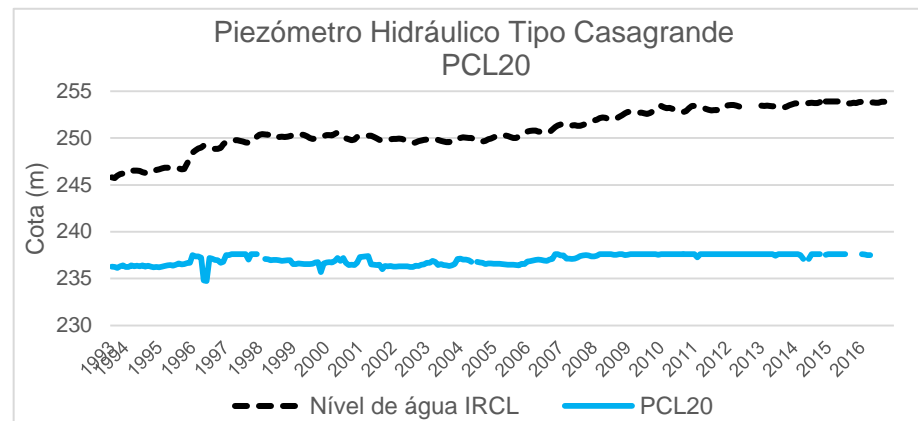


Gráfico 47: PCL20 a jusante da portela ME1.

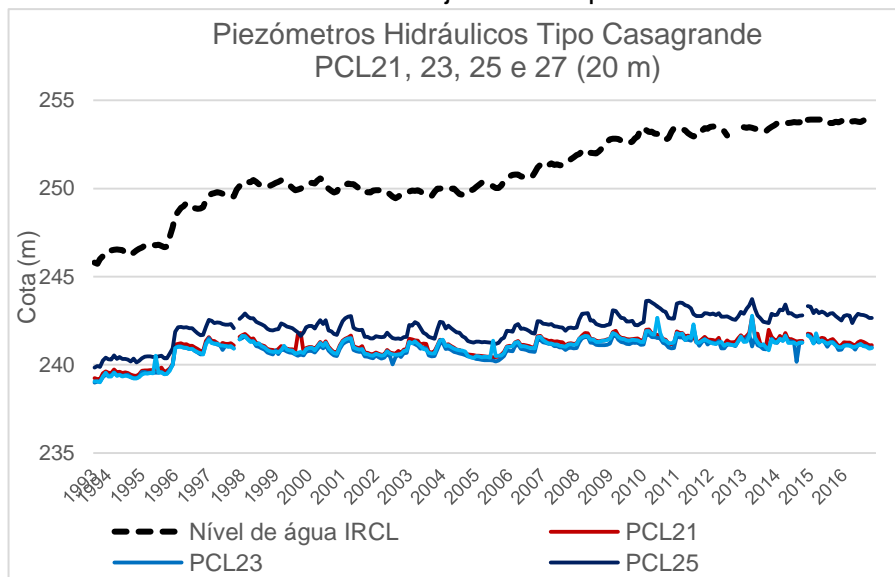


Gráfico 48: PCL21, 23, 25 e 27 a jusante da portela ME2A.

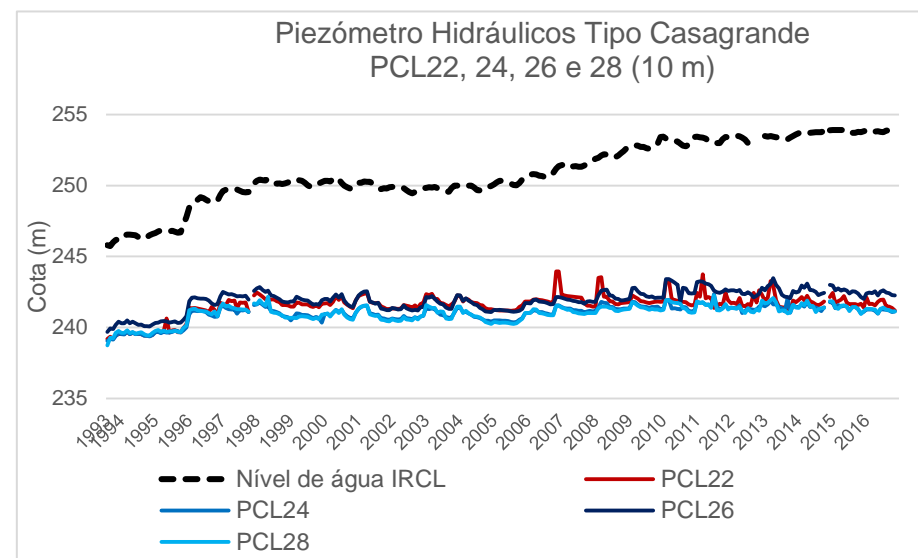


Gráfico 49: PCL22, 24, 26, 28 a jusante da portela ME2A.

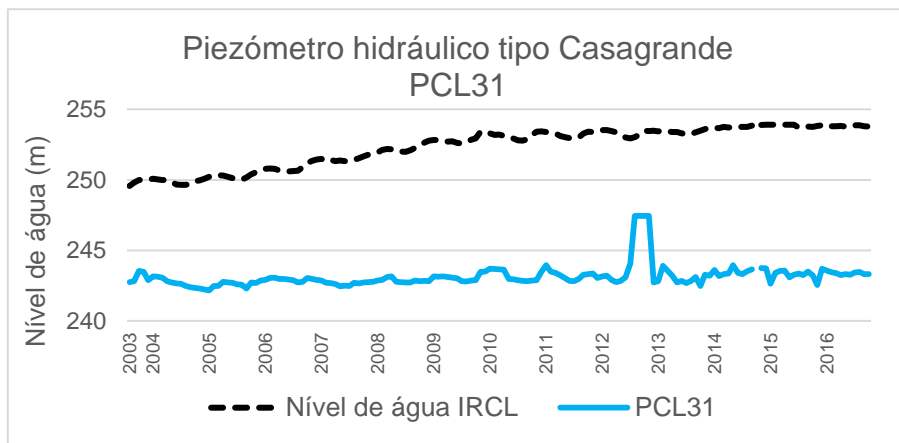


Gráfico 50: PCL31 a jusante da Portela do Corpo Principal.

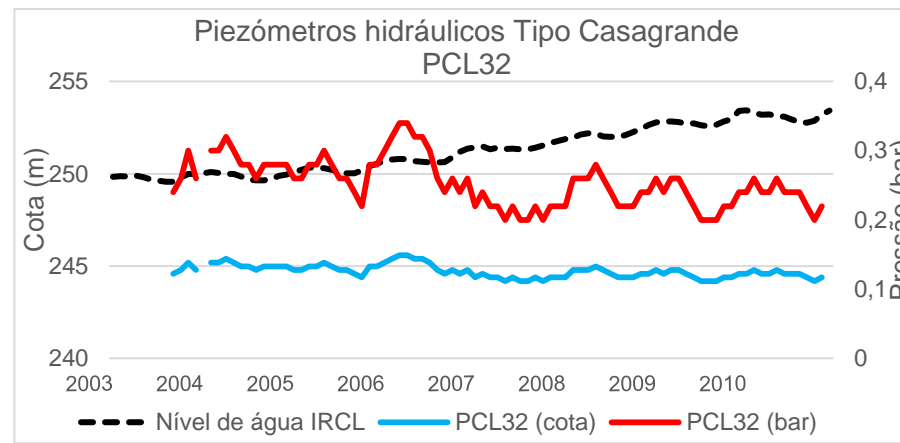


Gráfico 51: PCL32 a jusante da portela ME2A.

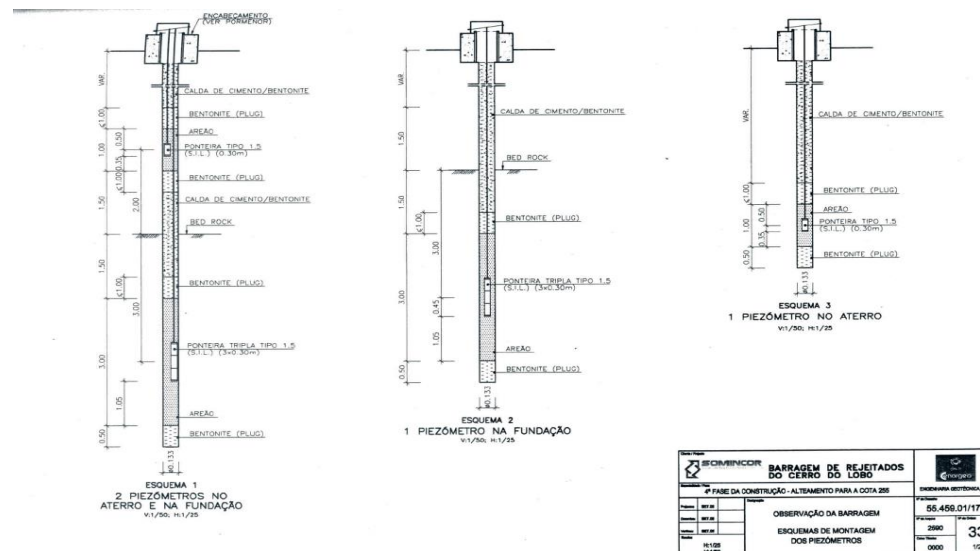


Figura 31: Esquema de montagem dos piezômetros (CENORGE, 2005b)