

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Segurança de Barragens: Análise da Instrumentação da
Barragem de Itaúba**

Camila de Souza Dahm Smiderle

Porto Alegre
2014

Camila de Souza Dahm Smiderle

**SEGURANÇA DE BARRAGENS: ANÁLISE DA
INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM DE ITAÚBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

Porto Alegre

2014

CAMILA DE SOUZA DAHM SMIDERLE

**SEGURANÇA DE BARRAGENS: ANÁLISE DA
INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM DE ITAÚBA**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelos orientadores e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 14 de outubro de 2014.

Prof. Luiz Antônio Bressani
PhD pelo Imperial College de Londres
orientador

Prof. Marcelo Giulian Marques
Dr pela Université Laval
Co-orientador

Prof. Armando Miguel Awruch
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)
Dr. em Eng., Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Prof. Paulo Teixeira da Cruz (USP)
DSc, Universidade de São Paulo e
Pós-doutorado pelo Imperial College

Prof. Osmar Gustavo Wöhl Coelho (UNISINOS)
Doutor em Ciência do Solo/UFRGS e ITC-Holanda

Dedico este trabalho aos profissionais e professores que,
de diversas maneiras, colaboraram para todo
conhecimento adquirido.

AGRADECIMENTOS

Aos professores orientadores Luiz Antonio Bressani e Marcelo Giulian Marques pelas discussões, sugestões e tempo dedicado a me auxiliar.

À Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT) pelo apoio, confiança e por permitir o acesso a todos os documentos necessários para esta pesquisa. Aos colegas, pelo ótimo ambiente, em especial ao colega de campo, Marcondes Muria Antunes, pela amizade e atenção que dispensou à Itaúba durante o período em que foi o responsável por sua manutenção. A meu chefe e colega Marcelo André Frantz por perceber a importância deste trabalho para a empresa e para meu desenvolvimento profissional.

Agradeço, especialmente, à estagiária Gabriele Angel Aguzzolli Santos por toda ajuda com as documentações da Barragem de Itaúba, discussões em torno do tema e conselhos. Sempre disposta e feliz por aprender.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por, mais uma vez, oportunizar estudo gratuito e de qualidade. À sociedade em geral que contribui com seus impostos, com este trabalho retribuo transmitindo o conhecimento adquirido.

Aos meus pais, por investir na educação de qualidade que eu e minhas irmãs tivemos.

Ao meu marido, Cleomar Smiderle, por me apoiar e compreender que o mestrado era muito importante para mim, e por isso, sacrificar finais de semana e noites juntos, foi necessário.

Às minhas amigas pelos momentos de distração que realmente precisava.

A todos os profissionais envolvidos com o projeto, construção e manutenção da Barragem de Itaúba, sem o registro feito por eles, este trabalho não teria sido possível.

E porque não agradecer à própria Barragem de Itaúba que, desde que visitei pela primeira vez, despertou em mim um amor incrível pela estrutura, e foi este sentimento que me estimulou a entender cada vez mais sobre sua origem e seu comportamento desde sua concepção.

Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.

Cora Coralina

RESUMO

SMIDERLE, C. de S.D. **Segurança de Barragens: Análise da Instrumentação da Barragem de Itaúba**. 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Neste trabalho foi feita a análise das leituras da instrumentação da barragem de terra e enrocamento de Itaúba, localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul, coletada ao longo de 35 anos. A auscultação por instrumentação atual inclui medidores de vazão, piezômetros, marcos de deslocamento superficial e medidor de recalque tipo KM, compondo um banco de dados de 10.000 dados de leitura. Foi observado que as vazões medidas através dos drenos de fundação da barragem reduziram pela metade desde o primeiro ano de operação da barragem até o final de 2013, embora os níveis piezométricos do sistema de drenagem à jusante não tenham sofrido alteração.

As vazões dos filtros inclinado e vertical são afetadas pelas chuvas, mesmo assim foi possível concluir que as vazões reduziram 1/3 em comparação com a vazão logo após o segundo enchimento do reservatório. A vazão pela barragem e fundação era de 1.800 l/min no primeiro ano de operação decrescendo para 930 l/min (dez / 2013).

Observou-se que até o fim do período construtivo já haviam ocorrido 101,75cm de recalque (92% de todo o recalque medido). Os recalques do núcleo estabilizaram entre o 5º e 10º ano de operação da barragem, isto é, desde 1988 a barragem não apresenta recalques significativos. O recalque total de Itaúba foi de 109,6cm que representa 1,2% da altura da seção onde o medidor de recalque está instalado. A análise permite concluir que a Barragem de Itaúba esta estabilizada quanto aos deslocamentos verticais e horizontais. Apesar de tratar-se de dados de leituras coletados desde 1976, as informações apresentadas aqui são de relevante interesse e ainda não haviam sido publicadas.

Palavras-chave: *Barragem de Itaúba; Instrumentação de auscultação, Barragem de terra e enrocamento.*

ABSTRACT

SMIDERLE, C. de S.D. **Safety of Dams: Analysis of Instrumentation of Itaúba Dam.** 2014. Civil Engineering Master's Thesis- Civil Engineering Postgraduate Programme, UFRGS, Porto Alegre.

In this work, the analysis of Itauba dam instrumentation is carried out. This earth and rock fill dam is located in the center of Rio Grande do Sul state and the readings cover its 35 years of operation. The current instrumentation includes flow meters, piezometers, surface displacement and settlements gauge type KM, composing a 10,000 reading database. It was observed that the flow rates measured through the dam foundation drains reduced to half since the first year of dam operation, although the piezometric levels of the downstream drainage system showed no significant change.

Flow rates of inclined and vertical filters are affected by the rains, even so it was still possible to conclude that the flows reduced circa of 1/3 compared to the flow after the second filling of the reservoir. The flow through the dam and foundation which was 1,800 l / min in the first year of operation decreased to 930 l / min (Dec / 2013).

It was observed that by the end of the construction period had occurred 101,75cm of settlement (92% of all the measured settlement). The settlement core stabilized between the 5th and 10th year of dam operation, that is, since 1988 the dam does not present significant settlements. The total discharge of Itaúba was 109,6cm representing 1.2% of the section height where repression meter is installed. The analysis shows that the Itaúba dam has stabilized its vertical and horizontal displacements.

Keywords: *Itaúba Dam; Instrumentation auscultation, Earth and Rock Fill Dams.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos.....	18
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	21
2.2	IMPORTÂNCIA DA INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS	27
2.3	TIPOS DE INSTRUMENTO.....	31
2.3.1	Medidores de Vazão.....	32
2.3.2	Medidores de Pressão	38
2.3.3	Medidores de recalque e deslocamento	51
3	METODOLOGIA.....	62
4	A BARRAGEM DE ITAÚBA	66
4.1	EMPREENDIMENTO.....	66
4.2	GEOLOGIA REGIONAL.....	69
4.3	GEOLOGIA LOCAL.....	69
4.4	CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM	72
4.4.1	Tratamento da fundação.....	72
4.4.2	Barragem de Terra e Enrocamento	74
4.4.3	Execução do Núcleo Impermeável.....	76
4.4.4	Execução das Camadas de Transição e Filtro	77

4.4.5	Execução do Enrocamento	79
4.5	INSTRUMENTAÇÃO NA BARRAGEM	82
5	INSTRUMENTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO E PRESSÃO.....	90
5.1	MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BARRAGEM DE ITAÚBA.....	90
5.1.1	Previsão inicial de percolação baseada em cálculo estimativo (1972 e 1973).....	91
5.1.2	Período Construtivo (1973 a 1978).....	93
5.1.3	Enchimento do reservatório (abril a agosto de 1978)	96
5.1.4	Comportamento da Barragem após 35 anos de operação (1978 à 2013).....	100
5.1.5	Comparativo das percolações em Itaúba com outras barragens brasileiras	106
5.2	MEDIÇÃO DE PRESSÕES NA BARRAGEM DE ITAÚBA	109
5.2.1	Previsões das Pressões em Itaúba (1972).....	110
5.2.2	Período Construtivo (1973 à 1978).....	111
5.2.3	Enchimento do reservatório (1978).....	114
5.2.4	Análise após 35 anos de operação (1978 a 2013)	116
6	DESLOCAMENTOS NA BARRAGEM DE ITAÚBA.....	120
6.1	PREVISÃO INICIAL DE RECALQUES	121
6.2	PERÍODO CONSTRUTIVO	124
6.3	ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	128
6.4	PERÍODO OPERACIONAL	134
6.4.1	Análise dos recalques no núcleo de argila	135
6.4.2	Análise dos recalques no enrocamento de jusante	139
6.4.3	Análise dos deslocamentos Horizontais no enrocamento de jusante.....	145
7	CONCLUSÃO.....	153
7.1	CONCLUSÕES QUANTO ÀS PERCOLAÇÕES E PRESSÕES NA BARRAGEM DE ITAÚBA.....	153

7.2	CONCLUSÃO QUANTO AOS DESLOCAMENTOS NA BARRAGEM DE ITAÚBA	155
7.2.1	Recalques no núcleo:.....	155
7.2.2	Deslocamentos do enrocamento à jusante.....	156
7.3	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	157
	REFERÊNCIAS	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ruptura x Idade da barragem (baseado em: Boletim 99-ICOLD 1995).....	22
Figura 2: Acidentes com barragens por década (baseado em: Zuffo, 2005).....	23
Figura 3: Causas de rompimento em barragens de terra e enrocamento (baseado em: Boletim 99 ICOLD 1995).....	24
Figura 4: Histórico de legislação sobre segurança de barragens nos EUA e Europa.....	25
Figura 5: Medidor de vazão na barragem de Canastra.....	37
Figura 6: Medidor de vazão triangular no túnel da barragem de Itaúba.....	37
Figura 7: Medidor de vazão retangular no túnel da barragem de Itaúba.....	37
Figura 8: Medidor de Vazão trapezoidal na barragem Dona Francisca.....	38
Figura 9: Representação esquemática dos esforços hidrostáticos atuantes em uma barragem	39
Figura 10: Solo sob condições geostáticas.....	40
Figura 11: Perfil geotécnico de um solo saturado.....	41
Figura 12: Perfil geotécnico com nível d'água abaixo do nível do terreno.....	42
Figura 13: Perfil de solo submerso.....	43
Figura 14: Células de tensão total instaladas em argila compactada e detalhe de uma célula	45
Figura 15: representação da geração de poropressão positiva durante a construção.....	47
Figura 16: Detalhe de um marco de deslocamento (Fonte: Projeto Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-86/1975).....	57
Figura 17: Tubo do tubo guia do inclinômetro e Aparelho de medição.....	58
Figura 18: Medidor de recalque tipo KM com tubos telescópicos (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-38/1974) e Instalação da 1ª placa do medidor de recalque KM da Barragem de Itaúba (15/06/1976).....	60
Figura 19: Perspectiva interna da caixa sueca e detalhe de instalação no enrocamento (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-40/1974).....	61
Figura 20: Material catalogado e consultado na usina de Itaúba.....	63
Figura 21: Localização do aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba.....	66
Figura 22: Vista de montante do Rio Jacuí antes da construção da Barragem (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, 1972) e Arranjo geral do complexo Itaúba (Fonte: Google Earth, 2012).....	67
Figura 23: Desvio do Rio Jacuí para construção da Barragem (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, 1973) e Comporta de fechamento para enchimento do reservatório (Fonte: cedido Vitor Dahm, 1978).....	68
Figura 24: Vista da ombreira direita da barragem e detalhe do basalto amigdaloidal situado nas cotas 141 a 174 (Fonte: arquivo técnico de Itaúba, 1975).....	71
Figura 25: Derrames basálticos no local da barragem de Itaúba. Vista de Jusante (Fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-03-63, adaptado).....	71
Figura 26: Fundação da barragem com fissuras e percolações (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, março/1976) e tratamento da ombreira esquerda por gunitagem e concreto projetado na região do núcleo (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, setembro/1976).....	73
Figura 27: Seção transversal da Barragem de Itaúba na estaca 11 (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-62/1974 - adaptado).....	75
Figura 28: Detalhe das camadas de transição (Fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-02/1977).....	78
Figura 29: Execução das transições e núcleo da Barragem de Itaúba (17/05/1976).....	79
Figura 30: Vista do pé da barragem e localização dos medidores de vazão.....	91
Figura 31: Drenos e piezômetros no pé da barragem e ombreira direita.....	94
Figura 32: Drenos e piezômetros no pé da barragem e ombreira esquerda e detalhamento do dreno.....	94
Figura 33 Drenos e piezômetros da ombreira direita e resultado do ensaio de perda d'água ..	95

Figura 34: Drenos e piezômetros da ombreira esquerda e resultado do ensaio de perda d'água	96
Figura 35: Drenos projetados PA-26A, 25A e 24A para rebaixamento do nível piezométrico na ombreira direita.....	97
Figura 36: Comportamento da linha d'água perante o enchimento do reservatório	98
Figura 37: Vazões à jusante da Barragem durante a execução do plug	99
Figura 38: Situação da drenagem após 2º enchimento do reservatório e em dezembro de 2013.	101
Figura 39: Gráfico de vazão total dos poços de alívio com artesianismos à jusante da Barragem de Itaúba.....	103
Figura 40: Surgência junto ao PA-27 e medidor de vazão de monitoramento da surgência e vazão do dreno PA-26	104
Figura 41: Medidores de vazão na barragem (1979 a 2013) x Pluviometria e Nível do Reservatório.....	105
Figura 42: Vazão específica x altura máxima (Silveira 2006 adaptado).....	107
Figura 43: Ensaio de recuperação de nível d'água nos piezômetros PJ-2, 4 e 5	113
Figura 44: Leitura dos piezômetros à jusante da Barragem	117
Figura 45: Comportamento dos piezômetros e poços de alívio à jusante da barragem.....	119
Figura 46: Previsão de recalques na barragem	123
Figura 47: Distribuição das tensões (t/m ²) no final de construção da Barragem de Itaúba na estaca 12 (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-189/1978, adaptado)	125
Figura 48: Recalques (cm) no final de construção da Barragem de Itaúba na estaca 12 (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-189/1978, adaptado.	125
Figura 49: Medidas dos deslocamentos horizontais pelos inclinômetros na estaca 12 –(final de construção).....	127
Figura 50: Marco de referência localizado na ombreira esquerda da Barragem de Itaúba	128
Figura 51: Leitura das caixas suecas no final do período construtivo e 3 meses após o segundo enchimento do reservatório (18/10/1978).....	129
Figura 52: Recalques no núcleo da barragem fornecidos pelas leituras no medidor de recalque KM (estaca 12)	130
Figura 53: Leitura dos inclinômetros no final do período construtivo e 3 meses após o segundo enchimento do reservatório (18/10/1978)	132
Figura 54: Direção e Magnitude dos deslocamentos dos marcos da barragem resultantes do enchimento do reservatório	133
Figura 55: Recalques na Barragem de Itaúba desde o enchimento do reservatório	136
Figura 56: Recalques e taxas de recalque na seção 1	141
Figura 57: Recalques e taxas de recalque na seção 2	142
Figura 58: Recalques e taxas de recalque na seção 3	142
Figura 59: Recalques e taxas de recalque na seção 4	143
Figura 60: Recalques superficiais em 18 anos de operação – Análise por Seção	144
Figura 61: Deslocamentos dos marcos 1 a 3 – Seção 1 da Barragem de Itaúba	146
Figura 62: Deslocamentos dos marcos 4 a 7 – Seção 2 da Barragem de Itaúba	147
Figura 63: Deslocamentos dos marcos 8 a 11 – Seção 3 da Barragem de Itaúba	147
Figura 64: Deslocamentos dos marcos 12 a 15 – Seção 4 da Barragem de Itaúba	148
Figura 65: Direção e magnitude dos deslocamentos máximos em 5 anos de operação	149
Figura 66: Deslocamento acumulado nos primeiros 5 anos de operação.....	151

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1: Principais características da instrumentação de barragens de terra e enrocamento no Brasil.....	29
Quadro 2: Principais características da instrumentação de barragens de terra e enrocamento no Brasil (continuação).....	30
Quadro 3: Tipos de Medidores de Vazão	37
Quadro 4: Tipos de Medidores de Vazão (continuação)	38
Quadro 5: Tipos e descrição dos piezômetros	48
Quadro 6: Tipos e descrição dos piezômetros (continuação)	49
Quadro 7: Tipos e descrição dos piezômetros (continuação)	50
Quadro 8: Tipos de trincas em barragem.....	52
Quadro 9: Instrumentos para medição de deslocamento vertical e horizontal	54
Quadro 10: Instrumentos para medição de deslocamento vertical e horizontal (continuação)	55
Quadro 11: Instrumentos para medição de deslocamento vertical e horizontal (continuação)	56
Quadro 12: Descrição dos materiais utilizados na Barragem.....	75
Tabela 13: Parâmetros geotécnicos dos materiais do núcleo de Itaúba.....	76
Tabela 14: Resultados dos ensaios nas Britas 1 e 2 de Itaúba.....	79
Quadro 15: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba.....	83
Quadro 16: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba (Continuação).....	84
Quadro 17: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba (Continuação).....	85
Quadro 18: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba (Continuação).....	86
Quadro 19: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba (Continuação).....	87
Quadro 20: Histórico do estado de conservação da instrumentação na Barragem de Itaúba... ..	88
Quadro 21: Histórico do estado de conservação da instrumentação na Barragem de Itaúba (continuação)	89
Tabela 22: Comparação entre vazões de projeto e medidas em algumas barragens brasileiras de terra	108
Tabela 23: Comparação entre vazões de projeto e medidas na Barragem de Itaúba.....	108
Tabela 24: Poro-pressões previstas nas diversas camadas da Barragem de Itaúba.....	111
Tabela 25: Leitura dos piezômetros pneumáticos no enchimento do reservatório.....	115
Tabela 26: Previsão dos recalques na Barragem de Itaúba	122
Tabela 27: Recalques durante o período construtivo dados pelo medidor de recalque KM ..	126
Tabela 28: Recalques na Barragem de Itaúba medidos pelo Medidor de recalque KM	135
Tabela 29: Recalques totais observados em maciços compactados em barragens brasileira ..	137
Tabela 30: Recalques totais observados em maciços compactados em barragens brasileira (Continuação)	138
Tabela 31: Recalques acumulados no enrocamento de jusante.....	139
Tabela 32: Recalques acumulados no enrocamento de jusante (Continuação).....	140
Tabela 33: Taxa de recalque superficial (cm/mês) e velocidade média (cm/ano).....	141
Tabela 34: Deslocamentos acumulados no enchimento do reservatório em 5 anos de operação	150
Tabela 35: Velocidade média dos deslocamentos horizontais	151

LISTA DE SÍMBOLOS

CEEE-GT - Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens

CEMIG – Companhia Energética de Minas

CESP – Companhia Energética de São Paulo

cm – centímetros

γ_s – peso específico aparente seco máximo

g/cm³ - gramas por centímetro cúbico

GM - *Gravel Mod*

Ho – grau de umidade

Hot (%) – umidade ótima

IP (%) – índice de plasticidade

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

kg/cm² - quilograma por centímetro quadrado

kgf/cm² - quilograma força por centímetro quadrado

kN/m³ - quilonewton por metro cúbico

LL(%) – índice de liquidez

l/min - litros por minuto

l/min/m – litros por minuto por metro

m - metro

NA - Nível d'água

PN – Pressão neutra

σ_a - Tensão de pré-adensamento

σ_f - Tensão final do solo

σ_i - Tensão inicial do solo

u – Poro-pressão

ρ - Recalque

UHE – Usina hidrelétrica

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Na década de 70, acompanhando o crescimento econômico do Brasil, teve início um “boom” na construção de grandes barragens para aproveitamento hidrelétrico. Estas obras utilizaram toda a tecnologia de ponta existente na época e contaram com engenheiros consultores como Karl Terzaghi, Arthur Casagrande e Vitor de Mello. Como consequência, as grandes concessionárias de energia formaram um quadro técnico capacitado e experiente.

Hoje, as questões referentes à segurança de barragens no Brasil são tratadas pela Lei Federal 12.334, publicada em 20 de setembro de 2010. Esta lei busca, entre outros objetivos, garantir a observância de padrões de segurança de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências, regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas diversas fases de vida útil da barragem e promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens.

A publicação desta lei reforça a obrigatoriedade da manutenção das estruturas que até então dependia principalmente do interesse dos proprietários de barragem em preservar seu patrimônio, a continuidade de seu negócio e a segurança da população.

Esta nova lei reabre um campo de trabalho pouco explorado pela engenharia geotécnica atual. Este trabalho vai exigir conhecimento dos novos engenheiros consultores que devem buscá-lo através de livros, congressos relativos ao tema e, se tiverem oportunidade, junto aos engenheiros que trabalharam na construção das grandes obras. Em muitos casos, essa busca também é possível através dos arquivos históricos das estruturas (relatórios, projetos, laudos, ensaios, etc.) quando poderá ser montado um diagnóstico histórico do comportamento da estrutura a ser observada/mantida.

A manutenção das barragens geralmente inicia com o monitoramento periódico realizado através de inspeções visuais e leitura de instrumentações, quando existentes. Este monitoramento, especialmente através da leitura da instrumentação, visa analisar sistematicamente os dados e informações relevantes para adoção de medidas preventivas e

corretivas em tempo hábil. O histórico montado através dos dados de leituras da instrumentação possibilita a realização de comparativos do comportamento da barragem nas suas diversas fases de vida útil.

A elaboração desse histórico, de extrema importância, somente é possível a partir da confecção de um banco de dados de leituras organizado e completo, que contenha todas as informações desde a época da construção e o registro de todas as leituras executadas. Este trabalho pode ser uma tarefa difícil quando o registro dessa memória técnica não é feito ou as informações são em quantidade excessiva, sem análise ou estão desorganizadas e arquivadas em locais distintos ou desconhecidos. Este tipo de problemas pode ocorrer por motivos como: (a) troca de proprietário ou perda de concessão para operação e manutenção de determinado empreendimento; (b) substituição ou desligamento de funcionários responsáveis pela tarefa de coleta e arquivamento de dados; (c) documentos arquivados de forma inadequada (extravio ou danificação); (d) perda dos documentos por inundação, incêndio ou outras causas.

Na Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (CEEE-GT), por exemplo, este tipo de problema ocorreu após o ano de 1997. Com a privatização parcial da empresa em 1997, grande parte dos funcionários que trabalharam na construção das barragens da Companhia e que faziam o monitoramento no período operacional, se aposentaram. Com isto, além de parte da memória técnica ter se perdido, documentações tais como relatórios, plantas e desenhos de projeto e dados de leitura da instrumentação foram arquivados em diversos locais (sede em Porto Alegre, nas próprias usinas ou nas sedes no interior do estado).

A partir do ano de 2006 novos engenheiros ingressaram na empresa e desde então os trabalhos de monitoramento das barragens estão sendo retomados, recebendo ainda mais importância após a publicação de Lei Federal 12.334/2010. Infelizmente não ocorreu uma transição de conhecimento da geração de engenheiros mais antiga para a nova geração, sendo necessária a busca do conhecimento do histórico técnico das barragens através das documentações disponíveis.

Uma das barragens cuja história está sendo pesquisada é a barragem de terra e enrocamento da Usina Hidrelétrica de Itaúba, a maior usina em potencial elétrico sob concessão da CEEE-GT. A Barragem de Itaúba foi selecionada para ser o estudo de caso desta dissertação de mestrado por possuir instrumentação de monitoramento diversificada e vários documentos de projeto, relatórios e ensaios detalhados (nas sedes da CEEE-GT e na usina) disponibilizados para pesquisa.

Durante a pesquisa para esta dissertação de mestrado, foi feito o resgate e a organização do histórico de dados de mais de 35 anos, incluindo boletins de leitura de instrumentação, inspeções de campo, ensaios, especificações e relatórios. A dissertação apresenta a metodologia utilizada para coleta e tratamento dos dados de leitura da instrumentação, descrição das ocorrências da obra e a relação com o observado nas inspeções visuais de campo realizadas recentemente. Foram produzidos gráficos com os dados de leitura de alguns instrumentos, o que possibilitou uma análise inicial das condições em que a barragem e a instrumentação operante encontram-se atualmente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar os resultados da pesquisa do comportamento histórico de uma barragem do tipo terra e enrocamento possibilitando a definição do referencial de comportamento da estrutura.

O estudo foi realizado a partir da análise detalhada do projeto, relatórios de obra e dos dados da instrumentação geotécnica em operação na barragem de Itaúba, permitindo a comparação entre as premissas de projeto e as leituras históricas da instrumentação. Isto permitirá eventuais reorientações para novos projetos de barragens do tipo terra enrocamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Conhecer em detalhes o projeto da barragem construída e melhor definir os parâmetros de segurança da estrutura e a relação com a configuração final da barragem;
- b) Entender o funcionamento da instrumentação de barragens, como os dados são interpretados e quais padrões devem ser esperados da instrumentação instalada;
- c) Montar o histórico da Barragem de Itaúba através da organização de toda documentação disponível desde a época da construção até hoje, com o objetivo de relacionar o motivo pelo qual cada instrumento foi instalado em sua posição específica, os ensaios realizados, os resultados e a implicação no projeto;
- d) Conhecer a caracterização geológico-geotécnica do local, materiais utilizados na construção e anomalias identificadas nas inspeções visuais;

- e) Construir os gráficos das instrumentações operantes na barragem de terra e enrocamento de Itaúba, a saber: piezômetros Casagrande, medidor de vazão, medidor de recalque tipo KM e marcos topográficos, desde o período construtivo até os dias atuais. O intuito é fazer um diagnóstico preliminar do estado atual da barragem e de sua instrumentação;
- f) Verificar a instrumentação quanto à provável colmatação de drenos e do filtro e a possível identificação deste fenômeno através da leitura dos piezômetros;
- g) Identificar a inter-relação das leituras dos instrumentos com algumas anomalias observadas em campo, incidentes ocorridos na barragem e geologia local;
- h) Comparar os dados de leituras da Barragem de Itaúba com os dados de barragens brasileiras com configuração semelhante com o intuito de identificar se o comportamento é similar;
- i) Verificar quais instrumentos estão funcionando de maneira satisfatória, isto é, ainda fornecem subsídios para análise global da segurança da barragem.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 1 – Introdução - apresenta-se a justificativa e a importância do tema em pauta, os objetivos da dissertação e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 refere-se à revisão bibliográfica. Esse capítulo está dividido em três partes.

A primeira trata de dados estatísticos de histórico de rompimentos de barragens, regulamentações nacionais e internacionais relativas ao tema segurança de barragens e citam-se diversos trabalhos já estudados relativos à coleta de dados de barragens para estudos específicos. Na segunda parte, descreve-se a importância da análise da instrumentação de monitoramento de barragens. Na terceira parte descrevem-se os tipos e características de instrumentos existentes para monitoramento de percolações, pressão, recalques e deslocamentos.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada para confecção desta dissertação de mestrado.

No capítulo 4 apresenta-se a barragem de Itaúba. Nesse capítulo é onde se expõem os aspectos gerais da barragem, arranjo geral, descrição do projeto, sequência executiva, ensaios realizados, condicionantes geológicos e detalhes da instrumentação.

No capítulo 5 discute-se a instrumentação de vazão e poropressão. Este capítulo é dividido em duas partes. A primeira trata da medição de vazão na barragem de Itaúba, onde é apresentada a previsão das percolações, o monitoramento durante o enchimento do reservatório e o resultado após 35 anos de operação. Ao final, faz-se um comparativo das percolações na Barragem de Itaúba com as ocorrências em barragens brasileiras semelhantes. Na segunda parte é apresentada a memória de cálculo das poro-pressões, comportamento durante a construção e enchimento do reservatório e após 35 anos de operação da barragem.

O capítulo 6 também é subdividido em dois. Semelhantemente ao descrito no capítulo anterior, a mesma análise é feita para os deslocamentos e recalques da barragem.

Por fim, no capítulo 7 apresenta-se a conclusão da dissertação, encerrando com a descrição do estado geral da estrutura baseado na análise da instrumentação feita nos capítulos anteriores. Sugerem-se, ao final do capítulo, as pesquisas que poderão ainda ser desenvolvidas considerando a completa base de dados da Barragem de Itaúba apresentada nesta dissertação.

No Anexo I, apresenta-se a descrição dos derrames basálticos na área da barragem de Itaúba e no Anexo II estão contidos os gráficos e planilhas de leitura da instrumentação de Itaúba não apresentados no corpo da dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SEGURANÇA DE BARRAGENS

“Até a década de 1960, o enfoque dado a projetos e construção de barragens de terra e enrocamento não levava em consideração informações de eventuais problemas e suas respectivas causas em obras similares. Entretanto, com a crescente experiência dos engenheiros e com problemas ocorridos durante e após a conclusão dessas obras, passou-se a valorizar a etapa de projeto e estudos de retroanálise”. (Ladeira, 2007)

A afirmação acima é facilmente evidenciada pelo número de acidentes em barragens ocorridos desde o início do século XX. Com o crescimento do número de barragens construídas e o natural envelhecimento das já existentes, a tendência é que aumentasse também a quantidade de barragens que apresentariam comportamento deficiente, porém, felizmente, a engenharia tem se desenvolvido de modo que os rompimentos de barragens não têm aumentado na mesma proporção.

De acordo com o Boletim 99 (ICOLD, 1995), cerca de 2,2% de todas as barragens construídas até 1950 romperam e apenas 0,5% das que foram construídas após este período. Esses percentuais referem-se a 117 barragens que romperam das 5.268 construídas até 1950, e 59 das 12.138 construídas entre 1951 e 1986. Esses dados excluem a China, onde cerca de 3.200 barragens romperam desde 1950, o que representa 4% das 80.000 barragens cadastradas (Zuffo, 2005).

Como publicação nacional, pode-se destacar o "Cadastro Brasileiro de Deteriorações de Barragens e Reservatórios" (CBDB, 1995) que apresenta 140 casos de deteriorações ou acidentes em barragens e reservatórios brasileiros, além da descrição das soluções adotadas para a recuperação.

Quando verificados dados de rompimento de barragens pela altura das mesmas, Zuffo (2005) cita que as barragens que mais sofreram falhas foram as de altura entre 11 e 20 metros (27 %

do total). As barragens acima de 81 metros de altura correspondem à menor porcentagem de acidentes (cerca de 4%), provavelmente devido a um monitoramento mais frequente e eficiente, além de, a grande maioria possuir instrumentação de monitoramento e regras de manobras de vertedouros definidas e detalhadas.

Quando comparados os dados de rompimento de barragens com a idade (Figura 1), conclui-se que a maioria dos rompimentos está associada àquelas com menos de 10 anos de construção, sendo este período considerado crítico para as estruturas, pois é quando sofrem os primeiros carregamentos, pressões e deslocamentos. Quanto mais antiga a barragem, menor é o número de casos de rompimento.

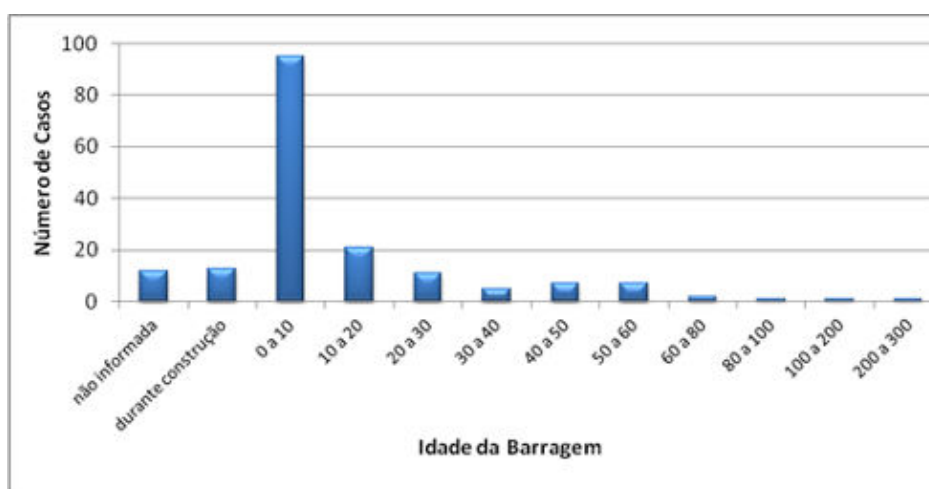


Figura 1: Ruptura x Idade da barragem (baseado em: Boletim 99-ICOLD 1995)

Por outro lado, o fato de uma barragem estar em operação há longo tempo não é garantia de sua segurança, já que tanto a barragem quanto sua fundação estão sujeitas a um lento processo de deterioração devido a diversos fatores, tais como variações de temperatura, alterações físico-químicas, reações álcali-agregado e os ciclos de enchimento e esvaziamento (Pierre, 2003).

Um bom exemplo disso foi o ocorrido na barragem de Bennett, localizada na província de British Columbia, na costa oeste canadense. Silveira (2006) relata que, em junho de 1996, após 28 anos de operação normal, a barragem sofreu um afundamento na crista (*sinkhole*). O reservatório foi rebaixado e uma extensa investigação foi feita. As verificações revelaram que os 2 *sinkholes* estavam associados à instalação de tubulações de topografia colocadas durante a construção em ambas as ombreiras da barragem. Durante os 28 anos de operação da barragem, a baixa compactação do material no entorno das tubulações permitiu a ocorrência

de certo fluxo d'água vertical favorecendo o carreamento dos finos no entorno e resultando na formação dos afundamentos.

Alterações nas barragens também podem ocorrer devido fatores externos, mesmo após muitos anos de operação. A barragem em arco de Zeuzier, na Suíça, com 156 metros de altura, apresentava comportamento normal após 21 anos de operação, quando, em 1978, os pêndulos diretos passaram a indicar deslocamentos que ultrapassaram os valores elásticos normalmente observados. A crista começou a apresentar deslocamento para montante mesmo com reservatório cheio e as medições geodésicas indicavam um movimento de aproximação das ombreiras. Descobriu-se que o problema estava associado à escavação de um túnel rodoviário afastado 1.400m da barragem. A barragem encontra-se em operação normal após a paralisação da construção do túnel e a execução de obras de reparo (Silveira et al., 1996).

Ainda em relação às estatísticas de rompimento de barragens, a década mais marcada pelos acidentes graves com barragens foi a de 60 (Figura 2), devido ao aumento na altura das barragens construídas. Nas décadas de 70, 80 e 90, falharam devido ao envelhecimento das estruturas construídas ao longo do século XX, e antes de 1900, pode-se esperar que as falhas se dessem devido a uma técnica construtiva deficiente (Zuffo, 2005).

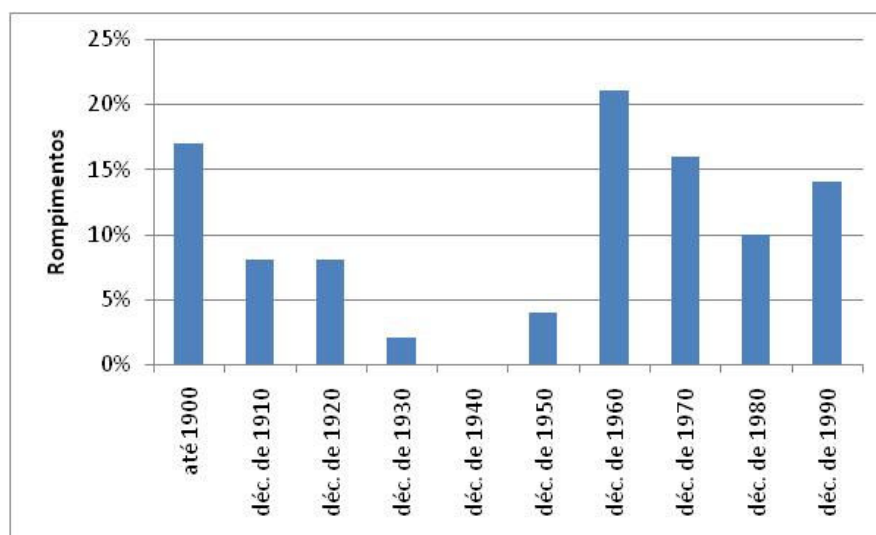
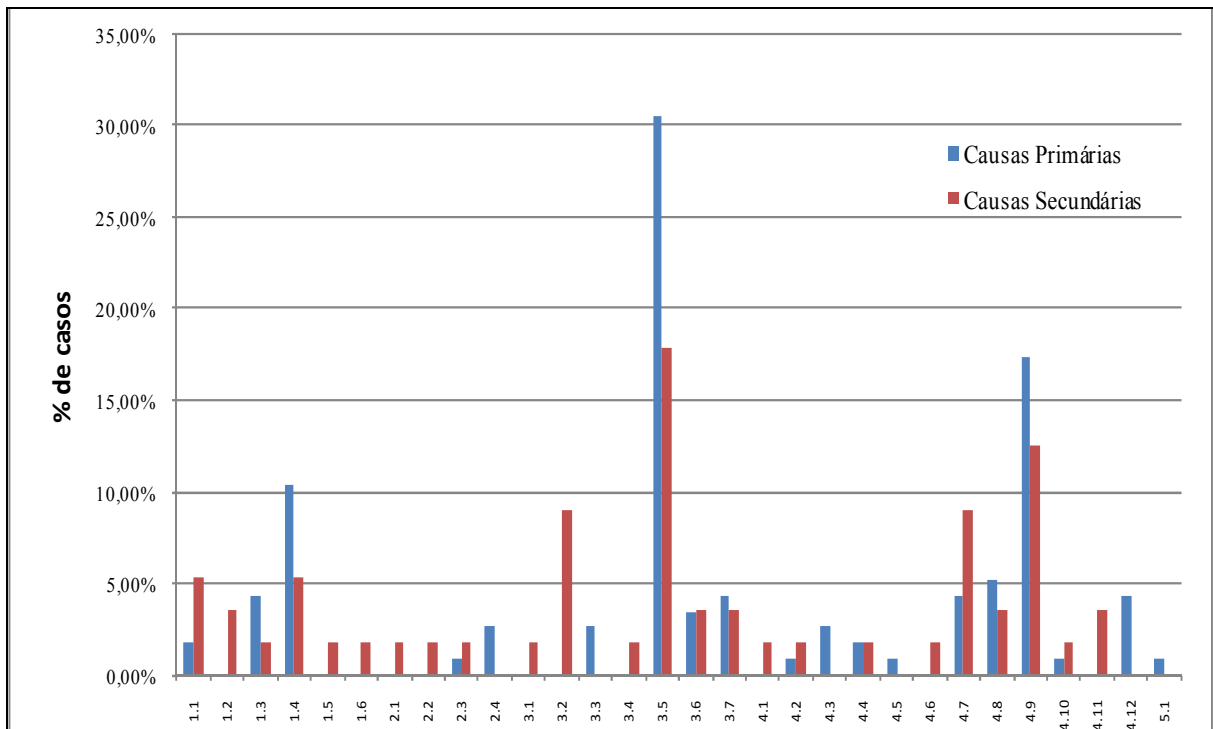


Figura 2: Acidentes com barragens por década (baseado em: Zuffo, 2005)

Zuffo (2005) afirma que as barragens que estão mais sujeitas a falhas são as de terra (39%), seguidas pelas de enrocamento (18%). O Boletim 99 (ICOLD,1995) apresenta uma relação das causas de acidente em barragens de enrocamento (Figura 3) sendo as principais o galgamento, seguido por erosão interna do corpo da barragem e erosão interna da fundação.



DESCRIÇÃO DAS CAUSAS					
1	Patologias na fundação	3	Ocorrências excepcionais	4	Comportamento estrutural da barragem
1.1	Deformação do solo	3.1	Pressão hidrostática e por acumulação de sedimentos	4.1	Núcleo impermeável
1.2	Cisalhamento	3.2	Precipitação	4.2	Outros sistemas estanques
1.3	Infiltração	3.3	Terremotos	4.3	Zona de transição
1.4	Erosão interna	3.4	Forte explosão nas proximidades	4.4	Proteção de encostas
1.5	Tratamento falho	3.5	Galgamento	4.5	Zona entre maciço e estrutura
1.6	Deslizamento de terra	3.6	Ruptura da barragem à montante	4.6	Movimento diferencial
		3.7	Atraso na construção	4.7	Rachaduras no corpo
2	Patologias no corpo da barragem			4.8	Infiltração
2.1	Argilas dispersivas			4.9	Erosão interna no maciço
2.2	Siltes e areia finas uniformes			4.10	Liquefação
2.3	Comporta	5	Manutenção	4.11	Deslizamento a jusante
2.4	Compactação	5.1	Barragem demolida para evitar galgamento	4.12	Rompimento de conduto dentro do maciço

Figura 3: Causas de rompimento em barragens de terra e enrocamento (baseado em: Boletim 99 ICOLD 1995)

A maioria das ruínas ocorridas em barragens provavelmente poderiam ter sido evitadas, caso o comportamento dessas estruturas tivessem sido inspecionados, monitorados e analisados continuamente e se medidas corretivas tivessem sido adotadas a tempo. Sabendo-se então da probabilidade de ruptura de uma barragem e do alto impacto que este evento terá a jusante, deve-se estudar como este risco pode ser reduzido.

De uma maneira geral, no mundo todo, regulamentos e legislações relativas à segurança de barragens só são estabelecidos após algum acidente que sensibilize a opinião pública. Na Figura 4 apresenta-se um resumo histórico de alguns incidentes e legislações referentes à segurança de barragens nos Estados Unidos e Europa.

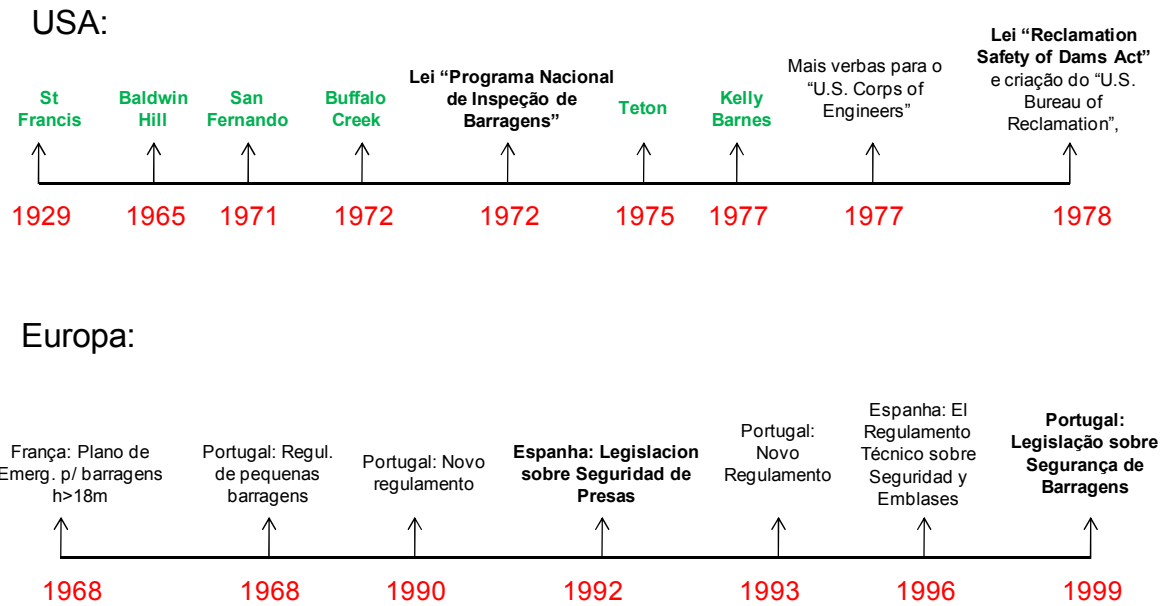


Figura 4: Histórico de legislação sobre segurança de barragens nos EUA e Europa

No Brasil, o CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens) publicou, em 1983, o documento intitulado: Diretrizes para a Inspeção e Avaliação de Segurança de Barragens em Operação. Posteriormente publicou a edição das “Recomendações para Formulação e Verificação de Critérios e Procedimentos de Segurança de Barragens (1986)” e, em 1996, “Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil”. Desde então os avanços têm sido significativos e vêm ganhando cada vez mais interesse por parte de profissionais brasileiros.

O estado de São Paulo, após o acidente ocorrido com a barragem de Euclides da Cunha e consequente rompimento da barragem Armando de Salles Oliveira em 1977, foi o pioneiro na criação de um decreto-lei, dispendo sobre a segurança das barragens do estado e recomendando auditorias técnicas permanentes. Porém o mesmo não foi implementado. Este documento serviu de modelo para a Lei Federal 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e outras providências.

Entretanto, o assunto “segurança de barragens” somente se tornou prioridade para o governo brasileiro em 2009, após a ruptura da barragem de Algodões, no Piauí, com a confirmação de pelo menos 7 mortos. Esse acidente revelou a necessidade de se aprimorar a gestão das barragens brasileiras. Foi então publicada, em 20 de setembro de 2010, a Lei Federal 12.334. Cabe mencionar que desde 2003 um projeto de lei referente a uma política de segurança de barragens – PL 1.181 – já tinha sido proposto pelo Deputado Federal Leonardo Monteiro e seu substituto Fernando Ferro.

Além da exigência de classificação das barragens quanto ao risco e dano potencial, a lei obriga os proprietários a confeccionarem um Plano de Ação Emergencial dependendo do resultado da classificação da barragem, executarem vistorias, relatórios periódicos e monitoramento constante das estruturas. O intuito dos programas de segurança de barragens propostos pela lei federal é reconhecer os perigos potenciais oferecidos pelas estruturas e reduzi-los a níveis aceitáveis.

Porém, o monitoramento de uma barragem não deve ser feito apenas porque uma lei federal obriga, o objetivo principal é a preservação da estrutura para segurança da população à jusante. Através das inspeções visuais e do monitoramento da instrumentação, periodicamente, é possível identificar anomalias na estrutura e providenciar o tratamento das mesmas precocemente.

Para tanto, o proprietário ou engenheiro responsável por uma barragem necessita aprender com as lições do passado, com foco na eficiência e no cumprimento das finalidades previstas nos projetos das barragens, levando em consideração o alto custo desses empreendimentos e os impactos inevitáveis na vida das pessoas.

Apesar dos avanços obtidos com segurança de barragens, o conhecimento sobre os mecanismos que conduzem aos incidentes e acidentes com ruptura em barragens não são de domínio total da engenharia. São muitas as incertezas, inclusive com a crescente utilização de modelos e simulações matemáticas quando ainda se depende de dados de entrada não confiáveis ou inexistentes, sem tratamento ou quando a avaliação crítica é feita por profissional não qualificado, equipes sem capacitação e treinamento técnico adequado para as atividades de operação e manutenção, sistemas de auscultação deficiente e/ou sem regularidade nas leituras, análises e interpretação, desorganização da documentação sobre a memória técnica da barragem, etc. (Medeiros, 2003).

A situação se agrava quando o engenheiro tem que lidar com barragens em operação, projetadas e construídas sem o rigor técnico necessário e sem o registro de sua memória técnica: elementos de projeto, plantas do como construído, relatórios de inspeção, leituras com análise e interpretação dos instrumentos, etc. Barragens com informações em abundância, mas desorganizadas, sem análises e interpretações, conduzem aos mesmos resultados.

A ruptura da barragem de Teton, em junho de 1976, é um bom exemplo do grau de incerteza envolvido na arte da engenharia de barragens (Seed & Duncan, 1981). Foi este acidente que

originou a formação de uma comissão de especialistas que produziu um estudo detalhado e imparcial sobre as causas do acidente, dando margem a outros trabalhos sobre o problema do “fraturamento hidráulico” em barragens, hoje motivo de preocupação nos projetos.

Silveira (2013) comenta que, apesar de um expressivo número de barragens rompidas no Brasil nos anos mais recentes, é lamentável constatar que muito pouco ou quase nada está sendo aprendido com esses acidentes. Sobre o acidente de Teton, o autor destaca que em menos de seis meses após o ocorrido, a *Bureau of Reclamation*, empresa proprietária da barragem, divulgou um extenso relatório contendo as prováveis causas do acidente. Infelizmente, no caso do Brasil, ainda não existe nenhum órgão do governo ou entidade na área de barragens que estude seriamente as causas dos acidentes, para que possam ser evitados no futuro.

Portanto, antes da análise de barragens em operação, é imprescindível um estudo do histórico da estrutura: período que a mesma foi construída (conhecimentos técnicos da época), acidentes em barragens semelhantes, incidentes, causas, consequências, soluções. A memória técnica não pode ser perdida, as ocorrências devem ser discutidas e registradas para que os futuros engenheiros tenham subsídios para tomada de decisão.

2.2 IMPORTÂNCIA DA INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS

Durante a construção, os instrumentos de uma barragem fornecem dados que possibilitam avaliar o comportamento da obra e, com isso, corrigir ou aprimorar determinadas premissas de projeto.

Na fase de elevação do aterro, os dados da instrumentação têm a função de alertar sobre a ocorrência de eventuais anomalias no comportamento do maciço, possibilitando o estudo de soluções menos conservadoras e mais econômicas. É nesta fase que se obtém informações sobre parâmetros específicos dos materiais empregados na barragem para uma previsão mais realista de seu comportamento.

O enchimento do reservatório é o primeiro teste do desempenho da barragem e de suas fundações quando, geralmente ocorre a maioria dos acidentes e incidentes, sendo, portanto, o período que merece mais atenção. Nesta fase é possível também usar os resultados da instrumentação para retroanálise das hipóteses fornecidas pelo modelo matemático utilizado, verificando a eficiência e simplificações para novos projetos.

Na fase operacional é possível aferir se o comportamento da estrutura está satisfatório, além de permitir a detecção das variações nas condições de segurança das barragens, como resultado de processos de envelhecimento ou alterações ambientais e estabelecer previsões de comportamentos futuro do maciço.

Os instrumentos das barragens devem ser bem especificados, posicionados nos locais onde o projeto indica incerteza de comportamento ou necessidade de confirmação das previsões do comportamento. A escolha da seção de controle para o monitoramento do desempenho da estrutura da barragem implica na capacidade de antever problemas potenciais e valores limites para o parâmetro a ser observado.

Kuperman et al. (2006) alerta que o fato de uma barragem não possuir instrumentação não é, em absoluto, sinal de que um sistema de auscultação deva ser instalado. O melhor instrumento não aumenta a segurança da barragem se não estiver funcionando, se estiver no lugar errado ou se não estiver sendo lido em intervalos de tempo adequados (Divino e Fusaro, 2006). A instrumentação de uma barragem é um dos dispositivos de monitoramento, não podendo se descartar a importância das inspeções visuais.

A auscultação de barragens tem como ferramenta as inspeções visuais e a instrumentação. O olho humano treinado é geralmente o melhor instrumento para avaliar a performance de uma barragem. “Apesar das inspeções visuais certamente terem limitações, nenhum outro método tem o mesmo potencial de integrar rapidamente toda a situação do comportamento” (ASCE, 2000).

Por outro lado, o Boletim 68 (ICOLD, 1989) ressalta que, sem instrumentação, as avaliações da segurança seriam feitas apenas com base nas informações provenientes do julgamento da engenharia. A instrumentação pode agregar valor a essas avaliações, como um meio de fazer medidas da aferição do comportamento de uma barragem. Essas medidas não eliminam a necessidade do julgamento da engenharia, mas fornecem informações importantes sobre o comportamento das estruturas e permitem uma visão ‘de dentro’ sobre a existência ou não de determinado problema.

Segundo Santos e Correa (1991), apesar da importância da instrumentação em uma barragem, o fato de existir instrumentação instalada não garante que os problemas ou anomalias que ocorrem serão detectados por ela. Mesmo que a instrumentação seja bem especificada, a escolha da seção de controle e localização justificada e a equipe ou profissional responsável

pela leitura, análise e interpretação dos resultados seja qualificada, que garantia teríamos de que um determinado evento (incidente) seja percebido pela instrumentação?

É fundamental que exista uma boa comunicação entre as equipes encarregadas das inspeções rotineiras e coleta de dados e os engenheiros responsáveis pela análise e interpretação do comportamento da obra. Os resultados das inspeções devem ser registrados em relatórios periódicos documentados com fotos, desenhos e gráficos de maneira que possam ser efetuadas comparações a intervalos de anos permitindo verificar lentas modificações da barragem. A correlação entre as deteriorações na estrutura e uma possível indicação das mesmas pela instrumentação também deve ser analisada.

O uso de instrumentação nas barragens possibilitou e ainda possibilita a evolução e refinamento dos novos projetos, permitindo o aprimoramento da construção e execução de estruturas mais ousadas. Porém, a instalação de instrumentação sem a análise e interpretação adequadas é o mesmo que não se ter instrumentação alguma.

No Brasil, a instrumentação de barragens de terra passou a existir de maneira efetiva e criteriosa somente a partir do final da década de 50 e início de 60. A instrumentação utilizada em barragem de terra e enrocamento naquela época, consistia basicamente em medidores de recalque de placa, medidores de vazão e piezômetros no maciço e fundação, refletindo a preocupação com as pressões neutras de período construtivo.

A partir do final da Década de 60, a instrumentação tornou-se mais sofisticada, envolvendo a instalação de células piezométricas, células de pressão total, inclinômetros e medidores de recalque instalados no núcleo, caixas suecas e extensômetros. Nesta época, também foi crescente o uso de programas computacionais para elaboração dos projetos de barragens com o emprego do método dos elementos finitos (Silveira et al., 1996). Apresenta-se no Quadro 1, um breve histórico da evolução da instrumentação nas barragens de terra e enrocamento no Brasil.

Quadro 1: Principais características da instrumentação de barragens de terra e enrocamento no Brasil

Década	Principais características da Instrumentação
Até 1920	Instrumentação praticamente inexistente.
1920 e 1930	Observação eventual de subpressões, vazões de drenagem e deslocamentos superficiais.
1940 e 1950	Medições de pressão neutra e de deformação, porém com instrumentos de pouca confiabilidade.

Quadro 2: Principais características da instrumentação de barragens de terra e enrocamento no Brasil (continuação)

Década	Principais características da Instrumentação
1960	Primeiras obras com medição de deslocamentos horizontais com inclinômetros e com instalação de células de pressão total em aterros.
1970	Medições de tensão e deformação. Os instrumentos de medição ganham confiabilidade. O método dos elementos finitos passa a ser aplicado em análises paramétricas de projeto e na análise dos dados.
1980	Desenvolvimento de instrumentos nacionais, exceção feita aos inclinômetros e piezômetros de corda vibrante. Início da aplicação generalizada dos recursos da informática para projeto e análise.
1990	Aperfeiçoamento dos instrumentos de medição e informatização das fases de coleta, transmissão, processamento e análise dos dados. Automatização da instrumentação de algumas barragens.
2000	Aperfeiçoamento das técnicas de medição. Aquisição remota de dados, com uso de satélites espaciais.
2010	Muitos instrumentos elétricos e pneumáticos instalados nas décadas de 60 e 70 danificaram e alguns estão sendo substituídos. A retroanálise dos dados de leitura da instrumentação e a reavaliação do comportamento das estruturas é cada vez mais comum.

Fonte: (CBGB,1996) adaptado

Para verificação do desempenho de uma barragem através de sua instrumentação é necessário algum parâmetro comparativo com as leituras executadas. Estes parâmetros são chamados de limites de leitura da instrumentação e devem ser determinados durante a execução dos projetos.

Segundo Kuperman et al. (2006), não era costume nas décadas de 60 e 70, a fixação determinística de valores limites máximos para a maioria dos instrumentos instalados, não só pelas dificuldades de se realizar esta operação através dos procedimentos de cálculo, como também pela falta de representatividade que tais valores poderiam apresentar.

Nas barragens de terra, no máximo, fixavam-se níveis limites para instrumentos instalados no dreno horizontal em função de estudos de estabilidade. Às vezes, alguns instrumentos possuíam estimativas de valores de referência de leitura baseadas em casos históricos similares, mas raramente se chegava a impor previamente ao enchimento do reservatório um limite máximo, seja de atenção, alerta ou emergência, que indicaria uma situação insegura da barragem.

Devido às incertezas envolvidas em todas as fases do projeto de uma barragem e que se estende ao longo de sua vida útil, tem sido grande o interesse e o esforço pela utilização de

métodos estatísticos e probabilísticos na tentativa de se reduzir as diferenças entre previsão e real comportamento da barragem e sua fundação.

Estudos já foram realizados em diversas barragens brasileiras, como por exemplo, Ilha Solteira, Jaguari, Eng. Souza Dias (Jupiá), Paraibuna e Paraitinga (Kuperman et al., 2006), Emborcação e Piau (Fusaro, 2007), Jurumirim (Kuperman et al., 2003), Funil (de Faria et al., 2005) entre outras. Vale destacar que todos estes trabalhos puderam ser desenvolvidos, pois os engenheiros possuíam, à sua disposição, os registros históricos do comportamento das barragens desde sua construção.

Cruz (2006) relata que num incidente referente ao aumento de percolação na barragem de Gafanhoto, uma das principais dificuldades para a solução do problema foi levantar informações de projeto sobre a barragem. O desconhecimento exigiu grande trabalho nas etapas de investigação para que os reparos necessários fossem executados e a segurança do barramento restabelecida.

A engenharia de barragens está percebendo que o resgate do histórico de inspeções e de leituras da instrumentação de uma barragem é extremamente importante. Este trabalho possibilita o conhecimento profundo do funcionamento da estrutura permitindo a detecção antecipada de anomalias para intervenções imediatas.

2.3 TIPOS DE INSTRUMENTO

Uma barragem está sujeita a esforços tais como pressão hidrostática, subpressão, peso próprio, efeitos sísmicos etc. A estabilidade da estrutura é então garantida pelo atendimento dos fatores de segurança contra movimentos de corpo rígido:

- a) Estabilidade ao tombamento: visa verificar a possibilidade de movimento de rotação como corpo rígido para jusante em relação ao pé de jusante da barragem;
- b) Estabilidade à flutuação: visa verificar a resultante das forças verticais contra a fundação, face ao alívio do peso da barragem pelos empuxos hidráulicos, quando submersa parcial ou totalmente;
- c) Estabilidade ao deslizamento: a resistência ao deslizamento da barragem contra as forças horizontais atuantes é conferida pela coesão e ângulo de atrito do contato da fundação;

- d) Verificação das tensões atuantes na fundação da barragem em função dos esforços horizontais e verticais.

A instrumentação de uma barragem tem como objetivo, portanto, a mensuração desses esforços atuantes e seus efeitos na estrutura. O propósito principal é o de fornecer dados que auxiliem na avaliação da segurança da estrutura ao longo do tempo possibilitando a detecção precoce de problemas potenciais. O objetivo secundário é permitir a comparação do comportamento da estrutura com as previsões dadas em projeto (Lima e Alarcon, 2003).

Segundo USACE (1995), citado por Fusaro (2007), os parâmetros-chave a serem monitorados para acompanhamento e avaliação do comportamento de um maciço (e seus respectivos instrumentos de medição) são:

- a) Poropressões em aterros e fundações (piezômetros);
- b) Vazões de percolação (medidores de vazão);
- c) Carregamento de partículas pelos fluxos de água através do maciço e/ou fundações (medição de turbidez da água);
- d) Deformação dos maciços e fundações (marcos de recalque superficial, medidores de recalque, inclinômetros, extensômetros de haste);
- e) Erosões à jusante e/ou em bacias de dissipação (levantamentos topográficos);
- f) Sismos naturais ou induzidos (acelerógrafos);
- g) Tensões no aterro (células de pressão total);
- h) Empuxos de terra sobre estruturas de concreto (células de pressão total).

A seguir, são descritos instrumentos para medição de vazão, poro-pressões, recalques e deslocamentos existentes em barragens do tipo terra e enrocamento. São citados diversos instrumentos, porém detalham-se, mais especificamente, aqueles existentes na barragem do estudo de caso desta dissertação. O intuito é apresentar o funcionamento de cada instrumento permitindo o entendimento e a análise das instrumentações descritas nos capítulos 5 e 6.

2.3.1 Medidores de Vazão

As barragens de enrocamento com núcleo dito impermeável (na realidade é constituído de solo de baixa permeabilidade), não constituem dispositivos estanques. Toda barragem apresenta percolações através do próprio aterro compactado ou através das fundações, cujas medições são de relevante importância no controle de seu desempenho (Silveira, 2006).

Durante a confecção do projeto de uma barragem, as previsões de vazões tanto através do maciço quanto da fundação são fundamentais para dimensionamento do sistema de drenagem interno, externo e tratamento de fundação.

Maciços rochosos de fundação das barragens costumam apresentar geometrias normalmente muito complexas, onde as descontinuidades ocorrem de forma anisotrópica e heterogênea. Desta forma, o uso de modelos matemáticos ou físicos para a análise do fluxo em maciços fraturados se justifica somente se houver disponibilidade suficiente de informações acerca dos parâmetros *in situ* (Louis (1972) apud Souza (2005)).

A dificuldade de se obter uma solução analítica para resolver problemas de fluxo em meios porosos levou à utilização de métodos numéricos, como o método dos elementos finitos e o método das diferenças finitas. Quando se dispõe de ferramenta computacional eficiente, a resolução de problemas de fluxo por métodos numéricos torna-se recomendada.

Com o intuito de prever ou verificar as vazões de percolação de uma barragem, diversos autores utilizam-se dos recursos computacionais, tais como França e Gomes (2007), no estudo da percolação da água através da fundação da barragem Castanhão, utilizando o software SEEP/W – Geo Slope, Kermani e Barani (2012) que utilizaram o método de diferenças finitas (FDM) e compararam os resultados com os obtidos através da análise com software Geostudio 2007, Lefebvre et al. (1982) utilizaram o método numérico como ferramenta de análise de um problema de fluxo na barragem de Choinière (Canadá), Alexander e Engemoen (1985) analisaram o fluxo através da fundação permeável da barragem de Calamus (EUA), com o programa SEEP3D (MEF), dentre outros.

Silveira (2006) destaca que as vazões medidas normalmente ultrapassam os valores previstos em projeto. Isto decorre de incertezas geológicas de campo, das complexidades de geometria e heterogeneidade das camadas de compactação, gerando coeficientes de permeabilidades diferentes dos calculados. A região das ombreiras, por ser uma zona de intemperismo, é a interface com altas permeabilidades. Por isso, ao se fixar os valores de controle para medidores de vazão de uma barragem, segundo o autor, é mais aconselhável a utilização dos valores observados em barragens similares, que se confiar em valores teóricos baseados em modelos matemáticos bidimensionais de percolação.

Durante o período operacional, medidores de vazão são instalados em um ou mais locais para monitorar a percolação através do maciço da barragem e fundação com o intuito de comparar com as previsões feitas. Em muitos casos, os valores das vazões de percolação têm sido

evidências das imperfeições dessas estruturas, portanto, o monitoramento de vazão torna-se prática de longa data, não sendo restrito apenas aos primeiros anos de operação.

No caso das barragens homogêneas de terra ou as barragens de enrocamento com núcleo impermeável, esse controle torna-se fundamental para a estabilidade do talude de jusante, de forma a propiciar um adequado abatimento da linha freática, minimizando os efeitos das poropressões nessa zona da barragem (Carim, 2007). Para garantir que a água percolada através do maciço e da fundação seja drenada de forma disciplinada e controlada, é necessária a construção dos sistemas de drenagem interna ou filtros.

Uma função clássica do sistema de drenagem interna é o de proteger a estrutura contra os eventuais efeitos danosos de piping. Piping é uma erosão regressiva, diferente da erosão superficial (onde se consegue observar o carreamento de solo na superfície). No caso do piping, isto ocorre internamente no maciço, sendo seu avanço no sentido contrário ao fluxo.

Segundo Albuquerque (2003), os filtros visam uma otimização da barragem, tendo como principais fatores: drenar a água na base da barragem, otimizar as redes de fluxo, vazões de percolação e gradiente de saída, além de controlar a percolação pela fundação.

O material constituinte do filtro deve ser selecionado e construído de tal maneira que os vazios do filtro sejam suficientemente pequenos para que o solo do núcleo da barragem não migre através dele causando colmatação. Para estudo detalhado sobre dimensionamento de filtro em barragens, ver Terzaghi (1922), Sherard, J.L., Dunnigan, L.P. & Talbot, J.R. (1984), Pinto (2000).

De acordo com Cruz (1996), a experiência e os resultados teóricos mostram que os filtros horizontais são mais exigidos que os verticais pois a vazão pela fundação, independente de ser em solo ou rocha, é, em geral, muito superior à vazão que percola pelo aterro das barragens.

Por isso, muitas vezes, faz-se necessária a construção de poços de alívio para auxiliar na drenagem excessiva pela fundação. Eles são utilizados quando as camadas mais permeáveis encontram-se muito profundas para serem atingidas por trincheiras de vedação ou trincheiras de drenagem. Os poços devem ser previstos durante a construção da barragem, pois, se deixados para serem perfurados depois da barragem em operação, sua execução torna-se arriscada e onerosa (Mello, 1990).

Com o intuito de não sobrecarregar o sistema de drenagem interno da barragem (filtros e poços de alívio), o tratamento de fundações poderá ser requerido. Uma solução que vem

sendo utilizada extensamente no Brasil para o tratamento de fundação em rocha é a utilização de injeção de cimento, que visa à homogeneização quanto à permeabilidade dos maciços rochosos. (Cruz, 1996).

Nesse sentido, o projeto de uma barragem é condicionado pelos processos de impermeabilização das fundações e pelo controle da saída do fluxo a jusante do eixo longitudinal através de dispositivos de drenagem. Estes podem incluir filtros verticais ou inclinados, tapete horizontal, drenos de pé ou de saída, trincheiras drenantes de fundação e furos de drenagem.

Quanto à utilização de injeção de calda de cimento para impermeabilização da fundação em rocha, inicialmente utilizava-se esta técnica sem muita base teórica e, às vezes, sem considerar os resultados dos ensaios de perda d'água e testemunhos de sondagem. Por volta de 1956, começaram as primeiras pesquisas sistemáticas por meio de ensaios de perda d'água e injeções-testes, em todo o mundo. Assim, era usual estabelecer procedimentos *in situ* para os trabalhos de injeção, considerando as especificidades locais.

O objetivo dos ensaios de infiltração ou perda d'água é encontrar o valor da permeabilidade (K), cujo cálculo é diferenciado para trechos ensaiados acima ou abaixo do nível d'água, e é função de variáveis tais como: vazão, diâmetro da perfuração, comprimento do trecho e altura de coluna d'água. O coeficiente de permeabilidade (K), como definido por Darcy, representa a velocidade de percolação da água quando o gradiente hidráulico é igual a 1,0.

As injeções conseguem reduzir substancialmente as vazões, mas não igualmente as subpressões. Casagrande já alertava, em 1961, para a confiança demasiada em injeções quando analisou as subpressões em barragens de concreto. Ele mostrou que apenas uma pequena fenda ou abertura numa cortina de injeções de cimento em rocha fissurada seria suficiente para restabelecer uma linha piezométrica de montante para jusante semelhante a que haveria sem nenhuma cortina impermeabilizadora, embora com redução substancial das vazões percoladas (Vargas, 1996).

A posição e a geometria da cortina depende do tipo de barragem e das condicionantes geológicas locais. Em barragens de terra e enrocamento, a cortina deve ser posicionada ao longo da linha central do núcleo ou ligeiramente à montante da mesma até um afastamento máximo da ordem de um terço da distância que separa o eixo do pé de montante do núcleo.

Após a execução do tratamento de fundações e implementação do sistema de drenagem interna e poços de alívio para drenagem complementar, as medições dessas percolações são requeridas.

O controle das percolações é feito através de medidores de vazão. Medidor de vazão é todo dispositivo que permite, de forma indireta, determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento por unidade de tempo, permitindo obter conclusões sobre o funcionamento do sistema de drenagem interna através da avaliação do volume drenado. O procedimento típico para a medida de vazões é promover a concentração do fluxo em caixas ou galerias de concreto, às quais se incorporam vertedouros de seção triangular, retangular, trapezoidal ou calhas Parshalls (Silveira, 2006).

Nos locais onde ocorrem pequenas infiltrações, não há a necessidade de se instalar medidores de vazão elaborados, bastando a execução de uma pequena mureta de retenção e de uma tubulação para coleta da água (Figura 5).

Para pequenas vazões, recomenda-se um recipiente de coleta de 200 ml, e para vazões médias, um recipiente de 1 litro (Silveira, 2006). O recipiente deve ser transparente e graduado para permitir a leitura do volume d'água. O tempo, controlado através de um cronômetro, refere-se ao tempo necessário para encher o recipiente. Se ocorrer aumento de vazões e o recipiente for, então, pequeno para coleta d'água, recomenda-se a instalação de medidores de vazão triangular, retangular, trapezoidal ou calha Parshall.




O medidor triangular de vazão (Figura 6) consiste de uma placa metálica, com a geometria escolhida, instalada no final de um canal, em posição normal ao fluxo. São recomendados para faixas de vazão entre 0 a 600 l/min., podendo atingir no máximo 8.000l/min. Para vazões maiores, devem ser utilizados medidores de vazão retangulares ou trapezoidais.

O medidor de vazão retangular (Figura 7) trata-se de uma placa delgada, com soleira horizontal biselada, instalada perpendicularmente ao escoamento, ocupando toda a largura do canal, portanto, sem contrações laterais.

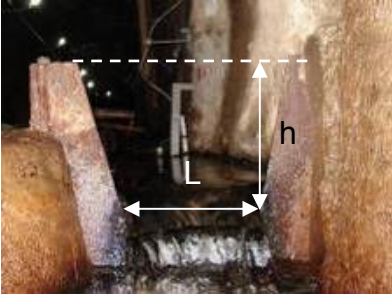
Segundo Melo Porto (2001), assumindo alguma hipótese simplificadora, supondo que a distribuição de velocidades à montante seja uniforme, que a pressão em torno da seção da lâmina vertente seja atmosférica e que os efeitos oriundos da viscosidade, tensão superficial, turbulência e escoamentos secundários possam ser desprezados, sendo L a largura da soleira igual à largura do canal, a vazão total descarregada vale de acordo com a Equação 3.

Os medidores trapezoidais ou Cipolletti (Figura 8), como são mais conhecidos, são normalmente instalados em substituição aos medidores triangulares quando há necessidade de se medir vazões maiores, que ultrapassam o limite dos triangulares. Seu coeficiente C_d , determinado experimentalmente, vale 0,63. Sendo assim, a medição de vazão é calculada pela Equação 4. O Quadro 3 resume os medidores de vazão descritos.

Quadro 3: Tipos de Medidores de Vazão

Tipo de medidor	Figura	Equação	Faixa de Q
Mureta	 <p>Figura 5: Medidor de vazão na barragem de Canastra</p>	<p>Equação 1</p> $Q = \frac{V}{t}$ <p>Onde: V = volume coletado (litros) t = intervalo de tempo (minutos ou segundos)</p>	-
Triangular	 <p>Figura 6: Medidor de vazão triangular no túnel da barragem de Itaúba</p>	<p>Equação 2</p> $Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan(\alpha/2) h^{5/2}$ <p>Onde: g = aceleração da gravidade α = ângulo de abertura do medidor h = altura da lâmina vertente</p>	0 a 600 L/min
Retangular	 <p>Figura 7: Medidor de vazão retangular no túnel da barragem de Itaúba</p>	<p>Equação 3</p> $Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{3/2}$ <p>Onde: g = aceleração da gravidade L = Largura do canal h = altura da lâmina vertente C_d = os valores deste coeficiente podem ser obtidos a partir das fórmulas de Bazin (1889), Rehbock (1929), Francis (1905) ou Kindsvater e Carte (1957).</p>	0 a 40.000 L/min

Quadro 4: Tipos de Medidores de Vazão (continuação)

Tipo de medidor de vazão	Figura	Equação	Faixa de Vazão
Trapezoidal	 <p data-bbox="512 667 874 759">Figura 8: Medidor de Vazão trapezoidal na barragem Dona Francisca</p>	<p data-bbox="922 412 1043 443">Equação 4</p> $Q = 1,861Lh^{3/2}$ <p data-bbox="922 555 1002 586">Onde:</p> <p data-bbox="922 591 1187 622">L= Base do trapézio</p> <p data-bbox="922 627 1289 658">h= altura da lâmina vertente</p>	<p data-bbox="1326 474 1433 506">0 a</p> <p data-bbox="1326 524 1417 555">40.000</p> <p data-bbox="1326 573 1406 604">L/min</p>

Quando as vazões de infiltração são de grande intensidade, sendo de várias centenas de litros por segundo, empregam-se calhas Parshall. Esse medidor é composto por três partes: uma seção convergente, uma seção estrangulada intermediária e uma seção divergente, obedecendo às relações geométricas padronizadas e tendo o nível do fundo do canal na seção convergente mais alto do que o nível na seção divergente (Azevedo Netto e Alvarez, 1977).

Com a utilização de um medidor de vazão, é possível também controlar a quantidade de materiais sólidos carregados pela água de drenagem, podendo se identificar o fenômeno de piping, objetivando também avaliar a evolução desse carregamento em função do tempo.

2.3.2 Medidores de Pressão

Na instrumentação de barragens é importante diferenciar poropressões medidas no aterro da barragem daquelas medidas na fundação. As primeiras são designadas de poropressões e as da fundação são designadas de subpressões por atuarem de baixo para cima (Silveira 2006).

A construção de uma barragem pode causar aumento significativo de subpressões, sendo considerados os esforços mais desfavoráveis para a segurança e estabilidade da estrutura, portanto os métodos para quantificação destes esforços são muito importantes.

A subpressão pode ser explicada como o empuxo relativo ao volume de água deslocada pela fundação da barragem. De maneira conservadora, é tomada como a variação linear da pressão hidrostática no pé da barragem na direção de montante para jusante, conforme Figura 9.

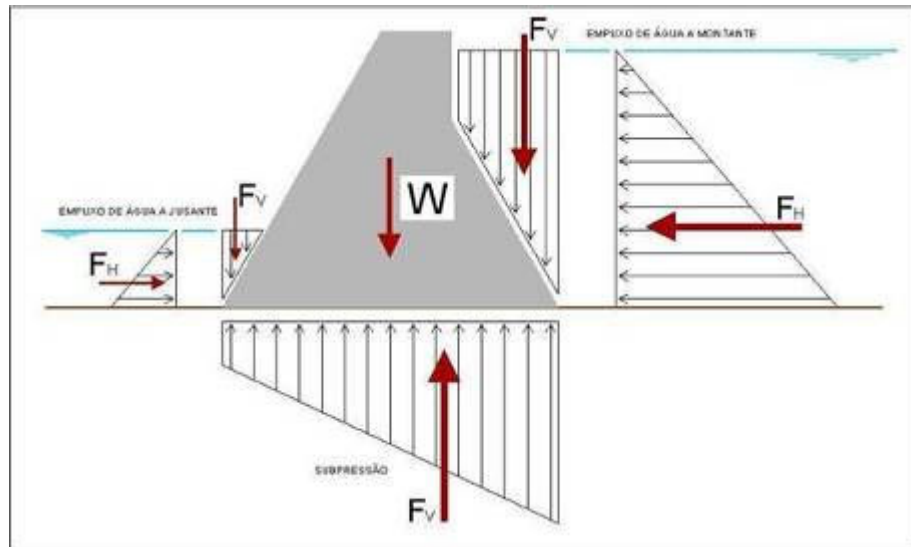


Figura 9: Representação esquemática dos esforços hidrostáticos atuantes em uma barragem

O cálculo da força de pressão ou empuxo que os fluidos em repouso exercem sobre as superfícies sólidas que os limitam, é efetuado com base nos princípios da hidrostática. No caso das barragens, as forças atuantes são: empuxos horizontais (F_H) - exercidos pelo nível de água de montante e jusante, empuxos verticais (F_v) - exercidos pela subpressão de água, sobrepressão de água a montante e jusante e peso próprio da estrutura, e empuxos quaisquer exercidos por esforços externos.

Fissuras na fundação e inserção de drenos no maciço e na fundação de uma barragem de enrocamento com núcleo de argila vem auxiliar no alívio das forças resultantes de subpressão. O filtro horizontal em fundações mais permeáveis, por exemplo, é mais útil para alívio de subpressões do que para drenar a água que vem do filtro vertical.

Já as poro-pressões ou pressões neutras numa barragem, são geradas pela água existente nos poros dos solos compactados, pela rede de fluxo a ser estabelecida, pelos acréscimos de tensões causados pelo peso do aterro em construção e seu adensamento.

A medição de pressão neutra no núcleo de barragens de enrocamento com núcleo impermeável durante o período construtivo e de operação é importante pois tem influência na estabilidade de taludes. Serve também para verificar a eficiência da drenagem das camadas de transição, pois a subida da linha freática da rede de percolação pode indicar um processo de colmatagem das camadas drenantes.

Em fundação, as pressões neutras são medidas para a determinação das condições de percolação e verificação da efetividade dos dispositivos de impermeabilização e/ou drenagem, já que situações atípicas podem ocorrer quando existem feições geológicas desfavoráveis.

Para entender a diferença entre pressão neutra e subpressão e como as mesmas são medidas é necessário o conhecimento do estado de tensões em pontos do subsolo, antes e depois da construção de uma estrutura qualquer. As tensões na massa de solo são causadas por cargas externas ou pelo próprio peso do solo. As considerações acerca dos esforços introduzidos por um carregamento externo são bastante complexas e sua determinação, normalmente se dá a partir das hipóteses formuladas pela teoria da elasticidade.

Supondo um solo sem carregamentos externos próximos, nível do terreno horizontal e cuja natureza do solo não varia horizontalmente (Figura 10), diz-se que o solo está sob tensões geostáticas.

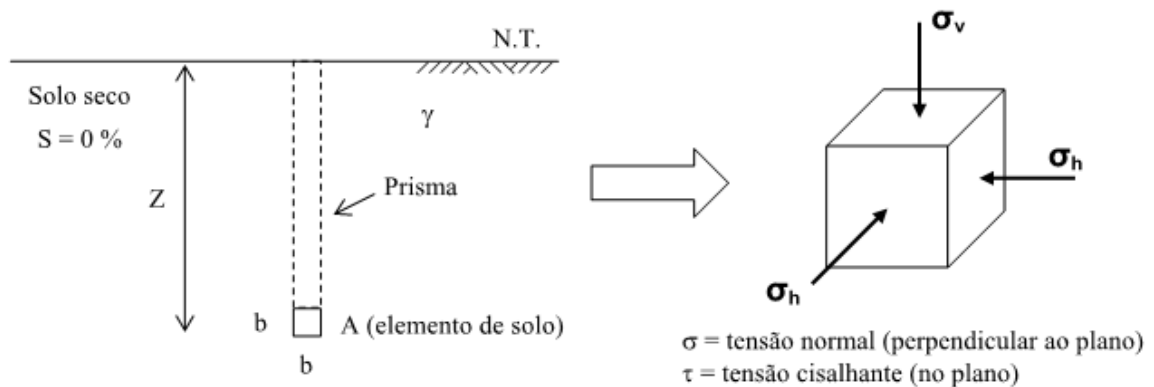


Figura 10: Solo sob condições geostáticas

Neste caso, a tensão normal vertical inicial (σ_{v0}) no ponto “A” pode ser obtida considerando o peso do solo acima do ponto “A” dividido pela área, já que, sendo o terreno horizontal, não existirão tensões cisalhantes em planos verticais e horizontais. A tensão inicial vertical é dada por:

Equação 5
$$\sigma_{v0} = \frac{W}{A} = \frac{(\gamma \cdot b^2 \cdot z)}{b^2} = \gamma \cdot z$$

Onde:

$W = \gamma \cdot V$ (peso do prisma); $V = b^2 \cdot z$ (volume do prisma); $A = b^2$ (área do prisma); γ = peso específico natural do solo

A Equação 5 é válida para solo homogêneo. Se o solo for estratificado, a tensão vertical será dada pela soma dos pesos das diferentes camadas de solo com peso específico natural dos distintos solos.

Se o solo estiver saturado (todos os vazios do solo são preenchidos por água) (Figura 11) e sem fluxo d'água (em condições hidrostáticas), a profundidade na qual a pressão na água é atmosférica é o chamado nível d'água natural (N.A.) ou lençol freático. Portanto, abaixo do nível d'água, a pressão na água, ou poropressão ou pressão neutra (u_0) é positiva, sendo definida pela expressão:

Equação 6
$$u_0 = \gamma_w \cdot Z_w$$

Onde:

u_0 = pressão neutra ou poropressão; γ_w = peso específico da água, tomado igual a 10 kN/m³ = 1g/cm³; Z_w = profundidade em relação ao nível da água

Neste caso, a tensão normal vertical inicial (σ_{v0}) no ponto "A" será obtida considerando o peso do solo saturado acima do ponto "A" dividido pela área.

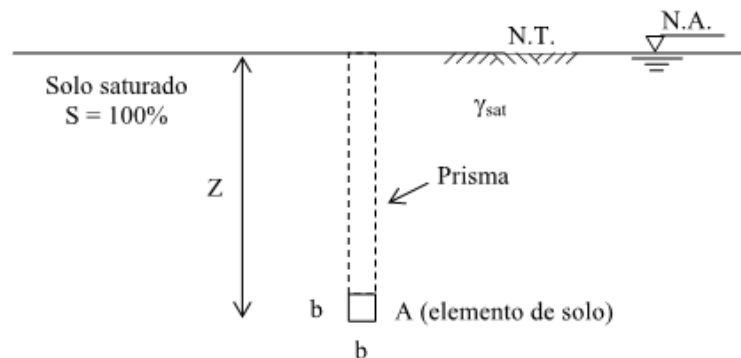


Figura 11: Perfil geotécnico de um solo saturado

Se o nível d'água não for na superfície, isto é, parte do solo estiver saturado e parte não (Figura 12), a tensão vertical total inicial no ponto "A" do perfil de solo será:

Equação 7
$$\sigma_{v0} = \gamma \cdot Z_1 + \gamma_{sat} \cdot Z_2$$

Onde:

σ_{v0} = tensão vertical inicial; γ = peso específico do solo seco, Z_1 = espessura da camada de solo seco; γ_{sat} = peso específico do solo saturado, Z_2 = espessura da camada de solo saturado.

A poropressão ou pressão neutra no mesmo ponto será: $u_0 = \gamma_w \cdot Z_w$

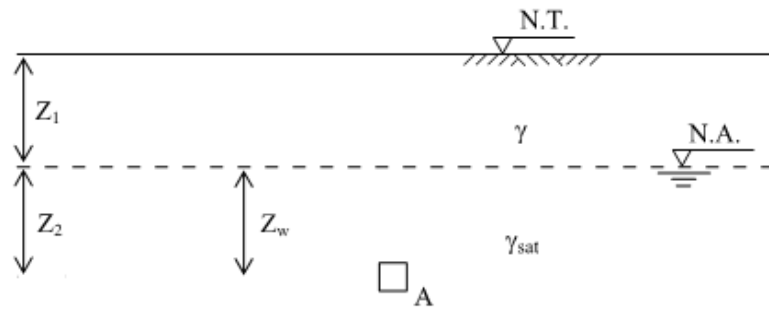


Figura 12: Perfil geotécnico com nível d'água abaixo do nível do terreno

A existência de água no solo sob carregamento, nos leva ao conceito de tensão efetiva.

Terzaghi (1925) definiu que o comportamento dos solos saturados quanto à compressibilidade e à resistência ao cisalhamento depende fundamentalmente da pressão média intergranular denominado de tensão efetiva (tensão grão a grão). Utilizou um tanque com solo saturado e água para comprovar este princípio.

Aumentando o nível da água no tanque, a pressão total (σ_v0) também aumenta no solo. Entretanto, não se observa qualquer diminuição de volume no solo, o que vem comprovar que seu comportamento é totalmente independente das tensões totais.

Nos solos saturados ($S = 100\%$) parte das tensões normais é suportada pelo esqueleto sólido (grãos) e parte pela fase líquida (água), portanto, tem-se que:

Equação 8
$$\sigma = \sigma' + u$$

Onde:

σ = tensão total; σ' = tensão efetiva; u = pressão neutra

Em solos submersos (Figura 13), a tensão total e poropressão são dadas por:

Equação 9
$$\sigma_v0 = \gamma_w \cdot z_1 + \gamma_{sat} \cdot z$$

Equação 10
$$u_0 = \gamma_w \cdot z_w = \gamma_w (z_1 + z)$$

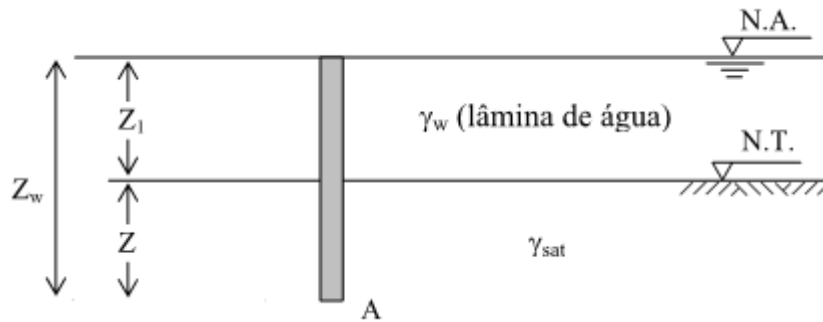


Figura 13: Perfil de solo submerso

Desta forma, da Equação 8, a tensão efetiva será dada por:

Equação 11
$$\sigma'v_0 = \sigma v_0 - u_0 = \gamma_w \cdot z_1 + \gamma_{sat} \cdot z - \gamma_w (z_1 + z) = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot z$$

Como $\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$, temos:

Equação 12
$$\sigma'v_0 = \gamma_{sub} \cdot z$$

Esta equação é independente de z_w , portanto a pressão efetiva não varia com a espessura da lâmina de água.

Para solos parcialmente saturados haverá, em seus vazios, dois fluidos, geralmente ar e água. Esta situação difere da anterior, em face das seguintes alterações:

- a) não há uma continuidade da coluna d'água;
- b) a pressão neutra total é a soma da pressão na fase gasosa mais a pressão na fase líquida. Então, a Equação 8 poderá ser colocada na forma proposta por Bishop (1959):

Equação 13
$$\sigma' = \sigma + u_{ar} + \chi(u_{ar} - u_w)$$

Onde:

u_{ar} = pressão na fase gasosa; u_w = pressão na fase líquida; χ = coeficiente que varia de 0 (solos secos) a 1 (solos saturados).

O valor de χ , além de ser muito influenciado pelo grau de saturação do solo, sofre influência também da estrutura, do ciclo de inundação-secamento e de alterações ocorridas no estado de tensões.

Em condições hidrodinâmicas (com fluxo d'água), que é a condição encontrada em fundações e solo de aterro de barragens, a tensão efetiva também é calculada pela Equação 8, porém, neste caso, o valor da poropressão (u) é estimado ou medido (*in situ*) através de piezômetros.

Segundo Silveira (2006), a resistência e a deformação dos solos são controladas pela tensão efetiva. A medição de poro pressão é particularmente útil para determinar a posição da superfície freática e de toda a rede de percolação através da barragem e de sua fundação, nas seguintes situações:

- a) As poropressões medidas em um aterro de barragem e em sua fundação podem ser utilizadas para o cálculo de estabilidade pelo método de equilíbrio limite, usando-se as tensões efetivas para a avaliação dos fatores de segurança dos taludes;
- b) A medição das poropressões, imediatamente a montante e a jusante do núcleo ou de uma trincheira de vedação fornece uma indicação do desempenho desses dispositivos de vedação;
- c) Onde uma camada de argila encontra-se sobreposta a uma fundação permeável, é possível que altas pressões neutras ocorram na camada permeável, de modo que a instalação de um piezômetro nessa camada, nas proximidades do pé de jusante, pode fornecer informações muito úteis sobre as subpressões na fundação. Podem também alertar sobre a necessidade de execução ou suplementação de poços de alívio no pé de jusante para redução de subpressões na área;
- d) Piezômetros a montante podem fornecer dados sobre as condições de estabilidade de taludes durante a construção ou esvaziamento rápido do reservatório.

Se considerarmos que o fluxo de água ocorre sempre na mesma direção, como no caso dos permeâmetros, diz-se que o fluxo é unidimensional. Porém, numa barragem, as partículas de água seguem caminhos curvos, mas contidos em planos paralelos, o fluxo é então bidimensional. Sendo, portanto, bidimensional o estado de tensões e por isso, além da tensão vertical (iniciais, total e efetiva) também devem se caracterizar as tensões horizontais.

Para determinação das tensões laterais, utiliza-se o conceito de coeficiente K_0 . Quando não há deformação lateral do depósito (por exemplo, extensos depósitos sedimentares), a tensão

horizontal efetiva e a tensão vertical efetiva se relacionam de maneira simples, o chamado coeficiente de tensão lateral no repouso (k_0), que é a relação entre tensões efetivas iniciais:

Equação 14
$$k_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$$

O valor de K_0 depende de vários parâmetros geotécnicos do solo, tais como ângulo de atrito, índice de vazios, razão de pré-adensamento etc. O valor deste coeficiente pode ser obtido através de tabelas com valores típicos dependendo do tipo de solo ou empiricamente, conforme equações de Jaky (1944), Brooker e Ireland (1965), Meyerhof (1976), Mayne e Kulhawy (1981) entre outros. Também pode ser determinado a partir de ensaios de laboratório (ensaio com controle de tensões sem deformação lateral), ensaios de campo (pressiômetro, ensaio de ruptura hidráulica) e instrumentação de campo (células de pressão total).

As células de pressão total (Figura 14) são instrumentos utilizados conjuntamente com piezômetros para o monitoramento das pressões neutras e tensões totais com o intuito de se determinar as tensões efetivas.

As células também são utilizadas para medir os fenômenos de interação nas interfaces solo/concreto, que ocorrem quando o núcleo da barragem encosta numa estrutura rígida de concreto.

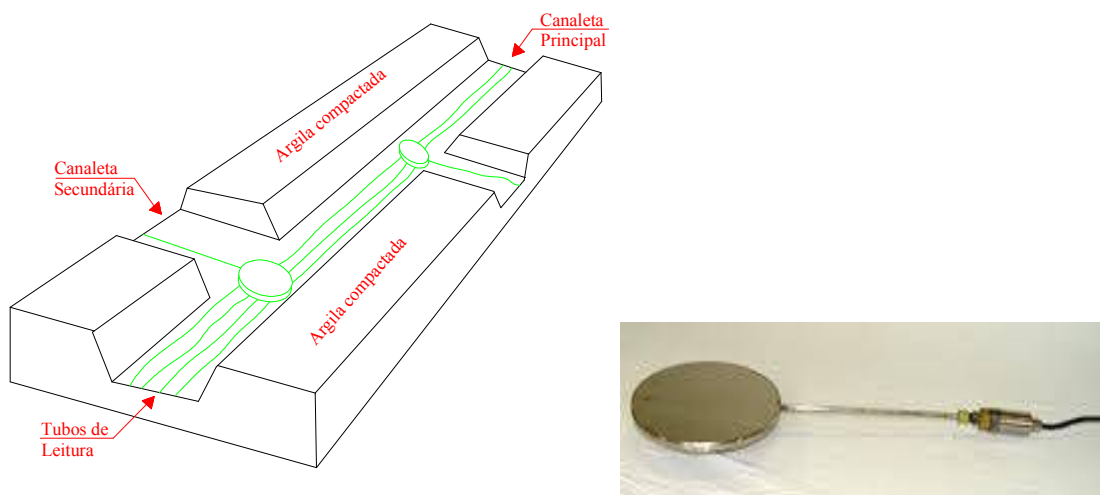


Figura 14: Células de tensão total instaladas em argila compactada e detalhe de uma célula

Para obtenção das tensões totais de terra nas imediações do ponto de interesse são necessárias, no mínimo, quatro células de tensão total: duas verticais (paralela e normal ao eixo

longitudinal do maciço), uma horizontal e uma inclinada a 45° com a horizontal. O piezômetro do grupo então permitirá o cálculo das tensões efetivas.

O processo mais usual de análise de percolação em barragens, tanto através do maciço quanto da fundação (fluxo bidimensional), envolve o traçado de redes de fluxo.

A rede de fluxo é a representação gráfica dos caminhos percorridos pela água e da correspondente dissipação da carga hidráulica que satisfazem a equação de Laplace e permitem a consideração da anisotropia e heterogeneidades dos solos.

Este método proporciona ao estudante ou profissional grande sensibilidade e compreensão do fenômeno em estudo por exigir, em seu desenvolvimento inicial, várias tentativas de obtenção do traçado definitivo, visando incorporar todos os aspectos relacionados a diferentes geometrias e materiais envolvidos (Souza, 2005). A obtenção de rede de fluxo também pode ser feita através de simulações numéricas com base no método dos elementos finitos.

O traçado das redes requer experiência, sendo úteis às recomendações propostas por Casagrande (1937), Taylor (1948) e Cedergren (1977).

As subpressões podem ser previstas, portanto, durante a fase de projeto, utilizando-se um programa de simulação de fluxo em meios porosos através de modelagem por elementos finitos. Para isto, uma seção da barragem é definida em uma malha de elementos finitos e são atribuídas aos nós as condições de contorno desejadas: cargas hidráulicas a montante e jusante, características dos materiais (permeabilidade), condições de drenagem do maciço e da fundação etc.

Os valores de permeabilidade dos materiais são imprescindíveis para a correta aplicação dos resultados de subpressão obtidos pelo modelo. Por isso, a validade da avaliação da subpressão depende quase que inteiramente da qualidade do modelo e da confiabilidade dos dados inferidos para a permeabilidade dos materiais que podem ser obtidos inicialmente de referências bibliográficas ou de ensaios com os materiais constituintes da barragem.

As condições de consolidação e de drenagem em um núcleo argiloso variam muito com a posição do ponto em relação às fronteiras drenantes do maciço (Pereira, 2005).

Na consolidação inicial de um aterro, quando ocorre presença de ar na estrutura do solo, ocorre poropressão negativa devido à sucção, sendo esta situação a favor da segurança. Porém, com a compactação das camadas posteriores, a poropressão assumirá valores positivos

devido à consolidação da camada (diminuição dos vazios), ocasionando confinamento da água dentro da estrutura do solo.



Figura 15: representação da geração de poropressão positiva durante a construção

O valor h_c é a altura de aterro compactado acima de uma certa camada, no limite que o volume de vazios da estrutura é igual a quantidade de água gerando, a partir daí, poropressão positiva.

Esta curva não é única, ela depende da fronteira drenante e do tempo, isto é, quando a velocidade construtiva é maior ou menor que o tempo de drenagem (que depende da posição da fronteira drenante). Como a velocidade de construção dos aterros de barragem é quase sempre superior a velocidade da drenagem desta água confinada, geram-se poropressões que se dissipam lentamente muito tempo depois da obra finalizada. Por isso é necessária a instalação de instrumentação para verificação desta dissipação de poropressões.

No Brasil, a partir da década de 60, todas as barragens de terra ou enrocamento de grande porte passaram a ser muito bem instrumentadas em termos de células piezométricas para observação das poropressões de período construtivo. Isto decorre da experiência com barragens inglesas e americanas que empregaram solos argilosos com baixa permeabilidade ($k=10^{-7}$ a 10^{-8} cm/s) onde o desenvolvimento de pressões neutras de período construtivo era geralmente expressivo (Silveira, 2006).

Para entender o conceito de medição de pressão no maciço de uma barragem, é necessário saber a diferença entre medição de nível freático e poropressão.

O princípio geral da instrumentação para medição do nível d'água ou freático em maciços de solo ou rocha consiste basicamente em se acessar diretamente a água em profundidade por meio de execução de furos de trado ou de sondagem para medir a cota da superfície por meio

de dispositivos, normalmente uma trena dotada de um sensor elétrico na extremidade inferior e um emissor sonoro ou luminoso.

Estes furos, com revestimento permeável, são chamados medidores de Nível d'água ou poços de observação. São utilizados nas zonas de tapetes horizontais e filtros verticais para avaliar o potencial de colmatação ou detectar eventuais cargas hidráulicas ao longo do sistema de drenagem interna da barragem ou utilizados nas ombreiras e zonas de jusante para monitoramento dos potenciais riscos de saturação e consequente redução das condições de estabilidade dos taludes.


Já o piezômetro é um medidor de pressões pontual e para isto é preciso selar a área em que a medida é feita. São, portanto, arranjos que medem pressão de água em uma região delimitada do maciço. A célula piezométrica de um piezômetro tem a finalidade de separar a poropressão da pressão total do solo ao redor. Precisa ser suficientemente resistente para suportar a pressão total máxima e ter suficiente superfície permeável que permita um pequeno fluxo de água necessário para que o indicador de pressão funcione.

Os piezômetros possuem diversas configurações, sendo de medida direta ou indireta e a escolha do tipo a ser utilizado depende das características de confiabilidade, simplicidade, durabilidade, sensibilidade, custo e possibilidade de monitoramento remoto.

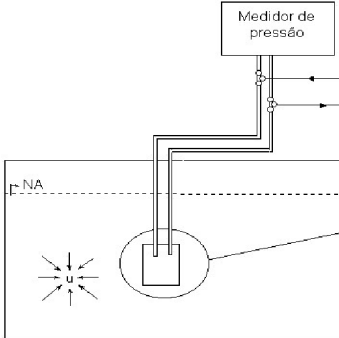
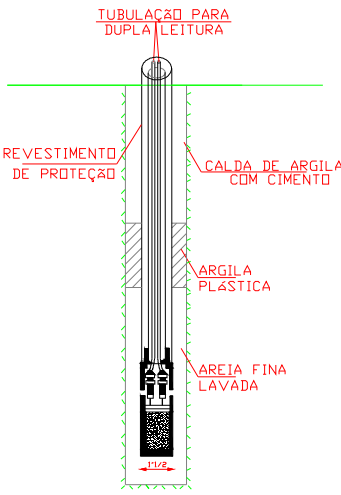
Um aspecto importante a considerar na escolha do piezômetro é o tempo de resposta, que é o tempo requerido para que a coluna d'água no piezômetro se estabilize após a variação de pressão. Esse tempo é diretamente proporcional a seção transversal da tubulação e varia inversamente com a permeabilidade do solo no entorno.

Os tipos principais de piezômetros utilizados para as medidas de pressão neutra no núcleo são apresentados na Quadro 5.

Quadro 5: Tipos e descrição dos piezômetros

Tipo/Figura	Característica
<p data-bbox="347 1749 453 1783">Elétrico</p> 	<p data-bbox="600 1740 1447 1966">Os piezômetros elétricos são constituídos de um diafragma de aço inoxidável sensível à pressão associado à extensômetros elétricos de resistência. As pressões neutras atuam na face externa deste diafragma após passarem por um filtro, causando deformações no mesmo, o que resulta na mudança imediata da resistência dos extensômetros e consequente resposta diferenciada do sinal elétrico de saída, de magnitude proporcional à poropressão medida.</p> <p data-bbox="600 1973 1447 2067">Estes instrumentos tem tempo de resposta bastante curtos, porém de custo elevado e não podem ser recuperados caso sofram avarias (descarga elétrica, sobretensão, etc.)</p>

Quadro 6: Tipos e descrição dos piezômetros (continuação)

Tipo/Figura	Característica
<p data-bbox="331 398 469 432">Hidráulico</p> 	<p data-bbox="603 293 1449 443">É constituído por uma pedra porosa conectada a um painel externo por meio de dois tubos flexíveis de nylon revestido de polietileno e de pequeno diâmetro, completamente saturados com água destilada e desaerada.</p> <p data-bbox="603 450 1449 636">Por meio da pedra porosa, a água contida nos poros do solo ou nas fraturas da barragem esta em contato direto com a água no interior da tubulação e no painel de leituras, assim, qualquer variação na poropressão junto à célula, automaticamente, será registrada no painel externo de pressões.</p> <p data-bbox="603 642 1449 748">A utilização de tubos duplos é para verificação da saturação do sistema ao longo da vida útil, se a leitura for diferente em ambos os tubos, o sistema deve ser desareado.</p> <p data-bbox="603 754 1449 940">É um instrumento simples, confiável e possui bom tempo de resposta mesmo em materiais de baixa permeabilidade. Mede poropressões negativas, porém para evitar cavitação do sistema, a célula piezométrica deve estar no máximo, a 5m abaixo dos medidores de pressão.</p>
<p data-bbox="309 1016 491 1050">Pneumáticos*</p> 	<p data-bbox="603 987 1449 1115">As medidas de poro pressão são feitas a partir da injeção de um gás, geralmente nitrogênio, que tem por objetivo equalizar as pressões internas na célula piezométrica e forçar a deflexão de um diafragma associado à mesma.</p> <p data-bbox="603 1122 1449 1308">A célula piezométrica é conectada a um medidor externo de pressão através de dois tubos flexíveis, designados de tubulação de alimentação e retorno. Injeta-se, lentamente, o gás no tubo de pressão até que a pressão d'água aplicada à face externa do diafragma é ultrapassada.</p> <p data-bbox="603 1314 1449 1500">O diafragma então se move 0,2mm permitindo a passagem do gás ao tubo retorno. Esse tubo é conectada ao grupo de manômetros que registra uma pressão maior que a da água, então o diafragma se abre permitindo o fluxo de gás pela tubulação de retorno, que é detectada pelo operador.</p> <p data-bbox="603 1507 1449 1612">Neste momento, a injeção do gás é suspensa e a pressão de injeção reduz-se gradualmente até ocorrer a equalização das pressões da água e do gás no interior da célula piezométrica (diafragma fechado).</p> <p data-bbox="603 1619 1449 1805">Deve-se tomar cuidado para não aplicar pressões muito superiores a da água, pois pressões elevadas podem romper o diafragma, inutilizando o instrumento. É um instrumento confiável, simples e com tempo de resposta pequeno. Porém são inadequados para medição de poropressões negativas.</p>

*Instrumentos instalados na Barragem de Itaúba

Quadro 7: Tipos e descrição dos piezômetros (continuação)

Tipo/Figura	Característica
<p data-bbox="300 331 501 365">Corda Vibrante</p> 	<p data-bbox="603 304 1445 450">Constituído por um corpo cilíndrico de aço inox que aloja, internamente, uma pedra porosa e uma membrana de aço inox em cuja face é fixado um fio de aço (corda) tensionada, passando através de um eletroímã.</p> <p data-bbox="603 461 1445 566">A água intersticial passa através da pedra porosa e impõe uma determinada deformação ao diafragma afetando a tensão da corda que passa a vibrar.</p> <p data-bbox="603 577 1445 723">Esta vibração induz na bobina magnética do eletroímã uma oscilação elétrica de frequência igual que é transmitida ao terminal de leituras através de cabos elétricos blindados, sendo esta leitura correlacionada a poropressões atuantes sobre o diafragma.</p> <p data-bbox="603 734 1445 840">Este instrumento oferece resposta praticamente instantâneas mesmo em solos com permeabilidade muito baixa, porém são sensíveis a interferências eletromagnéticas.</p>
<p data-bbox="304 969 496 1059">Tubo aberto (Casagrande)*</p> 	<p data-bbox="603 943 1445 1133">Os piezômetros são constituídos por um tubo de PVC cuja extremidade inferior é acoplada uma célula (trecho perfurado envolvido com geotêxtil ou outro material drenante). A célula fica inserida em um bulbo de material drenante e confinada num trecho limitado (1 a 1,5m) por uma camada selante (betonita ou solo-cimento).</p> <p data-bbox="603 1144 1445 1301">A pressão da água na região do bulbo é convertida diretamente em uma altura d'água equivalente, medida através de nível elétrico tipo buzina ("pio"), por injeção de bolhas de ar e medida da pressão do gás ou por uso de transdutores de pressão elétricos colocados no fundo do furo.</p> <p data-bbox="603 1312 1445 1435">Quando instalados em materiais de baixa permeabilidade, apresentam um tempo de resposta retardado em relação à variação da solicitação (nível d'água do reservatório). Além do mais, não permite a medição de pressões negativas.</p> <p data-bbox="603 1447 1445 1570">São instalados convencionalmente nas fundações, ombreira e zonas específicas do maciço da barragem. Estes instrumentos têm como vantagem a verificação de seu desempenho através de ensaios de recuperação de Nível d'água.</p> <p data-bbox="603 1581 1445 1671">Durante a realização deste ensaio, jamais se deve lançar volume d'água no interior do tubo sem a devida verificação da pressão aceitável.</p> <p data-bbox="603 1682 1445 1771">Isto pode causar problemas de comportamento piezométrico (eventualmente associados à ocorrência de fraturamento hidráulico e/ou lavagem de preenchimento de feições permeáveis).</p>

*Instrumentos instalados na Barragem de Itaúba

2.3.3 Medidores de recalque e deslocamento

O objetivo da medição de deslocamentos em barragens de enrocamento com núcleo de argila é obter informações sobre deslocamentos diferenciais e deformações internas do maciço para identificação de zonas potencialmente sujeitas a fissuras ou que possam provocar distribuição de tensões que causem problemas estruturais durante a construção, enchimento do reservatório e período operacional.

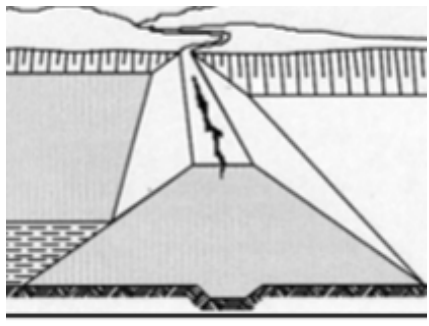
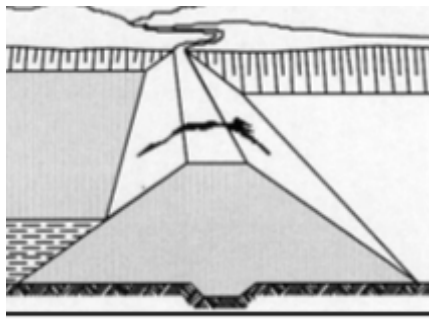
Estas fissuras podem ser capilares e difíceis de serem observadas em inspeções visuais ou ocorrer dentro do maciço, somente sendo notadas quando ocorrem infiltrações. Segundo Avila (1980) e Bourdeaux (1982b), a maior parte de rupturas de barragens catalogadas como por “piping” originaram-se por percolações de água através de fissuras induzidas por um comportamento tensão-deformação inadequado das barragens, e por isto a importância da medição dos deslocamentos.

De uma maneira geral, as principais causas de fissuramentos em barragens são (Carim, 2007):

- a) Geometria da fundação: irregularidades topográficas da fundação, ressaltando-se as irregularidades no sentido longitudinal que dão origem a fissuras transversais à barragem, ou seja, no sentido do fluxo;
- b) Umidade de compactação: a umidade de lançamento e compactação tem influência fundamental na susceptibilidade ao fissuramento. Pesquisas laboratoriais e observações de campo confirmam a correlação entre umidades de compactação e flexibilidade do maciço. Leonards e Narain (1963) observaram em laboratório que, aumentando as umidades em 2% a 3% abaixo da umidade ótima, para um valor em torno da mesma, há um aumento significativo da flexibilidade do maciço. Observaram também que aumentos além da umidade ótima não causam aumento significativo de flexibilidade. No campo, constatou-se que barragens que sofreram fissuramento foram compactadas com umidades no lado seco da curva de Proctor;
- c) Materiais de fundação: barragens sobre solos compressíveis com espessuras variadas, destacando-se os materiais susceptíveis a colapsar por saturação;
- d) Tipo de material de aterro: vários estudiosos [Sherard (1953) e Marsal (1959)] tentaram correlacionar o tipo de material com a ocorrência de fissuras, mas sem muitas conclusões;

- e) Velocidade de Construção: principalmente para solos compactados com umidades acima da ótima, a subida rápida do aterro da barragem implica recalques maiores pós-construção e influencia os recalques diferenciais.
- f) Segundo o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, publicado em 2002 pelo Ministério da Integração Nacional (MI), as trincas podem ser classificadas em Longitudinais e Transversais. No Quadro 8 citam-se as prováveis causas e consequências do aparecimento de cada um destes tipos de trincas.

Quadro 8: Tipos de trincas em barragem

Tipo	Longitudinais	Transversais
Prováveis causas	Recalques desiguais entre materiais de diferentes compressibilidades no maciço, recalques excessivos e expansão lateral no maciço, começo de instabilidade do talude.	Material compactado do maciço sobre ombreiras íngremes e irregulares, zonas de materiais compressíveis na fundação.
Prováveis consequências	Permite a penetração de água no maciço o que pode acelerar o processo de ruptura do talude.	Podem criar caminho de percolação concentrado se atingirem cota abaixo do nível d'água do reservatório.
Fissuras longitudinais e transversais na crista (Fonte: Inspection of Small Dams 1998)		

Em barragens de terra e enrocamento, devido à preocupação com o controle da permeabilidade do maciço, o núcleo de argila é executado com compactação cuidadosa. Já o enrocamento é, normalmente, executado com material simplesmente espalhado, em camadas espessas e com índice de vazios extremamente elevados. Isto pode provocar trincas devido a recalques diferenciais.

Queiros (1964) relata que eram utilizados jatos d'água para promover a compactação do material de enrocamento, na premissa de que o material mais fino seria lavado para os interstícios das pedras maiores, com uma formação de uma massa mais densa. Com esta

técnica, foram executadas inúmeras barragens, porém foram observados assentamentos de grandes vultos após o término da construção.

Estes assentamentos ocasionaram trincas longitudinais na crista da barragem e no contato entre o enrocamento e o núcleo argiloso (de menor compressibilidade).

O autor ainda cita que as atenções, na época, no tocante à compactação do maciço estavam voltadas para utilização ou não de jato de água com esta ou aquela pressão, mas cujo efeito no comportamento posterior do maciço não estava ainda esclarecido.

Foi Terzaghi quem forneceu uma explicação mais racional para eficiência do método de molhagem do enrocamento utilizando dados de meio século antes estudado por Hirschwald, na Alemanha. Neste estudo, foi evidenciada a influência da saturação dos bordos dos fragmentos de rocha na resistência à compressão. Foi identificado, também, que a relação entre a resistência à compressão da rocha em estado saturado e em estado seco varia de acordo com o tipo de rocha e o grau de alteração da mesma, podendo variar de 0,94 para granitos a 0,47 para quartzo-micaxistos pouco alterados. Tornou-se, portanto, evidente que o benefício da aplicação do jato d'água consistia na saturação dos bordos ressecados dos fragmentos de rocha o que se poderia conseguir com menor custo já que para promover esta saturação o volume de água necessário é, no máximo, 10% do volume da rocha.

Com esta verificação, estavam sendo deixados de lado os estudos relativos ao esmagamento e quebra da pedra, também uma das causas de recalques no enrocamento. Outra causa de recalques excessivos do enrocamento é a compressibilidade do material que preenche os interstícios da massa rochosa, sendo portanto necessária a verificação granulométrica do enrocamento para reduzir os recalques pós-constitutivos.

A redução das camadas de compactação e a necessidade de compactação dos enrocamentos foram também citadas como um dos fatores mais significativos para redução dos recalques em barragens, comprovado na execução de diversas obras, não simplesmente o lançamento das pedras, como era mais comumente executado.

Na barragem de Emborcação, com 158 m de altura constituída de enrocamento com núcleo de argila, o acompanhamento da medição de recalques indicou recalque diferencial entre a zona de filtros e a transição com os materiais adjacentes. Com isto, ocorreram trincas longitudinais devido aos recalques diferenciais e trincas transversais com espessura milimétrica (Viotti e Carim 1997).

Os autores afirmaram que a redução da camada de compactação do enrocamento de 1,20m para 0,90m poderia ter reduzido a compressibilidade do solo à metade, ficando próxima à do núcleo, o que já poderia ter evitado as trincas.

O controle de compactação e características do solo a ser compactado são extremamente importantes durante o período construtivo, além da avaliação das previsões de recalques calculadas durante a confecção dos projetos executivos baseadas em ensaios específicos nos materiais que serão utilizados.

Um dos ensaios realizados para previsão preliminar da compressibilidade dos solos a serem utilizados no núcleo de barragens é o ensaio oedométrico.


Este é um ensaio de laboratório que consiste na compressão de solo contido dentro de um molde que impede qualquer deformação lateral. O ensaio simula o comportamento do solo quando é comprimido pela ação do peso de novas camadas que são depositadas sobre ele num aterro de grande área (considera o solo confinado pelo solo lateral), por exemplo. Na bibliografia é possível encontrar a explicação da execução do ensaio (ver Pinto, 2006).

Estes métodos são utilizados apenas para uma estimativa inicial de recalques na barragem. Durante a confecção dos projetos executivos, onde os ensaios de campo e laboratório são mais detalhados, utilizam-se simulações em programas de elementos finitos para as previsões de recalques e deslocamentos.

Durante o período construtivo, enchimento do reservatório e período operacional, são utilizados instrumentos para verificação das premissas de projeto e monitoramento do desempenho da estrutura quanto à segurança da barragem.

No Quadro 10 listam-se alguns instrumentos utilizados para o monitoramento de deslocamentos verticais e horizontais em barragens do tipo terra e enrocamento.


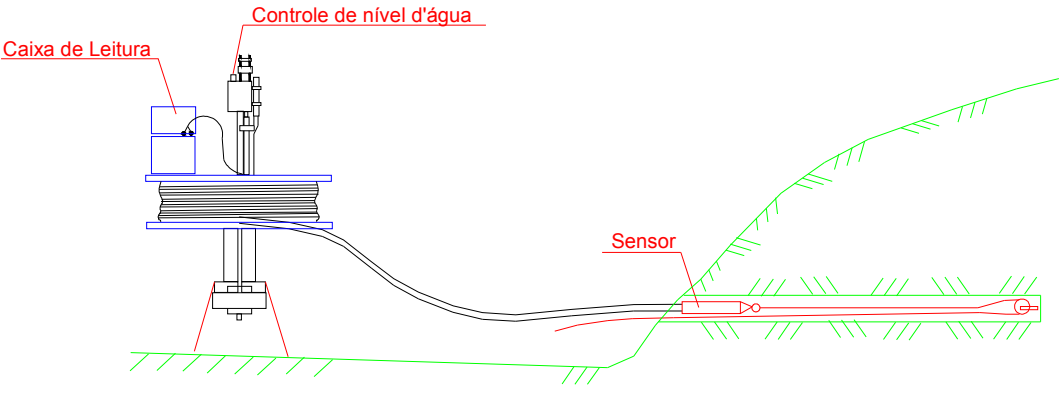
Quadro 9: Instrumentos para medição de deslocamento vertical e horizontal

Tipo	Figura	Descrição
Eletrônicos		Semelhante à medição de inclinômetros horizontais, porém são baseados num sistema resistivo de medição usando um torpedo dotado de sensores eletrolíticos que são instrumentos elétricos utilizados para obter a inclinação do terreno através da variação da resistência entre dois pontos.

Quadro 10: Instrumentos para medição de deslocamento vertical e horizontal (continuação)

Tipo	Figura	Descrição
Placas de recalque com tubos Telescópicos		<p>Também conhecido como medidores tipo IPT, são placas solidarizadas em tubos rígidos cujos deslocamentos dos mesmos são a referência para as medidas de recalque, podendo ter até 4 placas.</p> <p>A instalação é feita durante a construção do aterro</p>
Medidores magnéticos		<p>Consiste de um tubo de PVC com luvas devidamente espaçadas e com imã de referência instalado num ponto considerado indeslocável da fundação.</p> <p>Placas de recalque com orifício no centro e imã são instalados ao longo de um tubo vertical protegido externamente por um tubo corrugado.</p> <p>As leituras são feitas com uma sonda magnética.</p>
Medidores de Recalque tipo USBR		<p>Semelhante aos medidores magnéticos, porém os elementos de referência são sistemas mecânicos de cunhas móveis que se fixam às juntas telescópicas do tubo-guia.</p> <p>As leituras são feitas de cima para baixo com uma sonda que se abre depois de destravada permitindo a determinação da cota das tubulações.</p> <p>Deixaram de ser usados no Brasil há mais de duas décadas.</p>

Quadro 11: Instrumentos para medição de deslocamento vertical e horizontal (continuação)

Tipo	Figura	Descrição
Extensômetros de Haste		<p>Consiste de placas de aço quadrada dispostas vertical ou horizontalmente no terreno e conectadas a hastes capazes de se movimentar livremente no interior de tubos de proteção.</p> <p>As extremidades inferiores das hastes são chumbadas na rocha em cotas distintas e as superiores dispostas no cabeçote de leitura.</p> <p>As medidas de deslocamentos entre placas contíguas são feitas a partir da movimentação relativa das extremidades externas das hastes em relação a um ponto fixo.</p>
Perfilômetro de recalque		<p>Permitem a determinação de perfis de recalque ao longo de um tubo horizontal ou sub-horizontal de PCV usando o princípio dos vasos comunicantes.</p> <p>As pressões de água são convertidas em alturas de ascensão da água numa bureta graduada acoplada à extremidade externa da unidade de leitura que são correlacionadas com a magnitude dos recalques. Indicado para uso em barragens que sofrerão recalques excessivos.</p>

Na barragem de Itaúba, foram instalados marcos superficiais para medição de deslocamentos superficiais horizontais e verticais, medidor de recalque tipo KM e caixas suecas para medição de recalques e inclinômetros para medição de deslocamento horizontal. A descrição detalhada do funcionamento desta instrumentação está abaixo.

Marcos superficial

Consistem de blocos de concreto que permitem o monitoramento de recalques superficiais e translações horizontais durante o período construtivo e operacional de uma barragem.

São instalados ao longo da crista e bermas de jusante, numa distância, geralmente, de 40 a 100m um do outro. Também podem ser instalados no talude de montante, quando se quer monitorar os deslocamentos durante o período construtivo e, principalmente, devido o enchimento do reservatório ou à variação do nível.

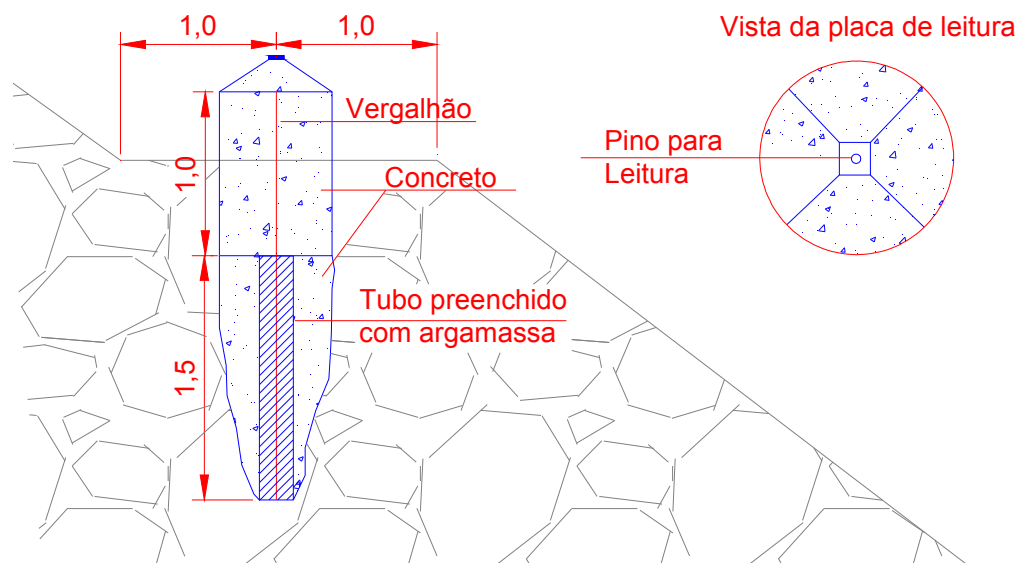


Figura 16: Detalhe de um marco de deslocamento (Fonte: Projeto Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-86/1975)

Os marcos devem ser lidos a partir de estações topográficas localizadas em um ponto indeslocável (fora da área de influência da barragem), empregando-se o método de colimação nas barragens de eixo reto. Neste processo, é estabelecido um alinhamento fixo entre as estações topográficas localizadas em cada ombreira. Os deslocamentos horizontais dos marcos são medidos através de miras especiais ou réguas sobre eles.

Nas barragens de eixo curvo, a medição dos deslocamentos horizontais é feita através de triangulação geodésica, empregando-se estação total ou, mais antigamente, teodolitos. Pela medição dos ângulos, determinam-se as coordenadas dos marcos em relação a um sistema fixo de coordenadas. Os deslocamentos sofridos pela barragem são determinados a partir da diferença de posição em relação à primeira leitura realizada do marco.

Inclinômetros

Os inclinômetros são instrumentos utilizados para determinação de perfis de recalques e deslocamentos horizontais (em duas direções) do maciço de uma barragem, pois permitem a obtenção de valores ao longo de várias cotas.

O tubo-guia é formado por segmentos de 1,5m de tubo ranhurado de alumínio, aço ou PVC, emendados entre si com luvas telescópicas.

Normalmente, o inclinômetro começa a ser instalado logo no início da construção do aterro, através da fixação do primeiro tubo-guia em rocha sã ou ponto considerado indeslocável. Se for instalado após finalização do aterro, os tubos-guia são instalados em um furo de sondagem.



Figura 17: Tubo do tubo guia do inclinômetro e Aparelho de medição

O aparelho de medição é composto por uma sonda, cabo de controle, tubos guias de fibra com diâmetro de 70mm e unidade de leitura. No processo de monitoramento, o torpedo é guiado ao longo de duas das ranhuras do tubo por meio de rodas fixas que giram sobre rolamentos de esferas selados e preenchidos com óleo.

As leituras podem ser feitas em intervalos regulares de 0,5m ao longo da profundidade, sempre nos mesmos pontos, através da unidade de leitura conectada à sonda pelo cabo de controle. Compara-se a leitura executada com a leitura inicial obtendo-se a variação da inclinação em cada intervalo de medida. Essas inclinações são convertidas em deslocamentos laterais através de constantes intrínsecas do aparelho.

Em cada ponto de medição, os recalques são estimados com base na integração dos deslocamentos calculados a partir das leituras das deflexões dadas pelos acelerômetros em relação à horizontal e a um ponto fixo.

Medidor de recalque KM

Os medidores de recalque têm por finalidade determinar o adensamento do aterro, recalques de fundação, deslocamento lateral e também, em alguns casos, a percolação através do aterro. Com os dados de observação desta aparelhagem reunidos aos dos piezômetros é possível verificar se estavam certas as hipóteses adotadas no projeto.

Hamilton (1962) descreve que os medidores de recalque eram confeccionados nas próprias oficinas das obras de barragens do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Eles constavam essencialmente de um tubo de 1m de ferro galvanizado que era engastado na rocha de fundação. À medida que a barragem ia ganhando cota, esse tubo ia sendo emendado e crescia em comprimento vertical. Como estava engastado na rocha, incompressível, era utilizado como referência de nível. Quando o maciço atingia a cota na qual se desejava medir os recalques, instalava-se coaxialmente ao tubo de referência um tubo de diâmetro maior soldado a uma placa que se apoiava sobre o maciço. Os recalques eram então medidos a qualquer tempo pela diferença entre os topos dos dois tubos.

Este medidor artesanal (o chamado medidor tipo IPT) descrito acima não difere muito do conceito dos medidores de recalque que ainda são utilizados.

O medidor de recalque tipo KM foi desenvolvido por dois técnicos da CESP, cujos nomes eram Komesu e Matuoka, originando a sigla KM. É um instrumento na qual em cada haste é fixada uma placa instalada verticalmente ao longo do aterro compactado e são protegidas externamente por uma tubulação metálica dotada de luvas telescópicas para absorver as deformações do aterro.



Figura 18: Medidor de recalque tipo KM com tubos telescópicos (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-38/1974) e Instalação da 1ª placa do medidor de recalque KM da Barragem de Itaúba (15/06/1976)

À medida que o aterro é executado, são instaladas chapas solidarizadas a hastes, conectadas em segmentos contínuos, com o avanço da construção do aterro. Cada haste é mantida na vertical, em torno do tubo de referência, através da utilização de discos perfurados que funcionam como espaçadores.

Os recalques são transmitidos até a superfície do aterro pelas hastes, que podem movimentar-se livremente dentro do tubo guia de proteção. Os recalques são medidos em relação a um tubo central de referência fixado à rocha de fundação através de trena ou paquímetro. As hastes de cada placa são pintadas de cor diferente ou numeradas para que seja possível verificar os recalques de cada camada em que a placa está instalada. Pode-se ter até 12 hastes neste tipo de instrumento, isto é, é possível o monitoramento do recalque de 12 camadas do aterro.

Caixa sueca

Caixas suecas são células hidráulicas que medem deslocamentos verticais tanto no núcleo da barragem como em transições e enrocamento de jusante. Seu funcionamento baseia-se no princípio dos vasos comunicantes.

A célula hidráulica é constituída por uma caixa de PVC ligada pela base a três tubos e na parte superior por um tubo que serve para areação da caixa, inserida numa caixa de concreto armado. Um dos tubos da base serve como ladrão, tendo sua saída no enrocamento, os outros

dois tem duas extremidades ligadas à parede de uma casa de leitura fixadas junto a uma fita graduada.

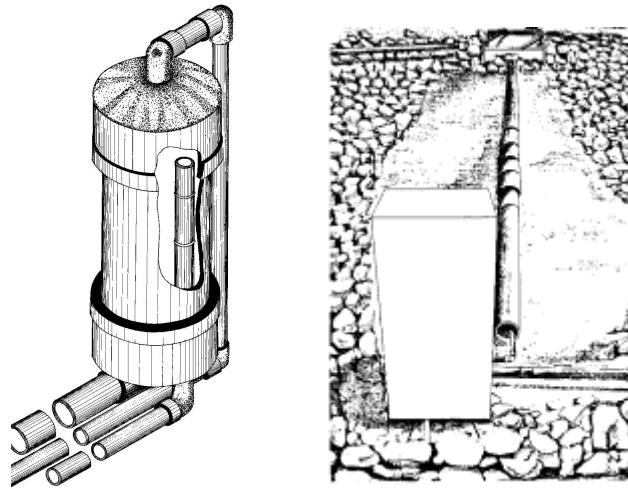


Figura 19: Perspectiva interna da caixa sueca e detalhe de instalação no enrocamento (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-40/1974)

Estes tubos são saturados com água desaerada de forma a estabelecer uma pressão atmosférica em seu interior evitando também bolhas de ar na tubulação indicando leituras errôneas.

O recalque é obtido através da diferença da leitura inicial e a leitura atual dos níveis d'água no interior de cada um dos tubos internos. Ambos os tubos encontram-se em elevações diferentes e a partir das medidas calcula-se de forma independente, as cotas da célula, permitindo a aferição do funcionamento da célula ao longo do tempo. Periodicamente deve ser feita uma aferição topográfica da cabine de leitura que pode sofrer recalques, pois se localiza em talude da barragem.

Um dos principais problemas relacionados a esta instrumentação é o rompimento da tubulação devido recalques da barragem, vazamentos de água e ar nas mangueiras, recalque da casa de leitura (deve ser verificado o nível da casa antes de cada leitura) e cadastramento errado da posição inicial de instalação da caixa.

3 METODOLOGIA

A leitura da instrumentação da barragem de Itauba começou em abril de 1978, quando o enchimento do reservatório foi iniciado. Até 1983, com 5 anos de operação, a maioria da instrumentação ainda estava em funcionamento e as leituras eram realizadas, em média, mensalmente. Após este período não foi encontrado registro de leitura de instrumentação nem o motivo pelo qual foram suspensas.

Existem novos registros apenas em 1987 e 1988 e entre 1992 a 1996 com frequência de leitura anual, em média. Em 1997 a CEEE-GT sofreu um processo parcial de privatização, com isto, grande parte dos funcionários que faziam o monitoramento da instrumentação se aposentaram e as leituras foram suspensas definitivamente sendo retomadas apenas em abril de 2009 devido o ingresso de novos funcionários na empresa.

Quando a leitura dos drenos e piezômetros da Barragem de Itaúba foi retomada em 2009, não existiam dados ou qualquer parâmetro de referência para interpretar se aquelas leituras estavam dentro da normalidade ou não.

Os novos dados eram digitados em planilha eletrônica, o que possibilitou a confecção de gráficos que facilitaram a visualização da tendência das vazões e pressões, porém sem um padrão de comportamento do esperado ou projetado para a estrutura. Apesar disso, as leituras mensais eram consideradas indicativas de comportamento normal já que permaneciam sempre em torno dos mesmos valores a cada mês. Mas, após 12 anos sem monitoramento da instrumentação, estas medidas não seriam indicativas de uma alteração temporariamente estabilizada que poderia evoluir futuramente?

Esta dúvida ficou mais evidente quando as leituras dos marcos topográficos foram retomadas em 2010. Devido a utilização de aparelho de leitura inadequado, o que veio a ser descoberto posteriormente, em alguns marcos as leituras indicaram deslocamentos de até 7 cm de um semestre para o outro. Este número era aceitável depois de 35 anos de operação? Quando não se conhece o histórico da barragem, qual é o referencial de deslocamentos aceitável?

Neste caso, não havia em campo qualquer dano na barragem que indicasse deslocamento excessivo da barragem (fissuras, percolações ou rolamento de pedras do enrocamento, por exemplo). Este foi o principal motivo para a reconstrução das medidas históricas da barragem.

O trabalho de dissertação iniciou pela revisão bibliográfica incluindo estatísticas de rompimento de barragens, artigos e livros sobre a importância do monitoramento por instrumentação de barragens. Foram pesquisados artigos em congressos e seminários relativos à recuperação de dados para análise de instrumentação e o comportamento de estruturas semelhantes.

A etapa seguinte foi a coleta e organização de toda a documentação existente sobre a construção e operação da barragem de Itaúba, sendo este um dos maiores desafios da pesquisa. Apesar desta documentação estar disponível para os funcionários da CEEE-GT, existiam documentos na sede de Porto Alegre, na sede do Salto do Jacuí e nos escritórios da própria usina (Figura 20). A seleção do material que seria útil para pesquisa exigiu um atento e criterioso trabalho de exame e separação dos arquivos físicos.

Primeiramente o material foi catalogado e separado por assunto. Os dados relativos à construção da barragem, ensaios realizados, fotografias, plantas, relatórios geológico-geotécnicos, especificação da instrumentação, planilhas de leitura de instrumentos, análises e pareceres dos engenheiros consultores da obra foram separados para análise. As informações relevantes para entendimento da construção, materiais selecionados, ensaios realizados, geologia local, decisões técnicas adotadas e, principalmente, a implantação da instrumentação foram extraídas da análise de mais de 200 relatórios de obra.



Figura 20: Material catalogado e consultado na usina de Itaúba.

Nesta fase da pesquisa, foram recuperados os dados existentes da instrumentação da época da construção e do período operacional da barragem (períodos de 1976 a 1983, 1987 a 1988 e 1992 a 1996). A partir dessa base de dados coletados foi possível a criação de planilhas cronológicas dos dados da instrumentação utilizadas nesta pesquisa: medidor de vazão, piezômetros Casagrande, medidor de recalque KM e marcos topográficos. Estas planilhas contêm a identificação do instrumento, data da leitura e nível do reservatório no dia da coleta dos dados.

Foram digitados mais de 10.000 dados que permitiram a confecção de diversos gráficos de análise da instrumentação ainda operante na barragem. Igualmente, todos os relatórios de interesse para análise foram digitalizados compondo um banco de dados que será disponibilizado a todos os funcionários envolvidos com a estrutura. Este trabalho permitiu a obtenção de informações para interpretação do estado passado e atual da barragem.

A localização de cada instrumento foi registrada em planta e a correlação entre eles e a geologia local identificada através dos perfis de sondagem e das descrições dos consultores geotécnicos da obra. Com isto, foi possível a confecção dos desenhos no programa AUTOCAD sobrepondo-se o perfil de condutividade hidráulica do maciço rochoso após a última etapa de tratamento das fundações e a posição dos drenos. Isto possibilitou a compreensão do objetivo da inserção de cada um na estrutura, sendo mais uma base para análise e interpretação dos dados de leitura de percolação.

As análises das instrumentações correlacionadas com as plantas e relatórios geotécnicos da obra permitiram a identificação da provável causa das anomalias apontadas nas inspeções visuais.

Trabalho semelhante foi realizado para a identificação dos deslocamentos da barragem. Os dados das leituras das coordenadas históricas dos marcos topográficos foram organizados em planilhas de forma cronológicas e transferidos para o programa AUTOCAD. Com isso, foi possível a identificação dos deslocamentos da estrutura (direção e magnitude).

Na confecção tanto das planilhas de leitura dos marcos topográficos quanto da leitura dos poços de alívio, foram identificados prováveis erros de leituras. Os mesmos não foram excluídos ou modificados, mas apenas identificados como “improváveis”. Atualmente não é mais possível verificar se os mesmos realmente foram lidos corretamente, se foram datilografados com erros ou se indicavam uma anomalia na estrutura ou no instrumento. Esta dúvida dificulta a análise geral do instrumento. Isto contribuiu para percepção da importância

da leitura atenta e registro cuidadoso das leituras dos instrumentos pelos funcionários que fazem as leituras atualmente.

Estes gráficos históricos também têm como propósito orientar o funcionário que realiza as medições para verificar, ainda em campo, se o valor lido encontra-se dentro da faixa do histórico de leituras, caso contrário, uma nova leitura de confirmação deve ser imediatamente executada. Se variações repentinas se confirmarem, esses alertas poderão ser úteis para que o corpo técnico da CEEE-GT identifique, imediatamente, a ocorrência de alguma anomalia do instrumento ou da estrutura, tornando as tomadas de decisão mais ágeis.

Todos os resultados desses estudos e análises foram sistematizados nesta dissertação, o que deve auxiliar na construção de uma referência básica para estudos futuros sobre a Barragem de Itaúba e barragens de terra e enrocamento com características semelhantes.

4 A BARRAGEM DE ITAÚBA

4.1 EMPREENDIMENTO

No estudo de expansão da capacidade geradora da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), entre os anos 1969 e 1978, relacionava-se o programa de construção de novas centrais hidrelétricas com o intuito de satisfazer o crescente consumo de energia no estado do Rio Grande do Sul, que era, na época, em uma taxa de 11,3% ao ano.

Com vistas a aproveitamentos mais econômicos, utilizando-se sempre que possível de desníveis naturais dos rios, a CEEE concentrou sua atenção especialmente no alto e médio curso do rio Jacuí e seus afluentes, em busca de locais favoráveis à geração de energia elétrica. O aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba fez parte deste plano de expansão e situa-se no centro do Estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Pinhal Grande e Estrela Velha, cerca de 215 km à noroeste de Porto Alegre (Figura 21).

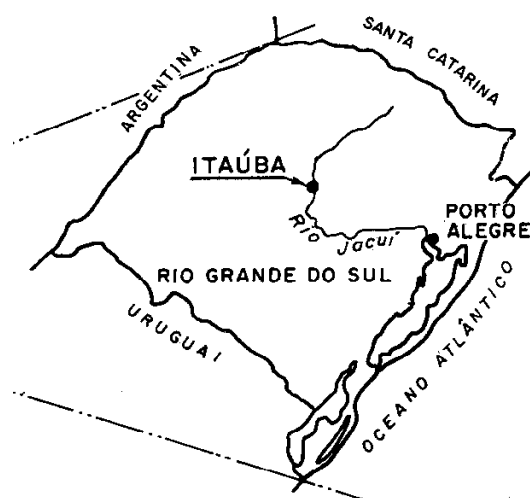


Figura 21: Localização do aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba

A Usina Hidrelétrica de Itaúba está localizada à 39 km à jusante da UHE Governador Leonel de Moura Brizola e 40 km a montante da UHE Dona Francisca. O empreendimento aproveita a grande volta do rio Jacuí em forma de ferradura. Nesse trecho, o rio foi fechado por uma

barragem de enrocamento com núcleo de argila com 385m de comprimento de crista e 92m de altura, formando o reservatório de regularização semanal, com aproximadamente 13,29 Km² de espelho d'água. A barragem localiza-se a 1 km do vertedouro e da tomada d'água (Figura 22).

O vertedouro é do tipo salto esquí, controlado por 3 comportas de 15m de vão por 18,5m de altura. O jato de água atinge o leito do rio a cerca de 300m, aproximadamente, à jusante da casa de força, na direção do rio, de modo que não interferem com as águas que saem dos tubos de sucções das turbinas.



Figura 22: Vista de montante do Rio Jacuí antes da construção da Barragem (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, 1972) e Arranjo geral do complexo Itaúba (Fonte: Google Earth, 2012)

O reservatório apresenta Nível d'água (NA) mínimo normal na cota 183, NA máximo normal na cota 184 e o NA máximo maximorum encontra-se na cota 185. O nível d'água na saída das máquinas, à jusante da casa de força, está na cota 92.

O circuito hidráulico de geração é composto pelas estruturas da tomada d'água, condutos forçados e casa de força. Da tomada d'água derivam os condutos forçados constituídos de 4 tubulações de aço de 5,80m de diâmetro que conduzem a água para turbinas tipo Francis acopladas aos geradores de 125 MW cada, totalizando uma geração máxima bruta de 500MW.

As obras de execução da usina de Itaúba foram iniciadas em 9 de janeiro de 1973 e finalizadas em 2 de outubro de 1979 (início da geração). A execução da barragem começou em 11 de outubro de 1973 e foi finalizada em 9 de janeiro de 1978. O projeto foi desenvolvido por ENGEVIX S.A – Estudos e Projetos de Engenharia.

O enchimento do reservatório iniciou em 1º de abril de 1978 e ocorreu em dois estágios. O primeiro elevou a água até a cota 166 e teve duração de 20 dias. O nível d'água permaneceu então nesta cota por 90 dias. O segundo estágio iniciou em 20/07/1978, ocorreu em 35 dias e elevou a água até a sua cota máxima normal (184m).

Para desvio do rio durante a construção, foi escavada, na margem esquerda sob a barragem, uma trincheira na rocha de fundação com largura média de 12m e profundidade de 15m, coberta por uma abóbada de concreto de 7,5m de raio interno. Depois de terminada a construção da barragem, a galeria foi fechada por duas comportas de vão de 8m e 13,4m de altura e tamponada por um bloco espesso de concreto (Figura 23).

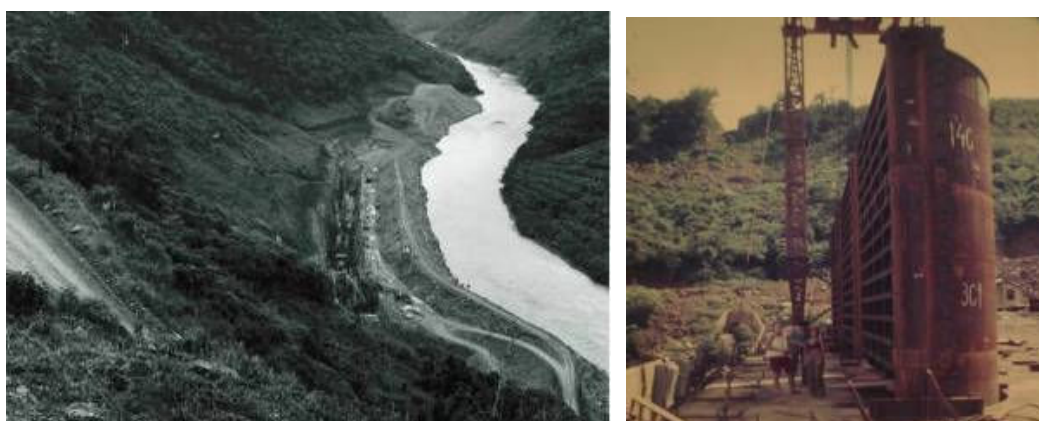


Figura 23: Desvio do Rio Jacuí para construção da Barragem (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, 1973) e Comporta de fechamento para enchimento do reservatório (Fonte: cedido Vitor Dahm, 1978)

Carvalho et al. (1982) relatam que a acumulação da água no reservatório começou com o fechamento das comportas da galeria de desvio do rio, em 01/04/1978. Logo após, foram iniciados os serviços de esgotamento da água contida na galeria de desvio com a finalidade de possibilitar a execução do plug de concreto definitivo. Durante o esgotamento, percebeu-se uma trinca na face esquerda do pilar que separava a comporta central da comporta esquerda através da qual passava volume de água considerável.

Os engenheiros monitoraram a trinca e a vazão à jusante, que era crescente nos dias que se seguiram. A preocupação com o possível rompimento da comporta durante o primeiro enchimento do reservatório era tanta que foram adotadas diversas medidas cautelares, inclusive prevenção da população ribeirinha à jusante da barragem e abertura total das comportas do vertedouro para manter o nível d'água do reservatório na cota 164,5. O relato completo do problema, estudos e solução adotada estão detalhados no artigo intitulado “Fissuração surgida em um dos pilares do portal das comportas da galeria de desvio do rio

durante a fase de enchimento do reservatório” (1982). Os serviços de reparo foram concluídos em 26/07/1978 quando o segundo enchimento do reservatório já tinha sido iniciado.

4.2 GEOLOGIA REGIONAL

A parte da bacia hidrográfica do rio Jacuí que contribui para o aproveitamento da usina hidrelétrica de Itaúba situa-se inteiramente na região dos derrames basálticos. Os derrames formaram-se em consequência de atividades vulcânicas ocorridas em uma época da Era Mesozoica, quando ocorreram efusões de lavas através de fendas abertas no embasamento da bacia sedimentar do Paraná.

Na região onde se localiza a central hidrelétrica de Itaúba, a espessura total da lava é em torno de 450m. As espessuras de cada derrame individual variam muito, além das lavas extrusivas que formam os derrames basálticos, também existem lavas intrusivas chamadas Diabásios, que formam diques.

4.3 GEOLOGIA LOCAL

Em todo trecho aproveitado pelo sistema hidrelétrico do rio Jacuí, o vale desenvolve-se em curso sinuoso, profundamente encravado no planalto basáltico, correspondendo à orientação da rede de juntas íngremes e verticais na rocha. As encostas do vale apresentam aspectos bastante íngremes, acentuado ainda pela existência de paredões rochosos situados entre as curvas de nível 185 e 205, aproximadamente. Os paredões formados por camadas de basalto maciço comprovam a disposição quase horizontal dos derrames na área.

No local da construção da Barragem de Itaúba, foram identificados derrames basálticos com descontinuidades de grande extensão lateral representadas pelos contatos entre os sucessivos derrames. Foram esses contatos, particularmente, que condicionaram o comportamento hidrogeotécnico do maciço de rocha, uma vez que a matriz rochosa pode ser considerada impermeável.

Segundo geólogo Guido Guidicini (1972), o fato desses contatos entre derrames serem detectados em algumas sondagens e não o serem em sondagens adjacentes mostrava que os mesmos possuíam continuidade lateral limitada a algumas dezenas ou centenas de metros quadrados. Isto levou à formulação da hipótese que se tratasse de “derrames secundários” (ou

pseudo-derrames ou falsos derrames), feições estas encontradas com relativa frequência em outros locais de barragens em basalto no sudeste brasileiro.

Tratava-se de línguas de lava consolidadas que foram reabsorvidas pelo próprio derrame durante a fase de extravasão e avanço. Diante da dimensão da obra de Itaúba, a continuidade lateral desses falsos contatos, apesar de limitada, era significativa e os mesmos se constituíam em caminhos preferenciais de percolação d'água.

As maiores permeabilidades foram encontradas na parte superior do maciço rochoso, nas ombreiras da barragem e no leito do rio, numa faixa de ordem de 20 a 30 metros de espessura, sendo resultado do processo de desconfinamento do maciço rochoso.

Os contatos entre derrames tendiam, de modo geral, a apresentar menores valores de condutividade hidráulica à medida que o confinamento para o interior do maciço rochoso aumentava. No interior dos derrames basálticos, elevadas perdas d'água ocorriam também ao longo de planos ou faixas subparalelas no topo e base dos derrames, denominadas juntas-falhas. Na fundação da barragem de Itaúba, juntas-falhas foram identificadas no interior dos derrames 5 e 7 (Figura 25).

O termo junta-falha é utilizado para descrever as feições que se originam durante o resfriamento da lava, quando porções mais fluidas (mais quentes) do derrame deslocam-se sobre as porções da base já parcialmente solidificadas pelo resfriamento. Nestes locais, a condutividade hidráulica é maior, por isso, desfavorável para implantação de uma barragem.

Através do programa de investigação de campo, foi possível determinar as principais condicionantes geológico-geotécnicas e caracterizar as diferentes litologias presentes no local de construção da barragem de Itaúba, típica da região Sul, com derrames basálticos intercalados por camadas de arenito e brechas. Foram identificados, no local da Barragem, 8 derrames basálticos distintos, horizontais e geralmente planos. O perfil esquemático é mostrado na Figura 25. No anexo I, as características de cada derrame são descritas detalhadamente.

Segundo o geólogo Guido Guidicini (1972), os principais traços estruturais que condicionavam a condutividade hidráulica da fundação da Barragem de Itaúba eram:

- a) Faixa superficial do maciço rochoso, afetada pela atuação dos processos de intemperismo;

- b) Faixa superior do maciço rochoso, até profundidades de ordem de 20 a 30 metros, em consequência do processo de desconfinamento;
- c) Contatos entre derrames (incluindo-se nesta denominação os horizontes de arenito intertrapeano - interderrames);
- d) Juntas-falhas, que ocorrem no interior dos derrames, geralmente associadas à parte densa dos mesmos.



Figura 24: Vista da ombreira direita da barragem e detalhe do basalto amigdaloidal situado nas cotas 141 a 174 (Fonte: arquivo técnico de Itaúba, 1975)

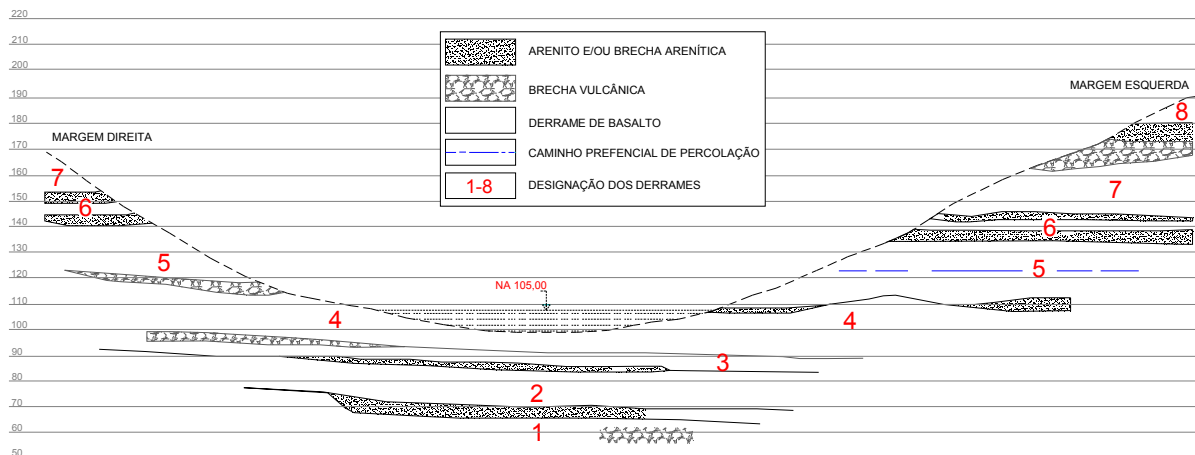


Figura 25: Derrames basálticos no local da barragem de Itaúba. Vista de Jusante (Fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-03-63, adaptado).

4.4 CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM

4.4.1 Tratamento da fundação

Victor F.B. de Mello (1977), consultor geotécnico na época da construção de Itaúba, indicou o tratamento das fundações na barragem através da execução de injeções. Porém, alertou que não se poderia confiar somente nas injeções, fazia-se necessária a posterior execução da drenagem para encaminhar, adequadamente, as infiltrações remanescentes, sendo este o método mais eficaz para o controle da piezometria. O detalhamento dos trabalhos e resultados das injeções é importante para o entendimento e interpretação da instrumentação de pressão e drenagem descrita no capítulo 5 desta dissertação.

Para execução do tratamento das fundações de Itaúba, toda a terra e a rocha decompostas foram removidas. Debaixo do núcleo e dos filtros, a camada superficial de rocha alterada e fissurada foi removida até 1,0 m de profundidade e todas as depressões e fendas abertas foram preenchidas com concreto.

Após esta etapa e tendo por base um conhecimento adequado das características de condutividade hidráulica do maciço rochoso, verificadas através de ensaios de perda d'água executados durante as sondagens na área, definiu-se um plano geral de tratamento das fundações, consistindo em:

- a) Execução de uma cortina profunda de injeção, também chamada de cortina principal, posicionada na fundação do núcleo argiloso, ao longo de toda sua extensão;
- b) Execução, nesta mesma cortina, no trecho do leito do rio de cinco linhas complementares de injeção, sendo três a montante e duas a jusante da cortina principal;
- c) Execução, nas duas ombreiras, de uma malha de furos de injeção rasos, de modo a fornecer ao maciço rochoso, em sua porção superficial, certo caráter de estanqueidade;
- d) Tratamento da superfície de lançamento do núcleo e transições através de gunitagem em áreas muito fraturadas, e emprego de concreto de regularização, em toda a área da barragem onde ocorressem desníveis acentuados na superfície de fundação.

Os trabalhos realizados tiveram o objetivo de obter os caminhos preferenciais de percolação identificados no interior do maciço rochoso, contribuindo, desta forma, para a diminuição das vazões d'água de percolação que iriam atingir o sistema de drenagem implantado na fundação da barragem à jusante (Figura 26)

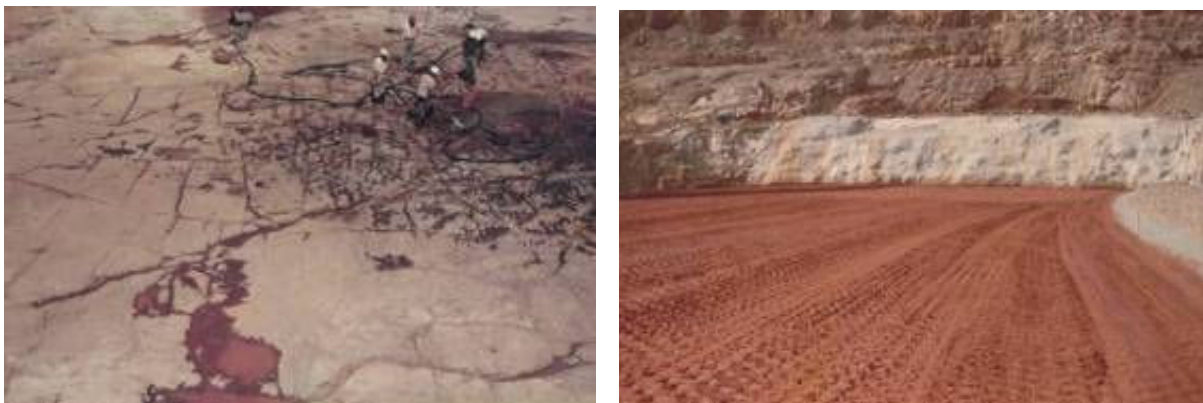


Figura 26: Fundação da barragem com fissuras e percolações (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, março/1976) e tratamento da ombreira esquerda por gunitagem e concreto projetado na região do núcleo (Fonte: Arquivo técnico Itaúba, setembro/1976)

Todos os furos de sondagem na área da barragem foram obturados com calda de cimento, salvo os previstos para utilização como drenos ou piezômetros, cuja instalação foi iniciada logo após o término da sondagem. Os furos da cortina principal profunda foram dispostos ao longo de uma linha situada a uma distância L (largura da base) dividido por 4, isto é, aproximadamente, 90m do pé de montante da barragem (ver detalhe na Figura 27).

A furação foi feita por meio de sonda rotativa de 2 1/2" de diâmetro dotada de punho especial para lavagem com ar e água e os furos executados inclinados 10° para montante, em relação à vertical. As profundidades atingiram de 35 a 40 metros, em função das condições geológicas locais. A sequência de perfuração e injeção obedeceu o conceito de furos primários, secundários e terciários, com espaçamento de 24, 12 e 6 metros respectivamente, resultando num espaçamento final de 3 metros entre furos adjacentes.

Os materiais injetados se constituíram em cimento, areia e bentonita, conjugando-se estes elementos em função das condições de cada local e ocasião. Os traços de calda e argamassa utilizados foram determinados com base em ensaios de laboratório feitos na obra.

Mesmo após três etapas de injeção, o ensaio de permeabilidade nos furos terciários da cortina principal profunda indicou a permanência, nesta fundação, de áreas de permeabilidade residual elevada:

- a) Nas duas ombreiras, numa faixa superficial de 5 a 10 metros de espessura;
- b) No maciço rochoso da ombreira direita acima da cota 150 m;
- c) Em toda a fundação do trecho do leito do rio, até profundidades da ordem de 15 a 20 metros (cotas 100 a 80 m);
- d) Na fundação do trecho do leito do rio, entorno do contato entre os derrames 1 e 2 (cotas 70 a 60m).

4.4.2 Barragem de Terra e Enrocamento

Estudos preliminares para construção da Barragem de Itaúba mostraram que o custo de uma barragem de gravidade de concreto com o vertedouro na parte central seria mais dispendioso do que a execução de uma barragem de enrocamento, principalmente pela escassez de areia natural no local. Além disso, a rocha removida da tomada d'água e vertedouro poderia ser empregada na construção de uma barragem tipo enrocamento, perfazendo quase a metade do volume da mesma. O material impermeável para o núcleo existia à cerca de 4 km da barragem, enquanto que o restante do material necessário para o enrocamento foi extraído de uma pedreira aberta nas proximidades.

Por causa dos materiais disponíveis no entorno, foi escolhido, portanto, um perfil de enrocamento com delgado núcleo impermeável de argila, com cerca de 55m de largura na base e 5 m no topo. O núcleo foi executado inclinado para permitir a construção do enrocamento em épocas de chuva, quando a parte argilosa não poderia ser construída devido à controlada condição de umidade necessária para obter grau de compactação de acordo com o projeto. O perfil da barragem tem inclinação do enrocamento de 1,9:1,0 à montante e 1,6:1,0 à jusante e o núcleo, inclinação de 0,77:1,0 (Figura 27).

Em vista da escassez de material natural, os filtros tiveram espessura mínima compatível com um projeto conservador. As rochas da escavação e da pedreira foram selecionadas de modo que o material fraturado e parcialmente alterado fosse colocado na vizinhança do núcleo e dos filtros, enquanto que o material proveniente da camada do basalto-maciço foi utilizado nas partes exteriores do maciço da barragem. As enscadeiras de montante e jusante foram incorporadas à estrutura.

O zoneamento de materiais nesta estrutura é descrito de forma complementar na Figura 27 e Quadro 12.

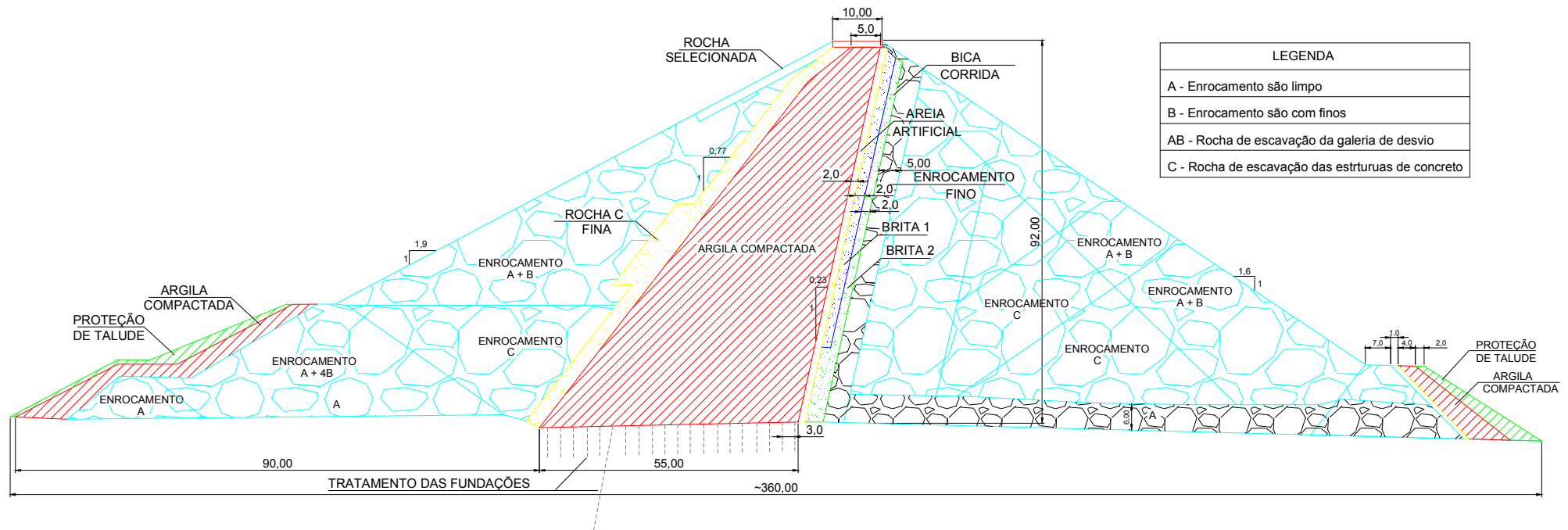


Figura 27: Seção transversal da Barragem de Itaúba na estaca 11 (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-62/1974 - adaptado)

Quadro 12: Descrição dos materiais utilizados na Barragem

Zona	Descrição do material
A	Enrocamento são limpo de basalto denso
B	Enrocamento são ou pouco alterado, duro
A+B	Enrocamento misto de basalto proveniente da galeria de desvio
T	Material de transição
C	Rocha de escavação das estruturas de concreto

4.4.3 Execução do Núcleo Impermeável

A área de empréstimo do material para o núcleo, denominada área C, forneceu um solo residual de basalto, sendo argila pouco arenosa nos primeiros 4 metros passando a argila siltosa em maiores profundidades. Na Tabela 13 observam-se os parâmetros geotécnicos que caracterizam os materiais utilizados no núcleo.

Tabela 13: Parâmetros geotécnicos dos materiais do núcleo de Itaúba

Solo	% de argila	% de areia	LL (%)	IP (%)	Hot (%)	γ_s max (g/cm ³)
Superior: argila pouco arenosa	50 a 70	5 a 20	55 a 80	25 a 40	25 a 40	1,30 a 1,40
Inferior: argila siltosa	20 a 35	15 a 30	50 a 60	15 a 30	35 a 45	1,20 a 1,30

Com o intuito de se prever as pressões neutras que se desenvolveriam no maciço, além das envoltórias de resistência para definição das configurações dos taludes, foram executados ensaios de compressão triaxial do tipo não drenado, em que se manteve constante a razão σ_3/σ_1 das tensões principais durante o ensaio até se atingir $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$. A partir dessa pressão o corpo de prova era rompido por acréscimos de tensão axial, mantendo-se a pressão confinante constante.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento em termos de pressões efetivas foram de 0,55 e 0,65 kg/cm² para coesão e 24° para o ângulo de atrito. Com base nesses resultados adotaram-se parâmetros para as análises de estabilidade da Barragem. Assim, em geral, adotou-se coesão de 0,3 kg/cm², ângulo de atrito de 22° e parâmetro de pressão neutra B de 40%, verificando-se, no entanto, a estabilidade para outros parâmetros.

Além deste, também foram executados ensaios para caracterização da plasticidade, compactação do material, determinação das pressões efetivas e umidade ideal de compactação.

Foi também construído um aterro experimental na área C, jazida que forneceu o volume mais significativo de solo para o núcleo. O intuito foi observar a locomoção do equipamento de

compactação sem provocar laminação e obter o grau de compactação em diversos teores de umidade.

Após estes ensaios, ficou definido que a espessura da camada de compactação do núcleo seria de 20 cm, executada em, no mínimo 6 passadas com rolo Hyster Tamping modelo C410 A. O grau de compactação mínimo foi de 96% e a umidade variou entre $h_o - 1\%$ e $h_o + 3\%$.

4.4.4 Execução das Camadas de Transição e Filtro

Entre o núcleo argiloso e as abas de enrocamento (à montante e jusante), existem duas camadas de transição:

- a) Adjacente ao núcleo: constituída de material fino, silto-argiloso-arenoso;
- b) Adjacente às abas do enrocamento: constituída de material grosso, areno-pedregulhoso.

A função das camadas de transição é evitar o contato direto de dois materiais de características extremamente diversa: a argila do núcleo e o enrocamento. Tal contato constitui descontinuidades que poderão, conforme historicamente confirmado, acarretar riscos para o comportamento do maciço sob o ponto de vista de piping (no talude de jusante quando o reservatório estiver cheio e no de montante se houver esvaziamento do reservatório).

A granulometria dos materiais de transição da Barragem de Itaúba foi definida através da correlação de diâmetros D15(F), D50(F) e D60(F) de cada camada de transição anterior ou cada camada filtrante com os diâmetros D15(M), D50(M) e D85(M) do material a drenar. Foram estabelecidas duas faixas granulométricas para transições fina e grossa de modo a encaixá-las entre as camadas de argila e enrocamento. A granulometria ideal para as camadas de transição foram compostas artificialmente com a mistura de dois materiais já que não existia a granulometria especificada nas áreas de empréstimo natural.

Para definição da camada de transição, foi executado um ensaio com permeâmetro especial de grandes dimensões. O intuito era verificar a eficiência das camadas de transição, analisar o comportamento do material a ser utilizado no núcleo, identificar eventual deslocamento de partículas do solo que compõe a transição para o interior do enrocamento e determinar o coeficiente de permeabilidade dos diversos materiais utilizados. A vazão de percolação para o modelo foi calculada pela lei de Darcy, resultando em vazão de 4 litros/hora.

Deste ensaio, ficou definido que para o filtro e transições seriam utilizadas areia artificial, bica corrida e transição de GM. O coeficiente de permeabilidade desses materiais deveriam ser sempre superiores à 5×10^{-3} cm/seg e a percentagem de finos, passando na peneira 200 inferior a 5%, exceto do material GM que poderia alcançar até 10%. Tomando-se como base as granulometrias do enrocamento e da areia artificial, foi estabelecida a faixa granulométrica da bica corrida (Figura 28).

Os materiais do filtro foram compactados com o mesmo rolo liso vibratório do enrocamento, a espessura das camadas foram de 40 cm e o número mínimo de passadas foi 2.

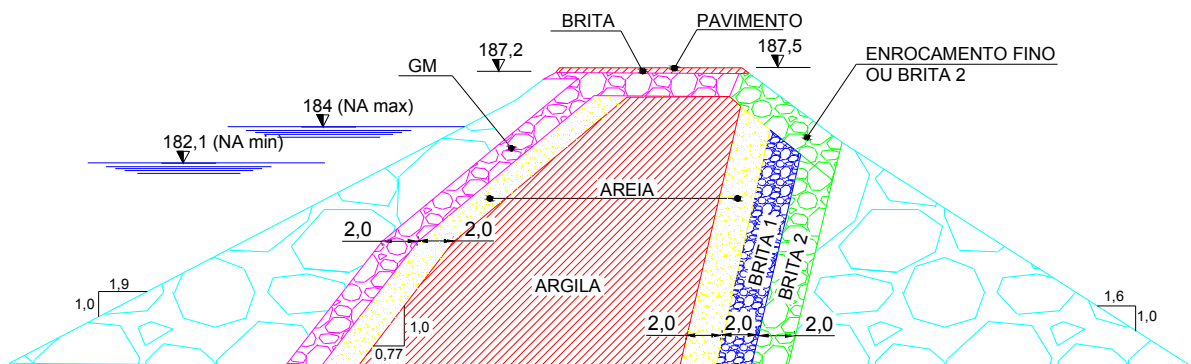


Figura 28: Detalhe das camadas de transição (Fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-02/1977)

Com relação ao projeto de drenagem interna, adotou-se emprego de filtro interceptor inclinado de areia e dreno horizontal. O filtro inclinado, situado logo à jusante do eixo tem a função de proteger o talude de jusante contra erosões que poderiam ser provocadas pela percolação de água de eventuais fissuras transversais no maciço.

O filtro horizontal, no contato com a fundação, drena a água que percola pelo maciço e pelas ombreiras. O coletor principal deste sistema de drenagem sai num ponto específico do pé da barragem (ponto mais baixo da antiga calha do rio) e é monitorado, atualmente, por um medidor de vazão tipo trapezoidal.



Figura 29: Execução das transições e núcleo da Barragem de Itaúba (17/05/1976)

As britas denominadas Brita 1 e Brita 2, utilizadas para execução do filtro, foram ensaiadas no laboratório do IPT com o intuito de verificar o recalque que sofreriam após saturação e subpressão do aterro da barragem. Os resultados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados dos ensaios nas Britas 1 e 2 de Itaúba

Britas ensaiadas	Porcentagem de recalque: (deformação / altura do Corpo de prova) x 100%							
	Umidade natural		Devido à saturação a 20kgf/cm ²	Saturado			Umidade natural + saturado Carregamento 0 a 25 kgf/cm ²	Saturado Descarg a 25 a 0 kgf/cm ²
	Carregamento 0 a 20 kgf/cm ²	Fluência a 20 kgf/cm ²		Devido à saturação a 20kgf/cm ²	Carregamento 20 a 25 kgf/cm ²	Fluência a a 25 kgf/cm ²		
Brita 1	0,85%	0,09%	0,31%	0,28%	0,23%	0,20%	1,96%	-0,31%
Brita 2	0,92%	0,07%	0,18%	0,11%	0,23%	0,18%	1,69%	-0,22%

4.4.5 Execução do Enrocamento

O objetivo da execução de abas de enrocamento numa barragem é garantir a estabilidade da mesma nas diversas situações críticas, durante e após a execução da obra. Para Itaúba, o ângulo de atrito está estimado entre 38° e 45°.

A rocha utilizada na compactação dos enrocamentos foi proveniente das escavações para a implantação da galeria de desvio do rio e das estruturas do vertedouro e tomada d'água, bem como de exploração de uma pedreira próxima às obras.

Com o intuito de investigar a compressibilidade dos enrocamentos empregados na construção da barragem, fator importante na análise de recalques diferenciais em barragens de terra e enrocamento, bem como a possibilidade de se aumentar a espessura da camada lançada na execução, construiu-se um enrocamento experimental. Posteriormente, este enrocamento foi incorporado ao maciço junto ao pé da barragem.

O enrocamento foi executado com as rochas tipo A (de pedreira sã e limpa) e C (com finos e blocos alterados e alteráveis) compactadas em espessuras de 0,80 e 1,60 m e instrumentado com 8 caixas suecas para medição dos deslocamentos. A altura total foi de 9,60m, equivalente a 6 camadas de maior espessura e o espalhamento foi feito com trator D8 e compactação com rolo vibratório.

Como se sabia que as pressões sobre o enrocamento experimental seriam bem inferiores às finais na Barragem, poderia ocorrer, como já constatado em outros enrocamentos, pequenos deslocamentos até certa pressão, a partir daí, os deslocamentos aumentariam sensivelmente devido à quebra de grãos. Porém, a referida pressão poderia não ser alcançada no aterro experimental, impossibilitando a previsão mais realística possível de recalques durante a construção e operação da barragem.

Para o cálculo das tensões e deformações da Barragem Itaúba, com os resultados do aterro experimental, foi utilizado um programa de elementos finitos no IPT (Instituto de Pesquisas tecnológicas). Para tanto, era necessário fornecer dados de comportamento mecânico dos materiais. Como não havia disponibilidade de ensaios com os materiais granulares constituintes do maciço e as informações fornecidas pela instrumentação eram poucas e incompletas na época, procedeu-se a uma coleta de dados de obras semelhantes.

Os técnicos tiveram acesso às leituras da instrumentação das Barragens Capivara, Salto Osório e Passo Real, todas construídas com enrocamento basáltico e solo residual de basalto. Foi levado em consideração que as características das rochas que constituem cada enrocamento, tipo de compactação e velocidade de construção poderiam influenciar nos recalques finais.

As medidas de recalques nestas estruturas foram fornecidas por medidores de recalque USBR e inclinômetros (Passo Real), medidor de recalque KM modificado (Capivara) e caixas suecas (Salto Osório).

O estudo, apresentado no Relatório da Análise da Compressibilidade Relativa dos materiais da Barragem de Itaúba (ENGEVIX, 1977), concluiu que para enrocamentos basálticos, o fator predominante na compressibilidade é a compactação e, secundariamente, a qualidade da rocha constituinte. Porém, quando se analisam enrocamentos de rochas distintas, as faixas de compressibilidade correspondentes são determinadas pela qualidade da rocha constituinte e, secundariamente, pelas condições de compactação.

A pesquisa concluiu ainda que para velocidade de construção de 2 a 6m/mês, não se distinguiu influências no recalque durante o período construtivo e pós-construtivo. Todos os enrocamentos analisados apresentaram percentagem de recalque à σ_v (tensão vertical) constante em torno de 20%.

Os recalques pós-construção na argila foram de 13 e 14% para Capivara, 32% em Salto Osório e de 10 a 19% em Passo Real.

A análise do aterro experimental de Itaúba concluiu que a rocha A compactada em camadas de 0,8m foi a menos compressível, seguida (em ordem crescente de compressibilidade) pela rocha A compactada com 1,60m que resultou em compressibilidade praticamente igual a da rocha C com 0,8m de camada e, por fim, a rocha C com 1,60m de camada lançada.

Deste ensaio, ficou definido que o enrocamento seria compactado, em média, em camadas de 80 cm. O equipamento de compactação utilizado foi o rolo liso vibratório de 10 toneladas e o número mínimo de passadas foi 4.

A execução do enrocamento foi feita com molhagem no estoque quando se identificava que havia presença de finos que comprometessem a eficiência da compactação. Esta especificação originou-se da conclusão do ensaio com finos do enrocamento, onde ficou comprovado que, nas zonas externas da barragem, a resistência diminuía sensivelmente quando o material fino criava camadas contínuas, possibilitando o cisalhamento do talude.

Na zona de oscilação da água, na face externa do enrocamento de montante, o chamado rip rap, foi empregado o enrocamento tipo A de maneira uniforme, deixando os blocos maiores, com diâmetro acima de 50 cm, acomodados na superfície do talude para proteção do mesmo.

4.5 INSTRUMENTAÇÃO NA BARRAGEM

Desde a concepção do projeto conceitual de Itaúba, em 1972, já se considerava a necessidade do uso de instrumentação na barragem. O objetivo da instalação era sanar dúvidas sobre o comportamento dos materiais utilizados na construção, tais como verificação das deformações durante e após a execução e poro-pressões a se desenvolverem, principalmente, no núcleo, nas diversas fases da obra.

Victor F.B. de Mello, consultor geotécnico na época da construção, defendeu, num parecer emitido em junho de 1977, a utilização de instrumentação utilizando, como um dos argumentos, o rompimento da Barragem de Teton ocorrido em junho do ano anterior. O consultor citou que o uso de instrumentação em barragens permite o conhecimento do comportamento da mesma possibilitando a melhoria dos projetos posteriores, chamou atenção também para o conhecimento da verdadeira intenção da instalação da instrumentação. Isto é, só é possível a interpretação da leitura de um instrumento se estiver bem claro sua posição de instalação, qual o comportamento previsto em projeto, como foi a execução da obra e, então, comparar com os resultados coletados.

No Quadro 15 ao Quadro 19 apresentam-se os instrumentos instalados na barragem de Itaúba, quantidade, localização, objetivos de sua instalação e representação nas plantas do projeto.

A leitura da instrumentação foi iniciada ainda durante a construção da barragem (1976) e se estendeu até o ano de 1983. Após este período, os monitoramentos foram apenas visuais. Entre os anos de 1994 até 1996, a leitura da instrumentação foi retomada parcialmente.

No ano de 1997, a CEEE-GT passou por um processo parcial de privatização e a leitura da instrumentação foi novamente suspensa, mantendo-se as inspeções visuais na barragem. Em 2006, com o ingresso de novos funcionários na empresa através de concurso público, o trabalho de leitura da instrumentação foi retomado, sendo reiniciada em abril de 2009 até hoje.

Alguns tipos de aparelhos instalados deixaram de funcionar ainda durante os primeiros anos de operação da barragem (caixas suecas, piezômetros tipo pneumático e medidor de pressão total). Outros continuam a serem lidos até hoje. No Quadro 20 e Quadro 21, lista-se o estado de conservação da instrumentação em cada etapa da barragem (construção, enchimento e operação).

Quadro 15: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba

PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS	
Quantidade/ Localização	<p>32 unidades instalados nas seções das estacas 5, 12 e 18, para monitoramento dos seguintes pontos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fundação - Contato Fundação/Maciço - Transição - Núcleo de argila -
Objetivo	<p>Medição das pressões neutras geradas pela construção do maciço sobre a fundação e pela compactação do aterro. Os instalados no filtro, tem o objetivo de verificar a colmatação do mesmo.</p>

Quadro 16: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba
(Continuação)

CÉLULAS DE PRESSÃO TOTAL	
Quantidade/ Localização	<p>17 unidades localizadas na seção da estaca 12+5 para monitoramento dos seguintes pontos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contato Fundação/Maciço no leito de rio - Contato Galeria de desvio/núcleo - Núcleo - Transições
Objetivo	<p>Na galeria de desvio: verificar o comportamento da estrutura em arco submetida a empuxo confinado.</p> <p>Na fundação e no maciço: verificar o comportamento da rocha em relação aos esforços transmitidos pela estrutura além de comprovar o modelo matemático considerado para o cálculo estrutural quanto às tensões e deformações</p>

Quadro 17: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba
(Continuação)

PIEZÔMETROS CASAGRANDE	
Quantidade/ Localização	10 unid. na crista da barragem à montante, denominados C e C' 7 unidades na jusante da barragem, ombreiras e pé, denominados PJ
Objetivo	PJ: verificar a eficiência da drenagem através dos poços de alívio CC' estão no núcleo e serviram para controle da estabilidade do talude de montante durante a construção
MEDIDORES DE VAZÃO	
Quantidade/ Localização	2 unidades tipo trapezoidal à jusante da Barragem
Objetivo	Controle da percolação através dos poços de alívio (PA) e filtro da barragem

Reservatório

Piezômetros CC'

Galeria de desvio

Ombreira Direita

Piezômetros PJ

Poço Alívio (PA)

Ombreira Esquerda

Vazão pelo Filtro

21 19A 19

18A 18 3A

Vazão Total (filtro + PA)

Quadro 18: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba
(Continuação)

INCLINÔMETROS	
Quantidade/ Localização	5 unidades instalados nas Estaca 5, 12 e 18
Objetivo	Medição das deformações horizontais e verticais da seção
CAIXAS SUECAS	
Quantidade/ Localização	13 unidades instalados na seção da estaca 12: para monitoramento dos seguintes pontos: <ul style="list-style-type: none"> - Enrocamento de montante - Núcleo - Enrocamento de jusante
Objetivo	Medição dos recalques relativos dos diversos materiais de construção da barragem
MEDIDOR DE RECALQUE KM	
Quantidade/ Localização	1 unidade instalado na Estaca 12
Objetivo	Medição do recalque na seção de maior altura da barragem (leito do rio)

Quadro 19: Descrição da instrumentação instalada em Itaúba
(Continuação)

MARCOS DE DESLOCAMENTO SUPERFICIAL	
Quantidade/ Localização	15 unidades distribuídos nas bermas 180, 160, 140 e 120
Objetivo	Monitorar os deslocamentos superficiais horizontais e verticais da Barragem

Os dados de leitura coletados até o ano de 1996 existiam somente em planilhas datilografadas e não possuíam gráficos correlacionando as diversas leituras já executadas e a relação entre os instrumentos. Os dados coletados desde 2009 são registrados em planilha eletrônica, mas não continham os dados de leitura desde a construção da barragem que possibilitasse análise comparativa e conclusiva quanto às condições da instrumentação.

Nos capítulos a seguir, são apresentadas a coleta e unificação destas informações extremamente relevantes, possibilitando uma análise mais apurada da instrumentação e conclusão sobre estado atual da estrutura.

As análises são divididas em quantificação dos deslocamentos verticais e horizontais (medidores de deslocamento), poro-pressões (piezômetros tipo casagrande), recalques (medidores de recalque) e drenagem (medidores de vazão), instrumentação operante e monitorada atualmente pela equipe da CEEE-GT.

Quadro 20: Histórico do estado de conservação da instrumentação na Barragem de Itaúba

Instrumento	Análise em set/76 (construção)*1	Após enchimento do reservatório*2	Situação em Maio/1996	Situação em Abril/2009	Situação em agosto/2013
Piezômetros Pneumáticos	Injeções de ar com pressão elevada podiam romper a membrana dos instrumentos (3 piezômetros já danificados);	3 funcionando de forma precário e 2 danificados	17 unid. funcionando 15 unid. danificados	Todos danificados	Demolição e remoção da cabine de leitura
Célula de pressão total	-	A resposta obtida com essas células estavam bastante precárias, com elevado índice de inutilização dos instrumentos	5 unid. funcionando 11 danificadas	Todos danificados	Demolição e remoção da cabine de leitura
Caixas Suecas	Desempenho insatisfatório devido erros topográficos na determinação das cotas de referência. Detectou-se que quando a temperatura estava mais alta, o tubo de leitura em PVC dilatava resultando em nível d'água mais baixo que o real. Pressões no tubo de leitura por causa de alguma obstrução elevavam o nível d'água, havia preocupação também quanto à precisão e definição da leitura zero pois a cabine era provisória e podia oscilar e a leitura zero seria perdida. Ocorria também evaporação da água e bolhas de ar na tubulação provocando leituras equivocadas.	Todas unidades funcionando	Todas danificadas	Todos danificados	Demolição e remoção da cabine de leitura
Inclinômetros	Falta de isolamento elétrico do aparelho de leitura causava erros	As leituras foram suspensas, sem motivo detalhado	4 unid. funcionando 1 danificada	Sem leituras	Sem leituras

Quadro 21: Histórico do estado de conservação da instrumentação na Barragem de Itaúba (continuação)

Instrumento	Análise em set/76 (construção)*1	Após enchimento do reservatório*2	Situação em Maio/1996	Situação em Abril/2009	Situação em agosto/2013
Piezômetros casagrande	-	Todas unid. funcionando	Todas unid. funcionando	Retomada leitura dos PJ	Leitura dos CC' e PJ
Medidor de recalque KM	Acidentes com o instrumento por causa do tubo aflorante, tal como choques de equipamentos. O medidor de recalque KM foi atingido, no mínimo 3 vezes, durante a execução do aterro do núcleo.	unid. funcionando	unid. funcionando	Sem leituras	Monitorado a cada 1 mês
Marcos de deslocamento	Sem leituras	Iniciadas as leituras	Leitura apenas dos recalques	Sem leituras	Os marcos foram recuperados e as leituras eram semestrais em 2011. Em 2013 foram suspensas por identificação de aparelho de leitura inadequado
Medidor de vazão	Não instalado	O medidor de vazão à jusante da barragem foi instalado em jan/1979	Danificado	Danificado	Instalados 2 medidores de vazão tipo trapezoidal

(1) – Conforme relatório: ENGEVIX S.A (1976) Análise de Instrumentação. Relatório 347-3-2. Pg 1 à 13

(2) – Conforme relatório: ENGEVIX S.A (1979) Comportamento da barragem perante a 2ª fase de enchimento do reservatório. Pg 1 à 14 e ENGEVIX S.A (1978) Relatório Interpretativo do Enchimento do Reservatório até a cota 165m. Relatório 370-3-2. Pg 1 à 18

5 INSTRUMENTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO E PRESSÃO

Há um consenso de que a adoção de drenagem em fundações de barragens é fundamental para reduzir as subpressões. Entretanto, o controle de percolação através de fundações de barragens por meio de dispositivos de drenagem e/ou impermeabilização por injeção de calda de cimento, ainda é muito polêmico. Dependendo da obra, um dado tipo de tratamento poderá ter vantagem sobre o outro e, em muitos casos, uma solução mais adequada seria a conjugação de diferentes metodologias de tratamento.

Na barragem de Itaúba, foi adotada cortina de injeção para impermeabilização da fundação e sistema de drenagem à jusante para adequado encaminhamento das percolações remanescentes. Esta solução foi definida após diversos estudos de campo, laboratório e cálculos estimativos para definição das previsões de vazões de percolação através da fundação e pelo maciço. Para drenagem interna do maciço foi adotado o sistema de filtro.

Neste capítulo será apresentada a análise da drenagem e pressão na Barragem de Itaúba.

5.1 MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BARRAGEM DE ITAÚBA

O local onde a Barragem de Itaúba foi construída trata-se de uma zona de derrames basálticos com descontinuidades de grande extensão lateral representadas pelos contatos entre os sucessivos derrames. Estes contatos é que condicionam o comportamento hidrogeotécnico do maciço de rocha de Itaúba (Guidicini, 1972). Por isso, conforme descrito no capítulo 4.4.1, foi executado tratamento das fundações e instalação de poços de alívio para drenagem das infiltrações remanescentes.

A instalação de poços de alívio na Barragem de Itaúba foi projetada ao longo das ombreiras e pé. Para medição da percolação e verificação das premissas de projeto, foi instalado um medidor de vazão tipo triangular no pé da estrutura. Este medidor totalizava a vazão de percolação através da barragem e da fundação coletada pelos filtros inclinado e horizontal com saída no ponto mais baixo do terreno (antiga calha do rio) e a percolação através dos

drenos de pé. As vazões foram monitoradas desde janeiro de 1979 até março de 1995 quando o medidor de vazão, em aço, foi furtado.

Em 2013, foram construídas canaletas para drenagem da água no pé da estrutura e instalados dois novos medidores de vazão. O tipo de medidor de vazão selecionado foi o trapezoidal, já que a vazão medida poderia ultrapassar, em dias de chuva, o limite de leitura de um medidor triangular. O medidor de vazão denominado MV7 mede a vazão de percolação através dos filtros internos e o denominado MV8 totaliza a vazão dos filtros e dos drenos de pé (Figura 30).

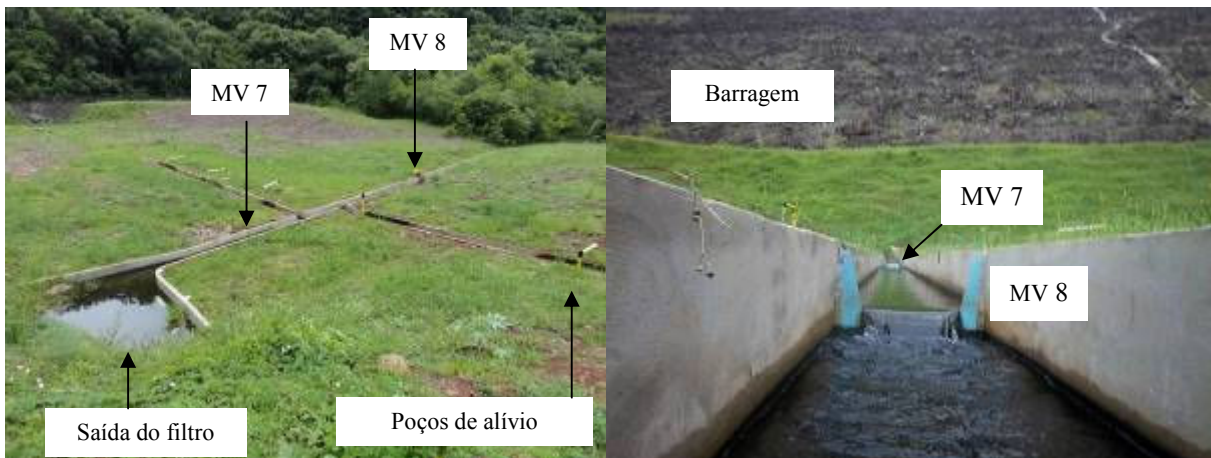


Figura 30: Vista do pé da barragem e localização dos medidores de vazão

Na descrição a seguir, apresentam-se as previsões de drenagem para Barragem de Itaúba feitas através de cálculos empíricos, a verificação através da confecção da rede de fluxo, o comportamento perante o enchimento do reservatório e, enfim, o histórico de leitura da instrumentação após 35 anos de operação da barragem. Paralelo a isso, as percolações também serão comparadas com outras barragens brasileiras de características semelhantes.

5.1.1 Previsão inicial de percolação baseada em cálculo estimativo (1972 e 1973)

Durante a execução das sondagens rotativas na área da Barragem de Itaúba foram efetuados, ao longo dos furos, ensaios de perda d'água para determinar o grau de fissuração e consequente permeabilidade do embasamento rochoso.

Com os dados deste ensaio foi feito o cálculo empírico para previsão da percolação através do maciço rochoso com o intuito de determinar a necessidade ou não de tratamento de fundações, conforme descrito no relatório ENGEVIX ST-287/3/1 de dezembro de 1972.

Segundo o relatório, a previsão final de percolação pela fundação da Barragem de Itaúba foi de 400 l/min. Esta vazão foi considerada baixa pelos projetistas, porém admissível para barragem do porte de Itaúba.

Para estimativa das vazões através do maciço da barragem, o relatório ENGEVIX ST – 355/3/2 de abril de 1973 descreve o estudo de rede de fluxo.

O traçado da rede de fluxo é de grande importância devido a dois aspectos principais:

- a) Avaliar as prováveis perdas d'água através do corpo da barragem;
- b) Obter os elementos necessários (pressões hidrostáticas) para os cálculos da estabilidade da estrutura.

Uma rede de fluxo ou de percolação representa duas famílias de curvas ortogonais entre si, as linhas de fluxo e as linhas equipotenciais, que, respeitando as condições de fronteira, constitui a solução gráfica para um problema de percolação bidimensional.

As linhas de fluxo traduzem a trajetória das partículas de água no maciço terroso, quando estas se deslocam de montante para jusante. As linhas equipotenciais são linhas ao longo das quais a carga hidráulica é constante, isto é, se um piezômetro for colocado em qualquer ponto de uma linha equipotencial, a coluna d'água estará sempre na mesma altura.

Após o cálculo da rede de fluxo e estimativas de percolação pela fundação, os projetistas concluíram que a percolação total pelo maciço e fundação de Itaúba seria de:

- a) Vazão pela fundação: $Q_f = 24,1 \text{ m}^3/\text{h} = 400 \text{ l/min}$ (98,6% da vazão total);
- b) Vazão pelo núcleo: $Q_n = 0,34 \text{ m}^3/\text{h} = 5,7 \text{ l/min}$ (1,4% da vazão total);
- c) Total: $24,44 \text{ m}^3/\text{hr} = 405,7 \text{ l/min}$

Baseados nestes cálculos, feitos a partir das sondagens preliminares no local da barragem, concluiu-se que as percolações seriam muito baixas e por isso, provavelmente, não seria necessário tratamento de fundações. Porém, os projetistas estavam cientes que isto só poderia ser afirmado após a limpeza e verificação das fundações e execução de novas sondagens e ensaios de permeabilidade.

Conforme descrito no capítulo 4, isto de fato ocorreu, e os ensaios de permeabilidade comprovaram a necessidade de tratamento de fundação e complementação com sistema de drenagem. As vazões que realmente ocorreram na barragem, monitoradas pela instrumentação, são apresentadas nos itens a seguir.

5.1.2 Período Construtivo (1973 a 1978)

O sistema de drenagem na fundação da Barragem de Itaúba baseou-se na abertura de poços de alívio profundos (intercalados com piezômetros) instalados à jusante ao longo de determinadas feições geológicas que constituíam caminhos preferenciais de percolação. A finalidade era drenar e propiciar alívio de subpressões nas principais descontinuidades de elevada condutividade hidráulica, identificadas durante o tratamento de fundação e ensaios de perda d'água. Os piezômetros foram instalados nas descontinuidades principais para verificação da eficiência do sistema de drenagem.

Foi programada a execução de 39 furos, sendo 5 piezômetros e 34 poços de alívio, numa metragem total aproximada de 1.220 m com espaçamento médio de 12 m de centro a centro dos furos. No local, os drenos foram adaptados à topografia encontrada. Além destes furos, foi necessária a inserção de mais 5 poços de alívio (3A, 17A, 18A, 19A e 20A) no pé, pois durante o primeiro enchimento do reservatório, ocorreram percolações excedentes na região do antigo leito do rio.

Os furos são verticais com 3" de diâmetro e foram executados por sonda rotativa, sempre com acompanhamento do geólogo que determinou as cotas finais de perfuração. As cotas atingidas por piezômetros e poços de alívio foram fixadas aproximadamente em projeto. Durante a execução foram sendo confirmadas e ajustadas de modo a serem atingidos e superados em um metro os contatos, juntas e falhas identificadas nas sondagens. A profundidade dos drenos varia entre 25 m nas ombreiras a 40 m no leito do rio.

No caso da instalação dos piezômetros, exigiu-se que o horizonte programado para alojá-los apresentasse realmente valor elevado de condutividade hidráulica, com perda d'água específica superior ou igual a 1 litro/minuto x metro x atm. Caso este valor não fosse atingido, a cota de instalação deveria ser modificada, instalando-se o instrumento na cota imediatamente mais elevada que tivesse apresentado o valor exigido.

Nas Figura 31 e Figura 32 é apresentada a vista frontal dos drenos e piezômetro sobre a figura dos derrames basálticos, já apresentada na Figura 25 do capítulo 3 para melhor entendimento do comportamento da drenagem.

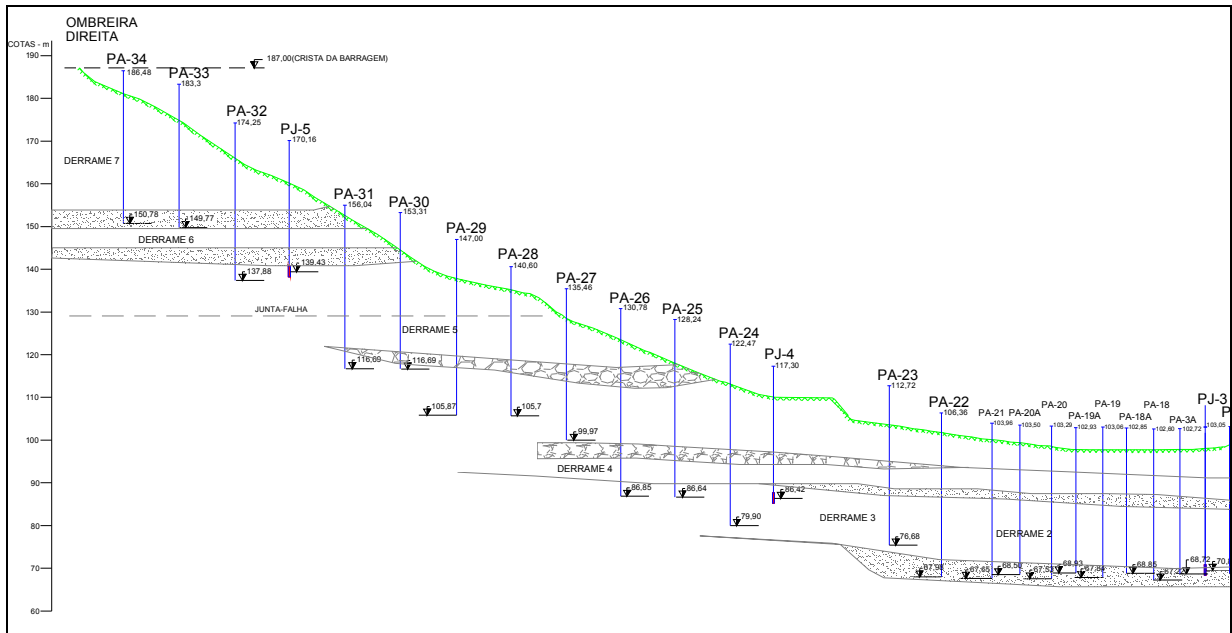


Figura 31: Drenos e piezômetros no pé da barragem e ombreira direita

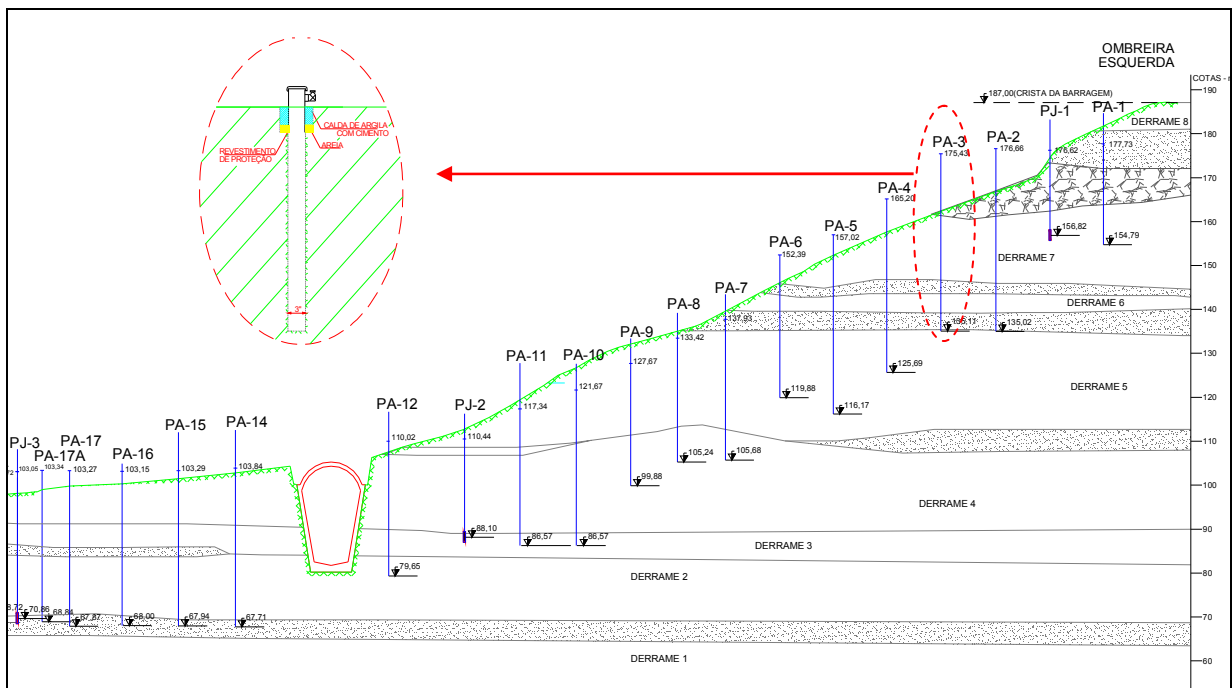


Figura 32: Drenos e piezômetros no pé da barragem e ombreira esquerda e detalhamento do dreno

No capítulo 4.4.1 foi descrito o tratamento de fundações na barragem de Itaúba, onde, mesmo após as três etapas de injeção, os engenheiros e geólogos constataram permanência de áreas com permeabilidade residual elevada. Alguns drenos foram instalados em pontos estratégicos, com o intuito de drenar estas percolações remanescentes. O entendimento do propósito e localização de cada dreno e piezômetro é importante para a análise da drenagem histórica apresentada nos itens a seguir. Nas Figura 33 e Figura 34 são apresentadas a vista frontal dos drenos e piezômetros sobre o mapa do resultado do ensaio de infiltração executado após a terceira e última etapa de injeções no maciço.

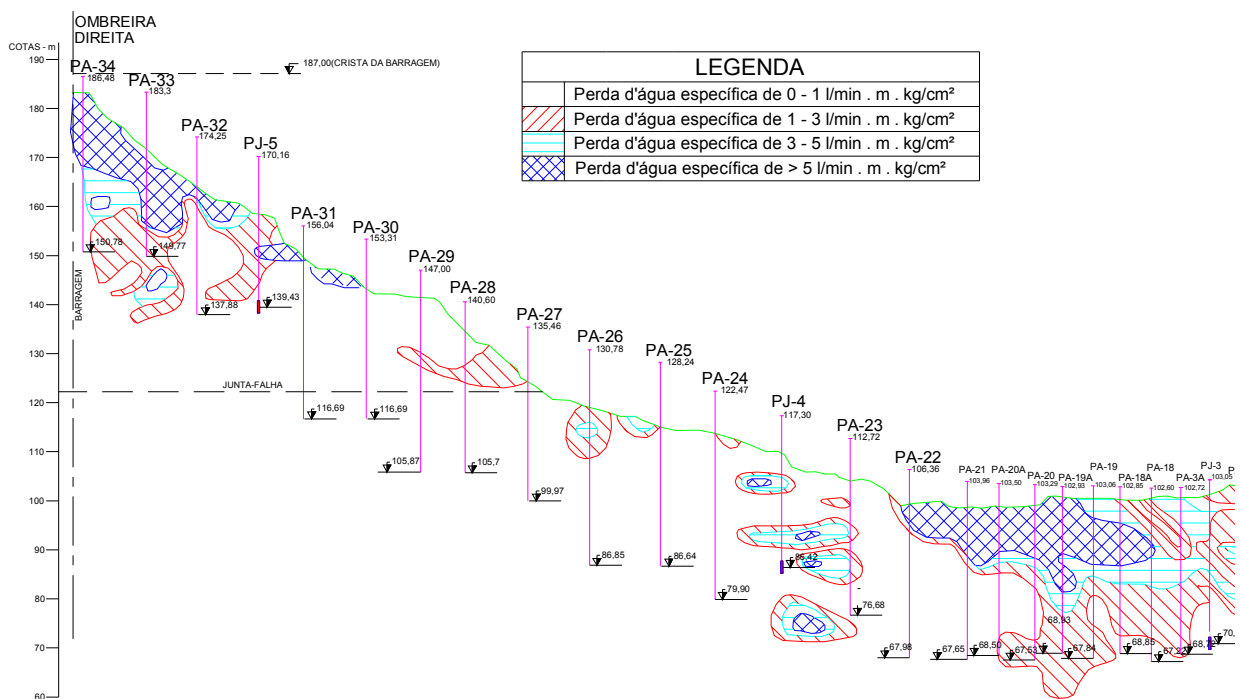


Figura 33 Drenos e piezômetros da ombreira direita e resultado do ensaio de perda d'água

Os poços de alívio PA-1 (ombreira esquerda) e PA-33 e 34 (ombreira direita) atravessam uma zona com faixa superficial de 5 a 10 metros com percolação remanescente identificada mesmo depois de finalizadas as etapas de injeção.

O PA-32 drena a região remanescente identificada acima da cota 150 na ombreira direita.

Os drenos PA-10 ao 26 concentram-se na fundação, onde foi identificada percolação remanescente entre 15 e 20 m abaixo do terreno natural. Além disso, os PA-14 a 22 concentram-se na drenagem dos derrames 1 e 2 (cotas 60 a 70). Os poços de alívio PA-12 e PA-13 situam-se a pequena distância do perfil de escavação da antiga galeria de desvio, sendo inclinados de 10° em direção a ela.

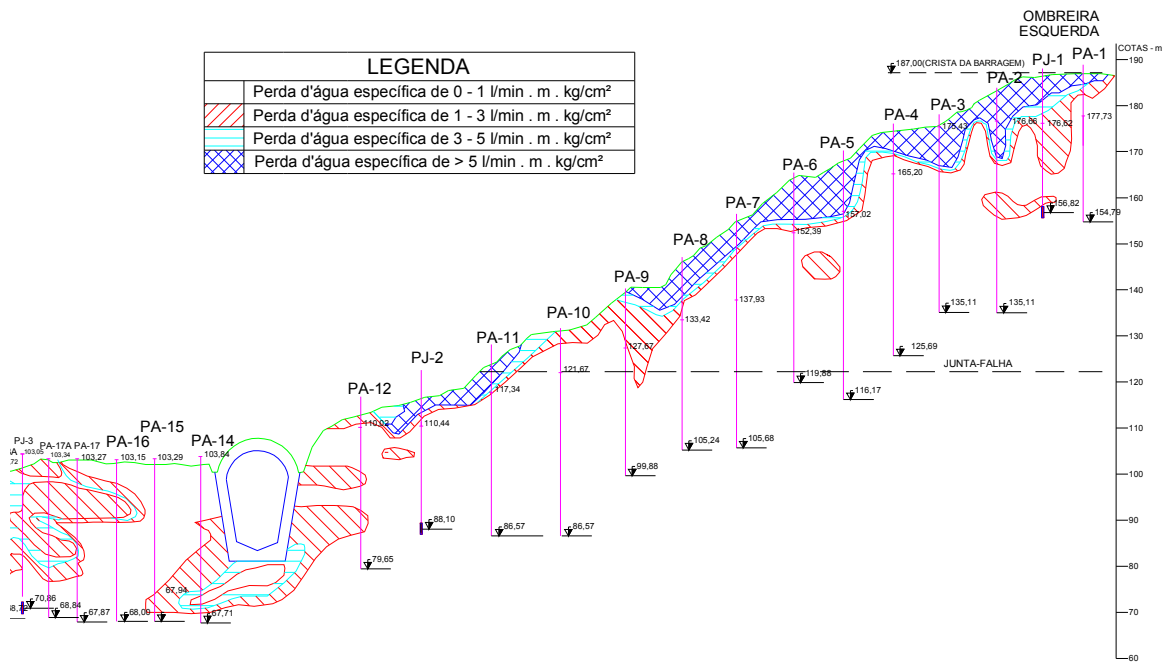


Figura 34: Drenos e piezômetros da ombreira esquerda e resultado do ensaio de perda d'água

A drenagem da água que atravessa o maciço da barragem é feita por um filtro interno à estrutura. As transições e filtros foram executados à medida que o núcleo da barragem era construído conforme apresentado item 4.4.4. A saída do filtro concentra-se no ponto mais baixo da fundação da barragem, antiga calha do rio, entre os drenos PA- 18A e 19.

5.1.3 Enchimento do reservatório (abril a agosto de 1978)

Durante o primeiro enchimento do reservatório (até a cota 165), identificou-se, na ombreira esquerda, que o lençol freático se encontrava entre 20 e 25 m de profundidade, acompanhando, aproximadamente a superfície do terreno, indicando uma drenagem natural profunda dirigida à galeria de desvio (ver Figura 36).

Já no leito do rio e margem direita, até a cota 150 m, o lençol freático estava próximo à superfície, seguindo sub-horizontal a partir desta cota em direção à ombreira direita, o que indicava, provavelmente, uma feição geológica de alta condutividade.

Seis drenos verteram água durante o primeiro enchimento (PA-26, 25, 20, 19, 18 e 14), destacando-se o PA-18 com vazão de até 200 l/min. De acordo com os projetistas, a vazão de cada dreno era limitada em 300 l/min aproximadamente, por isso recomendou-se a perfuração de drenos intermediários na região entre os PA-17 a 21, prevendo-se que durante o segundo enchimento as vazões ultrapassariam a capacidade dos drenos.

Durante o segundo enchimento do reservatório (até a cota máxima 184), o comportamento do nível freático na ombreira esquerda continuava fortemente influenciado pela galeria de desvio que funcionou como um grande coletor, drenando toda a ombreira. O nível freático na ombreira acompanhava a superfície do terreno natural a uma profundidade de 15 a 20 m. Exceção se fez ao PA-5 que apresentava um nível d'água muito mais elevado que os demais, causando dúvidas quanto ao seu comportamento. Foi recomendada checagem de sua localização e limpeza com jato d'água ou ar e novo ensaio de rebaixamento d'água.

No leito do rio o nível freático encontrou-se próximo a superfície, tendo sido eficaz a perfuração de drenos intermediários (3A, 17A, 18A, 19A e 20A) conforme solicitado após verificação do comportamento perante o primeiro enchimento do reservatório.

Na ombreira direita o nível d'água elevou-se progressivamente. Na região entre os derrames PA 24 ao 27, correspondente ao contato entre os derrames 4 e 5, as pressões crescentes nesta zona indicaram a necessidade de execução de três drenos intermediários até a cota 86, conforme mostravam os projetos da época (Figura 35), porém, por algum motivo, os mesmos não foram executados.

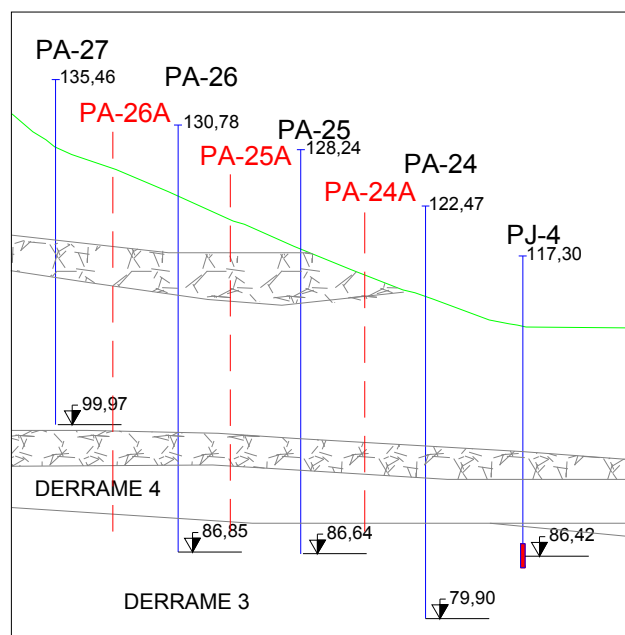


Figura 35: Drenos projetados PA-26A, 25A e 24A para rebaixamento do nível piezométrico na ombreira direita.

O nível d'água no PA-30 também subiu sistematicamente, mas os projetistas não indicaram a necessidade de instalação de drenos intermediários.

Resumindo a descrição apresentada, na Figura 36 é possível observar o comportamento da linha d'água à jusante da barragem em três situações: reservatório seco, após o primeiro enchimento e após o segundo enchimento.

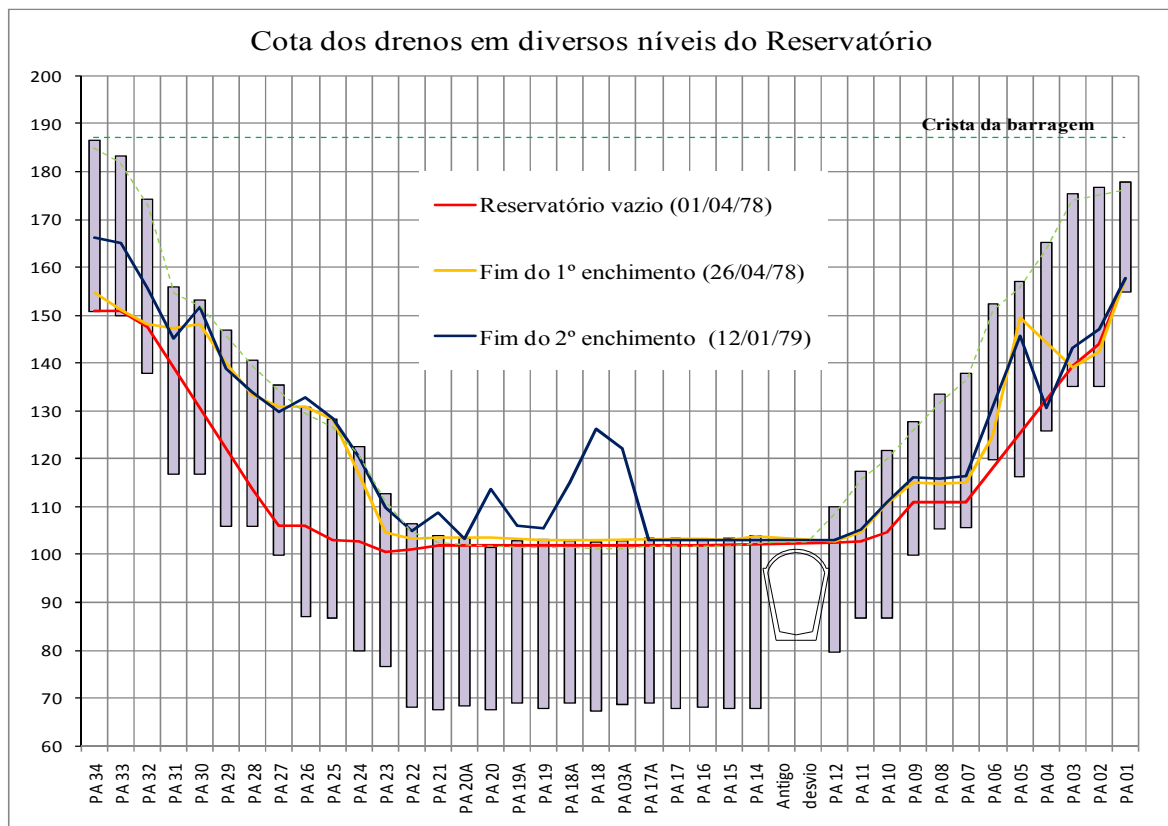


Figura 36: Comportamento da linha d'água perante o enchimento do reservatório

O medidor de vazão que totalizava as vazões dos filtros horizontal e inclinado da barragem e dos poços de alívio foi instalado apenas em janeiro de 1979, portanto não é possível descrever o comportamento exclusivo da drenagem interna da estrutura perante o enchimento do reservatório.

Porém, a vazão efluente à barragem, que totaliza as percolações pela fundação, drenagem pelo filtro interno e percolações pela comporta de fechamento do desvio do rio, foi monitorada e seu comportamento é apresentado na Figura 37.

Para o primeiro enchimento do reservatório, a galeria de desvio foi fechada com uma comporta pela montante. Com a finalidade de executar o “plug” ou “tampão” (concretagem da galeria de desvio do rio após o fechamento das comportas), a antiga galeria de desvio foi drenada.

Esta galeria foi drenada duas vezes (em abril e entre julho e dezembro de 1978) em função do incidente ocorrido durante o fechamento das comportas, conforme descrito no capítulo 4. Esta drenagem da galeria alterou o comportamento de alguns poços de alívio, sendo, portanto importante para a compreensão de quais poços de alívio trabalham em conjunto e de sua eficiência na drenagem dos derrames em que estão instalados.

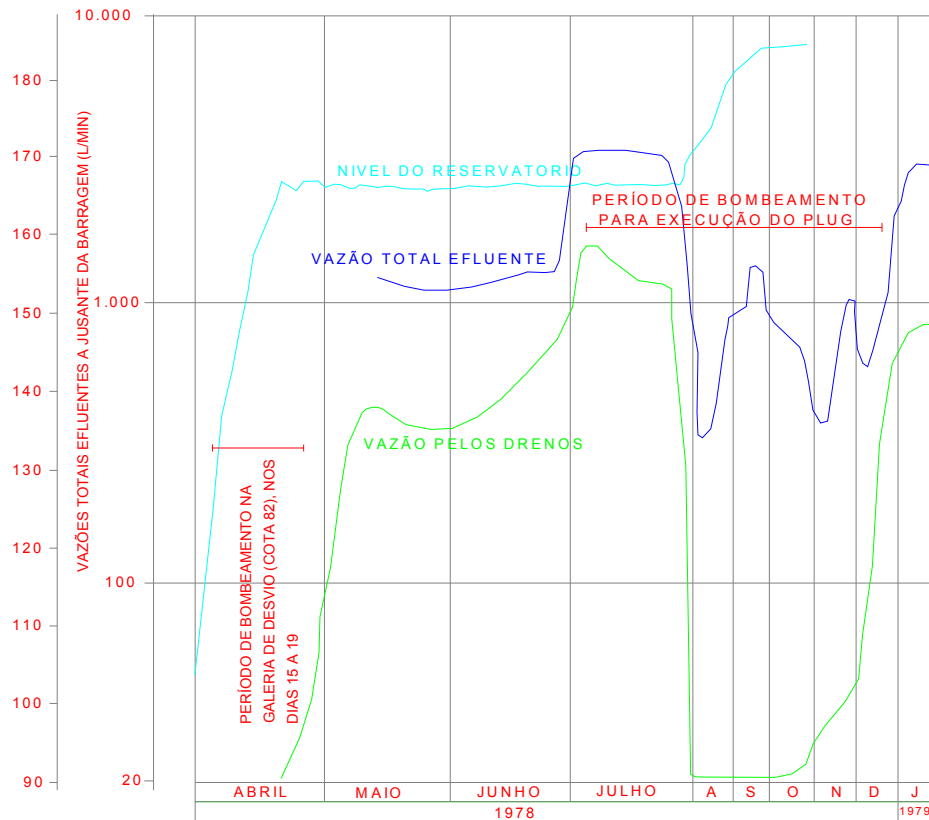


Figura 37: Vazões à jusante da Barragem durante a execução do plug

A água de percolação da margem esquerda foi totalmente drenada em direção à galeria de desvio durante o bombeamento, emergindo inclusive em vários pontos das paredes do antigo canal de desvio, onde o revestimento de gunite estava danificado.

Este comportamento foi bem ilustrado pela linha piezométrica da ombreira esquerda que se encontrava de 10 m a 20 m abaixo da superfície do terreno.

A vazão de percolação coletada no antigo leito do rio diminuiu substancialmente, mostrando que parcialmente também foi coletada pelo bombeamento do canal de desvio.

Nas duas ocasiões em que houve bombeamento na galeria, a vazão dos drenos de pé se reduziu a zero e a vazão pela ombreira direita, para 1/3 aproximadamente. Para o período em que o reservatório foi mantido em torno da cota 165 m, a vazão que se estabeleceu após cessar

o bombeamento foi de 1.500 l/min pelos drenos e 2.000 l/min pela ombreira e margem direita.

Em julho de 1978, durante o segundo enchimento do reservatório, recomeçou o bombeamento para a execução do "plug" da galeria de desvio. Durante este período, a vazão dos drenos se manteve nula, e a da ombreira direita oscilou entre 300 l/min e 1.300 l/min.

Em janeiro de 1979, as vazões já estavam entrando em equilíbrio apresentando os seguintes valores:

- a) pelos drenos (vazão do leito do rio): da ordem de 800 l/min;
- b) pela ombreira direita e leito do rio: da ordem de 1.400 l/min;
- c) pela ombreira esquerda, coletada no canal de desvio: da ordem de 700 l/min.

Um ano após o enchimento do reservatório, já se observava a ocorrência de um mecanismo progressivo de colmatação evidenciado pelo fato que a vazão total registrada na primeira fase de enchimento, com carga de 64m era superior a 3.500 l/min, ao passo que, um ano mais tarde, com a carga final de 81m, passou para 2.700 l/min.

5.1.4 Comportamento da Barragem após 35 anos de operação (1978 à 2013)

Para possibilitar a análise geral dos dados de drenagem da Barragem de Itaúba durante os 35 anos de operação foi necessária a digitação, em planilha eletrônica, de todos os dados coletados desde o enchimento do reservatório. O histórico é composto por mais de 6.500 dados de leitura dos poços de alívio entre março de 1978 e dezembro de 2013. Esta coleta do histórico de dados permitiu a confecção de gráficos (apresentados no anexo II desta dissertação) para análise do comportamento da drenagem e correlação com algumas anomalias encontradas em campo.

Durante as duas etapas de enchimento do reservatório (abril e julho de 1978) a frequência de leitura dos drenos era a cada 2 ou 3 dias. A partir de setembro de 1978 até janeiro de 1979, a frequência foi semanal. Entre 1979 a 1982, as leituras eram realizadas a cada 2 meses. Em 1983 há registro de 4 leituras. Não existe registro de leituras nos anos de 1984 a 1986.

Em 1987 foram feitas 4 leituras, em 1988 apenas 1 leitura. De 1992 até 1996 foram feitas entre 1 a 2 leituras por ano. As leituras retomaram com frequência mensal em abril de 2009 até os dias atuais. Com os gráficos apresentados, é possível interpretar o comportamento da barragem quanto à drenagem em cada etapa. A análise é feita com o intuito de verificar o

comportamento individual de cada poço de alívio, sempre identificando a ligação entre eles e a região de influência no maciço, conforme descrito a seguir. Apenas 7, dos 38 poços de alívio, têm artesianismo (funcionam como dreno) e estes se concentram no pé da barragem. Os que não possuem artesianismo funcionam como medidores de nível d'água, localizados nas ombreiras.

Para uma análise global do comportamento dos poços de alívio confeccionou-se o gráfico apresentado na Figura 38. Neste, se observa que os poços de alívio localizados na ombreira tiveram pouca alteração quando comparada a posição da linha d'água na final do segundo enchimento (1978) e a posição atual (2013). Isto indica que o tratamento das fundações continua sendo eficiente.

A ombreira esquerda, drenada pelos poços de alívio PA-1 ao PA-10, apresentou alteração na linha d'água, praticamente, apenas durante o enchimento do reservatório. Na retomada das leituras no 8º ano de operação da Barragem (1987) a linha d'água na região dos derrames 4, 5 e 6 estava elevada em 7m desde a última leitura em 1983 (PA-2, 3, 7,8 e 9). Atualmente, a linha d'água se mantém elevada apenas na região dos derrames 4 e 5, porém estável na mesma cota desde 1987.

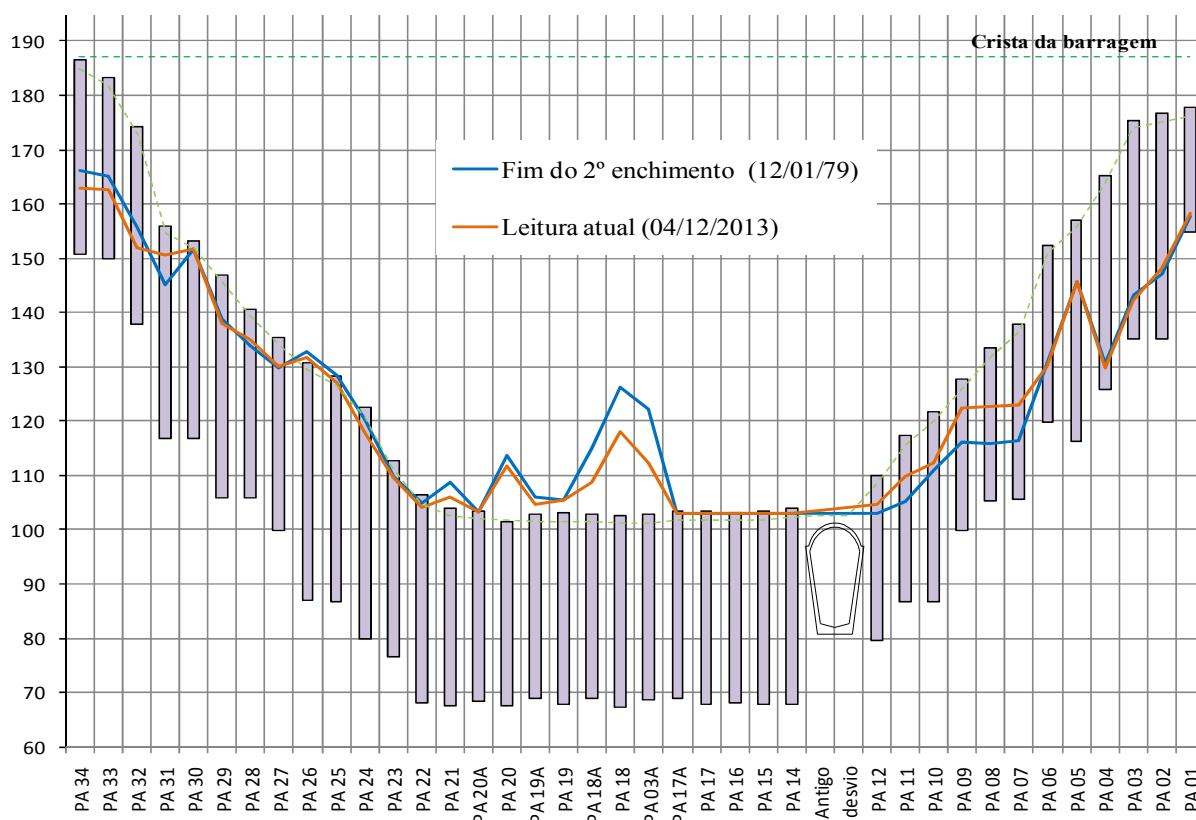


Figura 38: Situação da drenagem após 2º enchimento do reservatório e em dezembro de 2013.

Os drenos PA-5 e 6 que atravessam a junta-falha identificada na cota 121 tiveram variação expressiva apenas durante o enchimento do reservatório. Apesar do PA-5 indicar linha d'água mais elevada que os demais drenos da ombreira esquerda, mantêm-se constante desde o enchimento.

Existe uma junta-falha que ocorre em toda a fundação da barragem em torno da cota 95 e podia ser vista, durante o período construtivo, nas paredes de escavação à jusante da galeria de desvio. Por ser horizonte altamente drenante, sua presença condiciona todo o sistema de fluxo no trecho drenado pelos poços de alívio PA-11 a 22. Os drenos PA-14 ao 16 e 20 ao 22 chegaram a apresentar artesianismo no intervalo entre o primeiro e segundo bombeamento da galeria. Após a execução do plug, em julho de 1978, todos mantêm linha d'água praticamente constante até hoje.

Os drenos 3A à 21 apresentam artesianismo desde o primeiro enchimento do reservatório até hoje. O que possui maior vazão é o PA-18 com média de 260 l/min até 1983. Entre 1987 e 1988 a vazão aumentou 40 %, porém não foi registrada qualquer anomalia na estrutura que explicasse este aumento de vazão. A partir de 1992 percebe-se uma redução gradativa da vazão com média de 150 l/min medida no ano de 2013. Os drenos 3A ao 21 também tiveram redução gradativa de vazão em torno de 50% desde o primeiro ano de operação da barragem até hoje. Na Figura 39 é apresentado o gráfico das vazões totais dos drenos que possuem artesianismo.

Segundo Meinzer (1956), em geral, a permeabilidade sob a fundação de barragens diminui com o tempo em virtude dos efeitos de consolidação, tanto por ação de alteração da rocha quanto de metamorfismo. Silveira (2005) identificou comportamento semelhante na barragem Canoas I construída sobre rocha muito fraturada. Esta tendência de redução ao longo do tempo constitui um comportamento típico das barragens que, após atingirem vazões máximas ao final do período de enchimento do reservatório passam a apresentar lenta tendência de redução como reflexo de uma provável colmatação dos caminhos de percolação pelas partículas sólidas carregadas pela água do reservatório.

Além disso, numa barragem em operação há mais de trinta anos, deve existir uma camada de sedimentos, depositados no reservatório junto à estrutura, que funcionaria como um tapete impermeabilizante, que viria reduzir com o tempo as vazões de drenagem. Na fundação das estruturas de concreto da barragem principal de Itaipu, por exemplo, também localizada sobre

um maciço basáltico, a redução de vazão nos túneis de drenagem reduziu cerca de 40% nos últimos 20 anos (Santos et al., 2006)

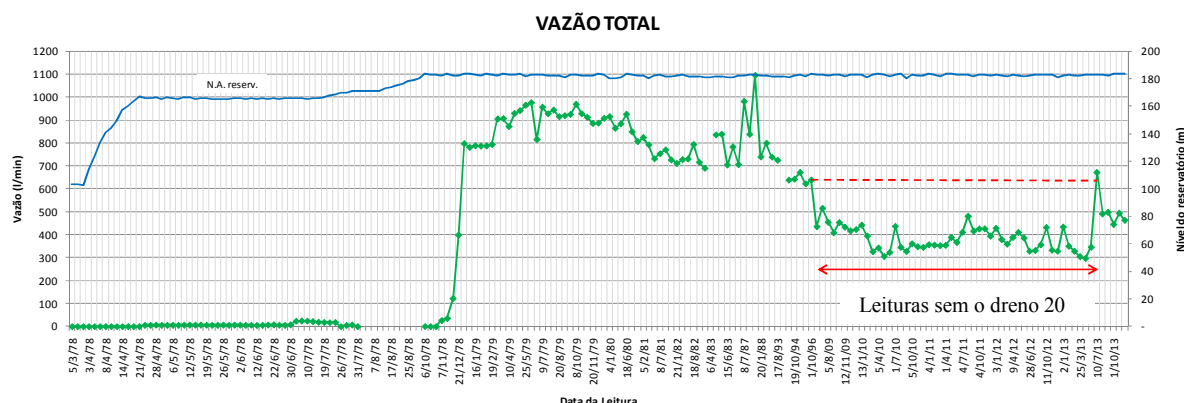


Figura 39: Gráfico de vazão total dos poços de alívio com artesianismos à jusante da Barragem de Itaúba

Em algum momento entre os anos de 1997 e 2009, o dreno 20 foi quebrado. Ao retomarem-se as leituras na barragem em abril de 2009, o cano do dreno 20 não existia e como não se tinha acesso às leituras antigas, sua existência não era conhecida.

Em 2013, quando o histórico dos drenos foi confeccionado, percebeu-se que o dreno 20 só tinha leituras até 1996. Ao se realizarem as obras de construção das canaletas para instalação dos novos medidores de vazão no pé da barragem, a localização do dreno 20 foi descoberta, o cano foi reinstalado e as leituras retomadas em julho de 2013.

Este fato influencia o gráfico de vazão total apresentado na Figura 39. Como a vazão do dreno 20 não está computada na vazão total entre 1996 e 2013, aparentemente a vazão reduziu drasticamente neste período. Quando a leitura deste dreno foi retomada em julho/2013, apresentou um pico de 180 l/min, porém, a partir do mês seguinte a vazão regularizou para média de 80 l/min, praticamente mesma vazão lida em 1996 (ver gráfico do dreno 20 no anexo II).

A linha d'água da ombreira direita é superior a da ombreira esquerda. Os poços de alívio 30 a 24, que drenam a região dos derrames 4 e 5, local onde foi identificada uma junta-falha, apresentam linha d'água elevada desde o primeiro enchimento do reservatório e por isso foi solicitada a instalação de drenos extras nesta região, conforme Figura 35. Estes poços de alívio nunca foram perfurados.

O dreno PA-26 é o único dreno da ombreira direita com artesianismo. Este dreno atravessa uma junta falha identificada no local durante as escavações. O dreno começou a verter quando o nível do reservatório estava na cota 157. No fim do segundo enchimento, as vazões chegaram a 20 l/min, atualmente, reduziu para 10 l/min. O PA-25, que drena a mesma região do PA-26, apresentou pequena vazão até fevereiro de 2010. Atualmente, o nível d'água esta na cota 127, estável desde março de 2010.

Na inspeção regular da barragem em 2011, foi identificada uma surgência (água aflorante na rocha) junto ao poço PA-27. Provavelmente esta surgência sempre existiu, mas não estava registrada nos relatórios anteriores, pois se confundia com água de chuva da ombreira. Este fato ocorre exatamente no ponto em que deveria existir o poço de alívio projetado PA-26A (ver Figura 35).

Desde setembro de 2013, a surgência é monitorada através de um medidor de vazão e apresenta vazão constante de 3 l/min.



Figura 40: Surgência junto ao PA-27 e medidor de vazão de monitoramento da surgência e vazão do dreno PA-26

Com a instalação dos novos medidores de vazão em julho de 2013, é possível comparar a drenagem atual do filtro interno da barragem e a vazão total dos drenos com as vazões medidas antes de 1997, quando o medidor de vazão que existia no local foi roubado. Na Quadro 15 do capítulo 4 uma figura mostra a localização dos medidores de vazão instalados em 2013 para compreensão do gráfico da Figura 41.

No gráfico apresentado na Figura 40, observa-se a relação entre vazão dos filtros internos e dos drenos *versus* variação do nível do reservatório e pluviometria.

Neste, é possível notar que a vazão à jusante da barragem parece não ter relação com o nível d'água do reservatório, sendo este praticamente constante desde o enchimento da barragem. Isto ocorre porque estes medidores também coletam a água de chuva das ombreiras e enrocamento da barragem, não sendo, portanto, possível a identificação real da contribuição apenas da percolação interna.

Com o intuito de verificar o motivo de alguns picos de vazão nos medidores, se inseriu dados de pluviometria informados pela hidrologia da CEEE-GT. A chuva acumulada dos últimos 6 dias antes da medição das vazões foi colocada num gráfico de barras e comparado com as vazões medidas, apresentado na Figura 41.

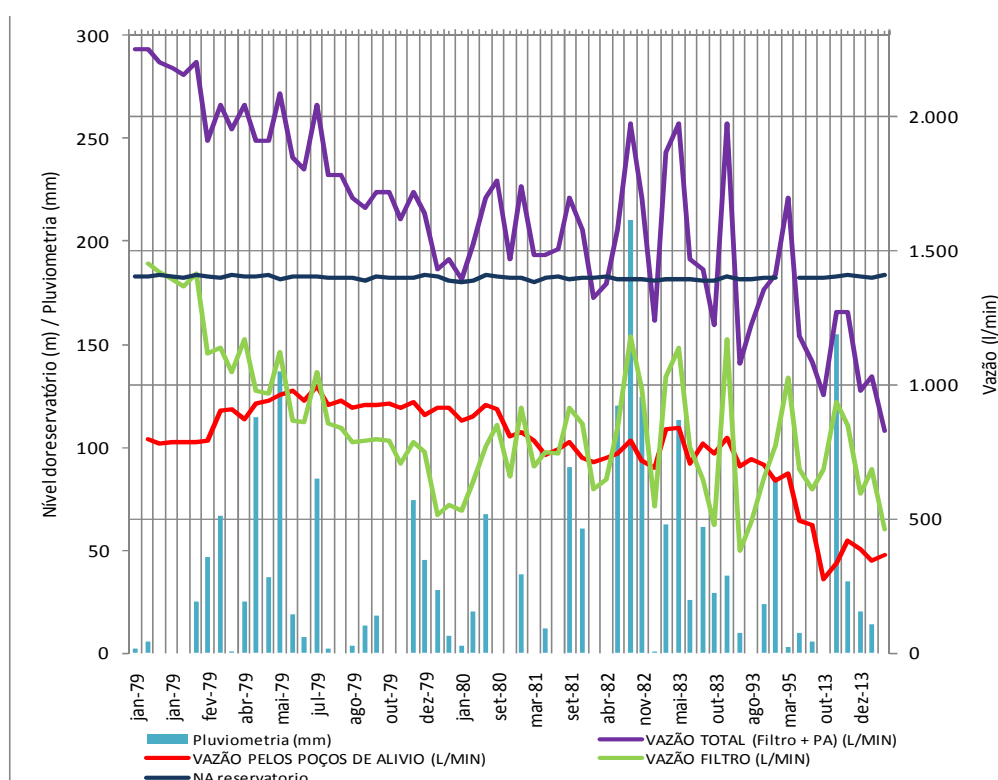


Figura 41: Medidores de vazão na barragem (1979 a 2013) x Pluviometria e Nível do Reservatório

Observa-se que a pluviometria tem forte influência na medição de vazões. Por causa disso, não é possível identificar a percolação apenas através dos filtros internos da barragem (através do maciço + fundação), porém estima-se, verificando a vazão do filtro após vários dias seguidos sem chuva, que seja em torno de 500 l/min, e a vazão total dos drenos de pé é, em média, 430 l/min.

Este gráfico é meramente ilustrativo, pois estudos futuros devem ser desenvolvidos com o intuito de identificar qual a contribuição apenas da percolação através dos filtros internos da barragem e a contribuição da pluviometria. Esta separação de vazões é importante para a identificação de anomalias internas na estrutura e verificação de possível colmatção dos filtros. Observa-se que a vazão do filtro passou de, aproximadamente, 1.500l/min, medido em janeiro de 1979, para 500 l/min medido em dezembro de 2013, isto é, já ocorreu redução para 1/3 da infiltração que ocorria logo após o segundo enchimento do reservatório.

5.1.5 Comparativo das percolações em Itaúba com outras barragens brasileiras

Uma das maneiras de se comparar vazões de drenagem de diferentes barragens é através do uso do conceito de vazões específicas. Por vazão específica entende-se a vazão de drenagem em determinado trecho da barragem dividida pelo comprimento do trecho. Ao se fazer isso, comparam-se duas estruturas em igualdade de condições (Silveira, 2006).

Silveira (2006) apresenta um levantamento realizado em 34 barragens brasileiras de terra enrocamento. Neste estudo, o autor constata que, dos casos apresentados, 58% revelaram vazões específicas superiores a 1,0 l/min/m e que valores até 5 l/min/m são considerados normais, por isso dispensam a realização de tratamentos imediatos de fundações.

Na barragem de Itaúba, o valor atual de vazão específica é: 430 l/min (vazão média dos drenos em 2013) + 500 l/min (vazão média dos filtros em 2013 sem ou com pouca influência da pluviometria)/ 400m (comprimento total da barragem) = 930 l/min / 400m = 2,33 l/min/m.

Na Figura 42, apresenta-se gráfico semelhante proposto por Silveira (2006), incluindo a vazão específica da fundação de Itaúba para fins comparativos.

Apesar de Itaúba ter quase o dobro da altura das barragens estudadas, é possível fazer este comparativo. Observa-se que sua vazão específica é semelhante às das Barragens Atibainha, com fundação em Solos residuais de biotita-gnaïsse, Paiva Castro, com fundação em argilas e areias aluvionares e Três irmãos com fundação em solos coluvionares e residuais em basalto. A vazão de fundações em basalto, como é o caso de Itaúba, é bastante variável, pois depende muito do grau de alteração e fissuras da rocha.

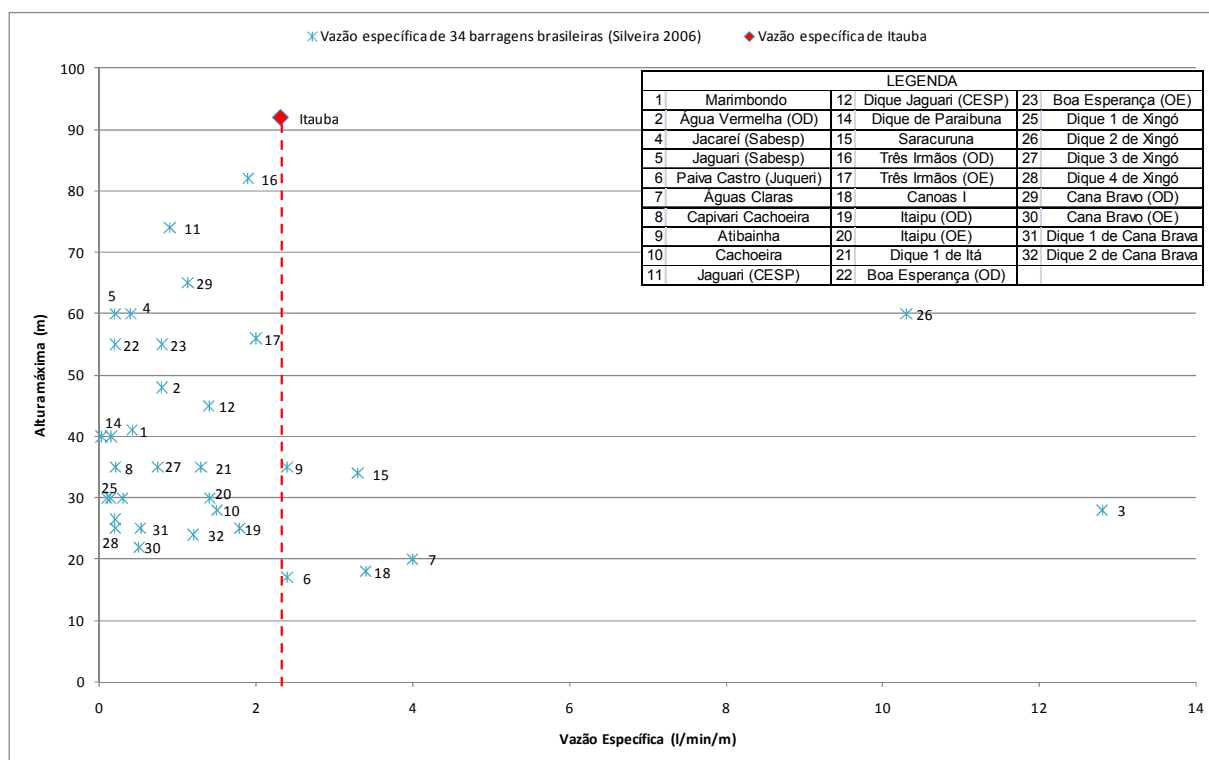


Figura 42: Vazão específica x altura máxima (Silveira 2006 adaptado)

Agora que se possuem dados reais da drenagem de Itaúba desde 1978, é possível comparar com as previsões de percolações feitas empiricamente em 1972 e 1973 descritas nos itens 5.1.1 e 5.1.2.

Segundo Silveira (2006), tendo em vista que o coeficiente de permeabilidade do aterro de uma barragem, assim como das várias camadas de solo e rocha da fundação podem ser estimados ou determinados por ensaio *in situ* com aproximação de 10 vezes, devido a dispersão de resultados e as dificuldades práticas e limitações inerentes do ensaio de campo pode-se admitir que o erro entre as vazões teóricas e medidas seja de 10 vezes.

O autor ainda apresenta uma planilha confeccionada por Massad e Gehring (1981) onde compara as vazões previstas e medidas de 4 barragens Brasileiras (Tabela 22).

Tabela 22: Comparação entre vazões de projeto e medidas em algumas barragens brasileiras de terra

Barragem (proprietário)	Características			Vazões máximas (l/min)		
	Construção	Altura máx. (m)	Comprimento (m)	Projeto (A)	Medidas in situ (B)	Relação B/A
Juqueri (Sabesp)	1968-1972	22	210	25	510	20.4
Águas Claras (Sabesp)	1969-1971	24	120	?	480	-
Capivari- Cachoeira (Copel)	1968-1970	60	320	220	624	2.9
Atibainha (Sabesp)	1969-1973	39	430	600	1050	1.8
Cachoeira (Sabesp)	1969-1972	33	310	230	450	1.9
Rio Verde (Petrobrás)	1974-1976	15	540	-	-	-

Fonte: (Massad e Gehring 1981)

Em Itaúba, comparativo semelhante é apresentado na Tabela 23

Tabela 23: Comparação entre vazões de projeto e medidas na Barragem de Itaúba

Local	Vazões (l/min)				
	Projeto	Medido (1º ano de operação)	Relação	Medido (média em 2013)	Relação
	(A)	(B1)	B1/A	(B2)	B2/B1
Filtro	-	850	-	500	59%
Poços de Alívio	-	950	-	430	45%
Total	405.7	1800	4.44	930	52%

Em Itaúba, as vazões seguiram a tendência das barragens apresentadas na Tabela 22, com uma variação entre o projeto e as medidas reais em torno de 4,5 no primeiro ano de operação.

Este comparativo demonstra que as percolações calculadas empiricamente estavam subestimadas, até mesmo porque os cálculos estimativos iniciais não consideravam o tratamento de fundação. Mesmo com a execução do tratamento, as vazões reais foram bastante superiores revelando a necessidade de adequação do modelo de cálculo adotado.

Observa-se também que as vazões totais reduziram mais de 50% quando comparado com o primeiro ano de operação da barragem. A identificação de que esta redução possa referir-se à colmatação de drenos e filtros pode ser verificada através da análise dos piezômetros, descrito no item a seguir.

5.2 MEDIÇÃO DE PRESSÕES NA BARRAGEM DE ITAÚBA

A avaliação das condições de segurança de barragens de terra e enrocamento dependem do conhecimento da magnitude e da evolução das pressões intersticiais que se desenvolvem nos maciços compactados e nos solos de fundação durante as fases construtiva e de operação de uma barragem. É necessário também o controle e monitoramento dos registros das poropressões nas zonas dos contatos com estruturas de concreto e ao longo do sistema de drenagem interna da barragem, durante e após a formação do reservatório, avaliando-se o desempenho global das funções drenantes e filtrantes dos materiais utilizados.

Um dos fatores que favorecem a desorganização das linhas de fluxo em sua direção, sentido e velocidade e, conseqüentemente, o início de formação da erosão regressiva (piping) é o aumento de poropressões. Portanto, é fundamental conhecer quais condições favorecem o aumento de poropressões e o desequilíbrio no estado de tensões na matriz do solo (Ladeira, 2007).

Em termos gerais, ocorre aumento da cota piezométrica em determinado ponto das barragens ou da fundação quando ocorrem uma ou mais das seguintes condições (Lindquist, 1981):

- a) Aumento da vazão de percolação que pode ser motivado pela gradual saturação do maciço e/ou da fundação;
- b) Elevação do nível d'água de jusante;
- c) Elevação do nível d'água de montante, o que também acarretaria aumento da vazão de percolação;

- d) Aumento da permeabilidade dos materiais situados ao longo da linha de fluxo que passa pelo ponto em consideração, a montante do mesmo, que também acarretariam aumento da vazão de percolação;
- e) Redução da permeabilidade dos materiais situados ao longo da linha de fluxo que passa pelo ponto a jusante do mesmo.

O período construtivo é o mais crítico, principalmente nos solos finos, pois as sobrecargas geram poropressões devido à lenta expulsão da água dos vazios do solo compactado e úmido, que atuam contra a estabilidade do maciço (Pereira, 2005). É nessa fase que os projetistas de barragens encontram dificuldades para mensurar as poropressões construtivas devido à complexidade dos fenômenos que ocorrem de forma acoplada, seja tensão-deformação ou adensamento, e partiram para soluções aproximadas como a utilização do parâmetro B do ensaio triaxial PN, que geram resultados com perda de precisão.

Por isso, durante o enchimento do reservatório e período operacional, o controle das pressões através da leitura de piezômetros é tão importante. Os piezômetros possibilitam obter informações a respeito de novas redes de fluxo geradas durante o enchimento do reservatório, monitorar a subida progressiva da linha freática (podendo indicar colmatção das camadas drenantes) e verificar a dissipação das pressões neutras construtivas.

Nesta etapa, apresentam-se as previsões de pressões feitas para Barragem de Itaúba e o comportamento após 35 anos de operação.

5.2.1 Previsões das Pressões em Itaúba (1972)

As previsões das pressões totais e efetivas que ocorreriam na Barragem de Itaúba foram calculadas através de métodos empíricos com o intuito de se definir a configuração inicial da barragem que garantiria a estabilidade dos taludes de jusante e montante no final da construção, isto é, com o reservatório ainda vazio. Os cálculos estimativos foram registrados no relatório desenvolvido pela ENGEVIX S.A intitulado “Memorial explicativo e justificativo do projeto do maciço da barragem” de dezembro de 1972.

Os cálculos resultaram nos seguintes valores apresentados na Tabela 24, que resume os valores de poropressão para diversas camadas do maciço.

Tabela 24: Poro-pressões previstas nas diversas camadas da Barragem de Itaúba

Cota	Espessura da camada (m)	σ_f (kg/cm ²)	Cr log (σ_a/σ_i)	Cc log (σ_f/σ_a)	ρ (cm)	u (kg/cm ²)
175	12	2.3	0.042	0.00	2.10	0.24
150	37	6.8	0.049	0.07	5.60	1.1
137	50	9.1	0.049	0.11	7.50	2.3
125	62	11.3	0.049	0.13	9.40	6.7
100	87	15.8	0.049	0.18	11.40	12

Tais poro-pressões desenvolver-se-iam no eixo (parte central do núcleo). Nos limites externos ou bordas, a pressões de terra (δv) seriam menores (estimou-se em 90% das pressões centrais), conseqüentemente, também o seriam as poro-pressões (u). Além deste método de cálculo, os projetistas usaram o método que utiliza os resultados das medições de pressões neutras em laboratório.

Destes cálculos estimativos de poropressão, ficou definido que os taludes teriam as configurações de 1:1,9 (montante) e 1:1,8 (jusante). Estes valores passaram a ser 1:1,9 (montante) e 1:1,6 (jusante) após execução de ensaios de campos específicos durante o período construtivo.

5.2.2 Período Construtivo (1973 à 1978)

O valor da poropressão construtiva de uma barragem é resultado da velocidade de carregamento (taxa de construção) e do tempo de dissipação da pressão d'água, considerando a permeabilidade do material e a geometria (distância das fronteiras drenantes). Estas considerações resultam numa distribuição de poro pressão bem mais realista do que aquela obtida, preliminarmente, via parâmetro B.

Após a conclusão do tratamento de fundação na região do núcleo e início da compactação do aterro, foram instalados piezômetros tipo pneumático de fundação e de contato na região do leito do rio, denominados "G" da marca Geosistema.

O controle das poro-pressões permite a caracterização das condições de drenagem e avaliação da eficiência dos dispositivos de impermeabilização adotados. Por isso, a posição dos medidores de pressão deve ser em locais estratégicos e representativos dos condicionantes

geológico-geotécnicos locais (contatos de derrames, camadas fissuradas, interface maciço-fundação).

Na Barragem de Itaúba, os piezômetros de contato estavam associados a células de pressão total com o intuito de determinar a pressão efetiva na região de contato entre a fundação e o núcleo de argila. Já os piezômetros de fundações foram localizados em descontinuidades que se constituiriam caminhos de percolação preferenciais e, portanto, onde poderiam ocorrer elevadas subpressões.

Os piezômetros pneumáticos também foram instalados à medida que o aterro subia e ao lado de cada piezômetro foi extraído um bloco indeformado. De cada bloco foram moldados dois corpos de prova e submetidos a ensaio de compressão triaxial PN com a finalidade de manter um controle tecnológico da construção e aferir hipóteses de projeto. As propriedades dos materiais eram verificadas conforme compactados no maciço, bem como analisado o comportamento do maciço com o auxílio da instrumentação.

Através da análise desses ensaios e comparativo com as medidas fornecidas pela instrumentação e revisão das hipóteses adotadas na elaboração do projeto, os projetistas chegaram às seguintes conclusões quanto aos parâmetros de construção da barragem:

- a) Em média, foi utilizado material mais argiloso durante a construção do que o previsto inicialmente;
- b) O solo compactado do núcleo se concentra numa faixa de densidade seca de $1,35 \text{ g/cm}^3$ a $1,55 \text{ g/cm}^3$ enquanto a umidade natural varia de 25% a 35%;
- c) As previsões por ensaios rápidos PN sobre blocos indeformados foram bastante compatíveis quando comparadas com as medidas nos piezômetros. Em termos de valor absoluto, as pressões neutras construtivas desenvolvidas em Itaúba foram baixas, não superando os 20% do parâmetro B, apesar do solo ser argiloso e a compactação tender para o lado úmido.

Os piezômetros tipo Casagrande de maciço instalados na crista à montante da barragem, denominados C e C', foram instalados após a conclusão do aterro. O objetivo da instalação destes, distribuídos em toda a extensão do maciço é o monitoramento das poro pressões do solo do núcleo durante o período construtivo e em caso de esvaziamento súbito do reservatório.

Os piezômetros tipo Casagrande instalados à jusante, na fundação da barragem, denominados PJ, foram executados após a conclusão da barragem. Estes piezômetros têm o objetivo de medir a eficiência do sistema de drenagem da fundação após o enchimento do reservatório, por isso estão distribuídos de maneira que se alternam com os poços de alívio.

Após sua instalação, foram feitos ensaios de recuperação de nível d'água em 4 deles, colocando-os sob carga de uma coluna d'água e observando-se os tempos de recuperação do nível piezométrico inicial. O resultado do ensaio esta apresentado na Figura 43.

Os piezômetros, que deveriam ter sido instalados sempre em feições permeáveis, resultariam, quando do ensaio de rebaixamento, em curvas de caimento rápido. Através do ensaio, verificou-se que o PJ-1 está instalado no maciço sem feição especial, por isso não está representado na Figura 43. O PJ-2 teve rápido rebaixamento (tempo de resposta de, aproximadamente, 40 minutos), indicando aparentemente subpressões no contato permeável entre os derrames 3 e 4. O PJ- 3 não foi ensaiado e o PJ-4 também está instalado em maciço pouco permeável (tempo de resposta de 25 horas). O piezômetro PJ-5 apresentou um nível de absorção diferente da sua cota de instalação, indicando assim que não está devidamente vedado.

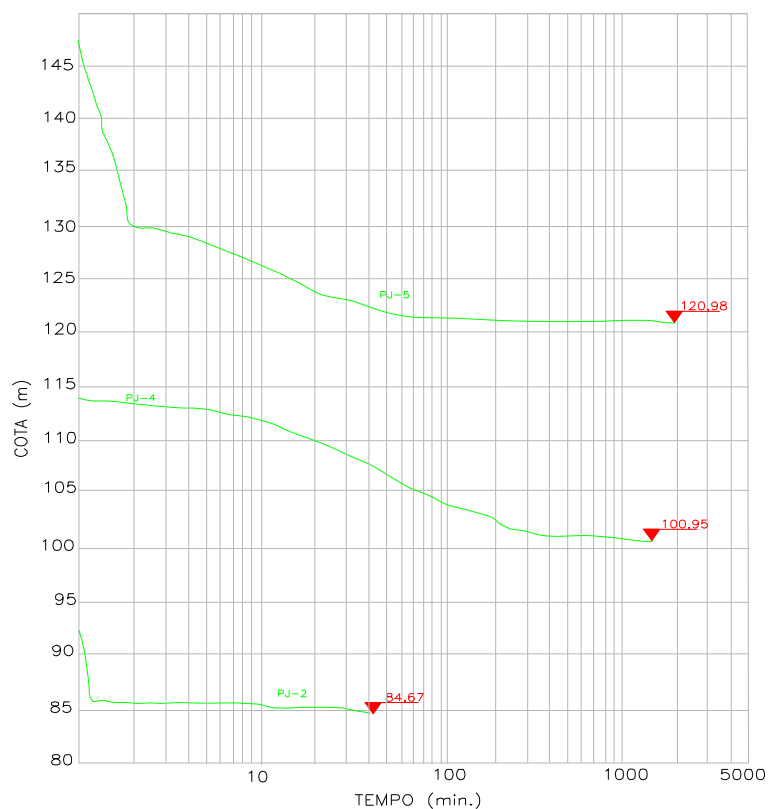


Figura 43: Ensaio de recuperação de nível d'água nos piezômetros PJ-2, 4 e 5

Hoek e Bray (1974) constataram que os piezômetros do tipo tubo aberto (“standpipe”) são adequados para camadas com coeficiente de permeabilidade igual ou superior a 10^{-5} cm/s, o que foi comprovado por Silveira et. al. (1978) na Barragem de Água Vermelha, na qual constatou que estes instrumentos, instalados em camadas de solo residual de basalto, apresentaram tempo de resposta da ordem de 16 a 18 minutos, para 90% de estabilização, nos ensaios de recuperação de N.A. Destaca-se que o coeficiente de permeabilidade do solo residual de basalto era da ordem de 10^{-5} cm/s.

5.2.3 Enchimento do reservatório (1978)

A descrição do comportamento das pressões no núcleo da barragem, monitorado pelos piezômetros pneumáticos, perante o enchimento do reservatório é baseada no artigo intitulado “Pressões neutras na barragem de Itaúba, RGS” apresentado no XIV Seminário nacional de grandes barragens, em 1981, por Shoshana Signer e nos relatórios ENGEVIX 370-3-2 e 384-3-2.

Isto porque os dados de leitura dos piezômetros pneumáticos não foram digitados em planilhas eletrônicas para confecção de gráficos de análise pois, em 1996, todos os piezômetros pneumáticos já estavam danificados não sendo possível um comparativo com a situação atual, objetivo desta dissertação. Porém, considerou-se interessante descrever o comportamento das pressões medidas no núcleo durante o enchimento do reservatório.

Conforme relata Signer (1981), o estabelecimento das pressões neutras permanentes, durante o enchimento do reservatório, foi bastante rápido acusando a maioria dos piezômetros do maciço (pneumáticos) praticamente os valores definitivos, um mês após o enchimento completo do reservatório.

Durante o primeiro enchimento (até a cota 165), os piezômetros de fundação mostram ter havido significativa perda de carga próximo ao pé de montante do núcleo, provavelmente porque nesta zona a injeção foi executada de forma intensa.

No entanto, os projetistas não tinham certeza se estes piezômetros estariam instalados em feições de alta condutividade, onde as subpressões seriam elevadas. Na Tabela 25 é mostrada a evolução das pressões em metros d'água comparadas com uma rede de fluxo estimada já que, neste período, o fluxo permanente ainda não estava estabelecido devido à baixa permeabilidade do material do núcleo.

Seria de se esperar pressões inferiores às pressões da rede, uma vez que o tempo decorrido foi insuficiente para seu estabelecimento, exceto os pontos que já apresentavam pressão neutra superior, decorrentes da compactação.

Tabela 25: Leitura dos piezômetros pneumáticos no enchimento do reservatório

Data	Piezômetros (pressão em m)							
	G-12	G-13	G-14	G-15	G-16	G-18	G-19	G-20
Antes do enchimento (mar/78)	7	22	-	40	22	10	10	1.5
Reservatório na cota 165m (maio/78)	25	28	34	45	24	14	10	12
Reservatório na cota 165m (jun/78)	23	28	36	43	24	18	10	14
Pressão aproximada da rede	43	25	52	36	12	27	4	9

Verifica-se que em todos os piezômetros houve acréscimo de pressão devido ao enchimento. Em alguns casos, G-15, 16 e 19, a pressão pré-existente, devido à compactação, já era superior à de rede, aumentando com o enchimento do reservatório.

Após o segundo enchimento do reservatório, Signer (1981) relata que foram feitas tentativas de esboçar uma rede de percolação a partir das leituras, procurando assim encontrar o modelo teórico de percolação.

As tentativas foram para condições de solo homogêneo e isotrópico, rede de fluxo anisotrópica com permeabilidade horizontal 9 vezes a vertical e com relação permeabilidade horizontal/vertical = 25, também foi traçada rede com condições de permeabilidade crescente com a altura uma vez que a elevada altura da barragem ocasiona um gradiente significativo de pressões, índices de vazios e consequentes permeabilidades ao longo da altura.

A autora concluiu que a tendência dos valores se ajustarem melhor ao modelo de rede com permeabilidade variável e crescente da base para a crista, principalmente na porção superior do núcleo, onde as pressões medidas superaram os modelos convencionais.

Infelizmente o desempenho dos piezômetros pneumáticos (G) a longo prazo foi insatisfatório, remanescendo poucos de leitura confiável, impossibilitando o detalhamento do modelo de percolação que se desenvolveu no núcleo da barragem de Itaúba.

Quanto aos piezômetros das ombreiras à jusante (PJ), indicaram nível piezométrico em profundidade na ombreira esquerda, pois a drenagem nesta ombreira era fortemente

encaminhada em direção à galeria de desvio onde se observaram surgência d'água. Assim, os projetistas, na época, supunham que existia uma provável junta-falha de alta condutividade na cota 105.

Na ombreira direita, coerentes com o já analisado para os drenos de jusante, a linha piezométrica encontrava-se próximo à superfície.

Quanto aos piezômetros de crista (CC'), em sua maioria, apresentaram pressões maiores que as previstas, próximos ao nível d'água de montante evidenciando, provavelmente, uma anisotropia mais marcante que a considerada. Este comportamento levou à suspeitas de trincas na região (local susceptível devido recalque por enchimento do reservatório). Foi sugerido verificar a resposta destes instrumentos com a oscilação do nível d'água do reservatório.

5.2.4 Análise após 35 anos de operação (1978 a 2013)

Em 1996, 47% dos piezômetros pneumáticos estavam danificados. No ano de 2009, quando a leitura da instrumentação foi retomada, todos estavam danificados sem possibilidade de recuperação.

Atualmente, somente os piezômetros tipo Casagrande localizados na fundação à jusante, denominados PJ, são lidos mensalmente. Com apenas estes dados de piezômetros, não é possível a tentativa de traçar uma rede de fluxo real que poderia ser utilizada para retroanálise dos parâmetros da barragem e fundação, possibilitando o cálculo do coeficiente de segurança atual da estrutura. Este trabalho poderá ser feito com os dados da instrumentação dos piezômetros pneumáticos até sua última data de leitura, sendo sugestão para estudos futuros.

Como o principal objetivo desta dissertação é o comparativo dos dados de leitura desde a construção da barragem com os dados atuais, neste item serão apresentados o comparativo do comportamento dos piezômetros PJ em 35 anos de operação da barragem. Com estes dados, foi confeccionado o gráfico apresentado na Figura 44.

Conforme análise da figura se observa que o PJ-1 indica pressões sempre constantes desde antes do enchimento do reservatório. A célula piezométrica esta instalada no derrame 7 (ver Figura 24), descrito como basalto denso fraturado. A constância na leitura deste piezômetro indica que não ocorre fluxo d'água neste trecho, comprovado pela estabilidade das leituras do poço de alívio PA-1, localizado, praticamente, na mesma cota que o piezômetro.

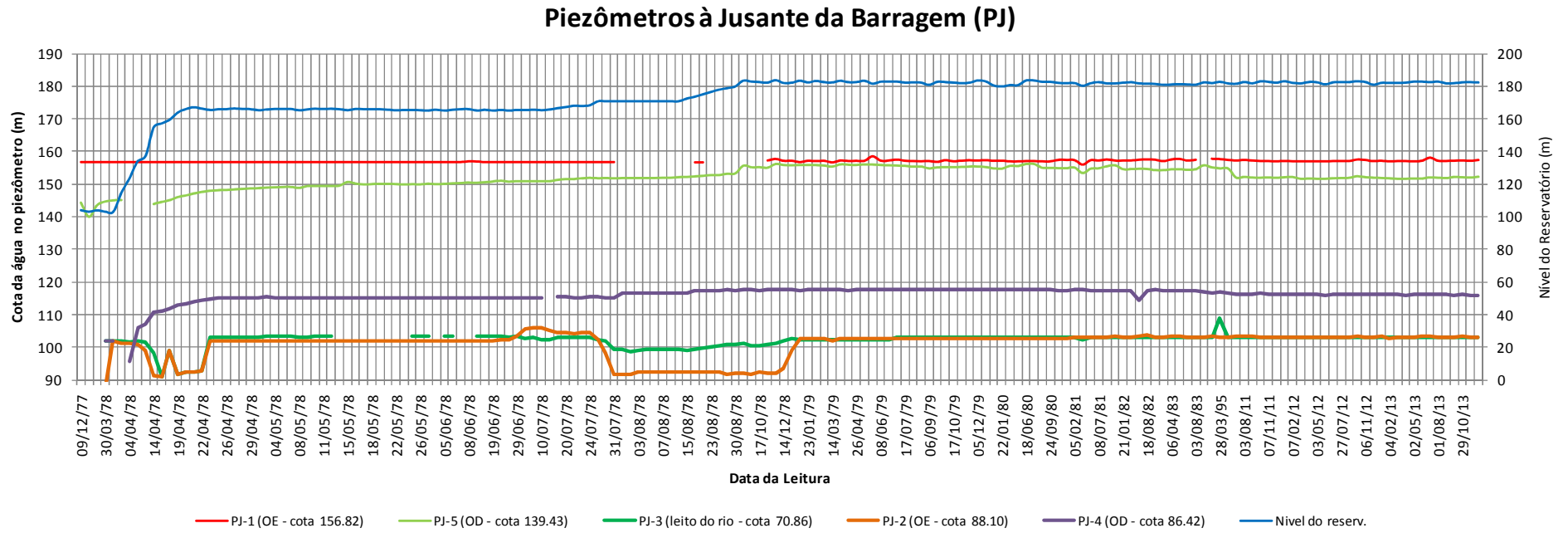


Figura 44: Leitura dos piezômetros à jusante da Barragem

A célula piezométrica do PJ-2 esta localizada entre os derrames 3 e 4, região caracterizada como pouco permeável antes dos trabalhos de injeção. Estando o PJ-2 próximo ao antigo túnel de desvio do rio (ver Figura 24), o mesmo teve forte influência quando ocorreu a drenagem do túnel nos períodos de abril e de julho à dezembro de 1978. Comportamento semelhante foi observado nos poços de alívio 11 e 12, localizados ao lado do PJ. Isto significa que este piezômetro representa a região de injeções realizadas próximas ao túnel de desvio, isto é, se ocorrerem problemas de fluxo nesta região, provavelmente este piezômetro indicará alterações. Após o segundo bombeamento do túnel de desvio, a cota neste piezômetro manteve-se constante desde então.

O PJ-3 esta localizado no antigo leito do rio. Esta zona apresentou, mesmo após as três etapas de injeção, permanência de área de permeabilidade residual elevada (na fundação do trecho do leito do rio, entorno do contato entre os derrames 1 e 2 - cotas 70 a 60m). O comportamento da cota piezométrica neste PJ é semelhante ao PJ-2, inclusive a linha d'água se mantém na mesma cota que este. A célula piezométrica do PJ-3 esta instalada a mais de 17m abaixo da célula do PJ-2, isto significa, portanto, que ambos estão instalados numa mesma equipotencial, não ocorre alívio de pressão nesta zona.

Apesar de o PJ-4 estar localizado na região de drenagem dos poços PA26, 25 e 24, onde havia sido especificada a instalação de piezômetros complementares devido a identificação de pressões crescentes durante o enchimento do reservatório, o mesmo não apresenta alterações desde o segundo enchimento.

A célula piezométrica do PJ-5 está localizada no topo do derrame 5, região caracterizada como muito permeável, antes dos trabalhos de injeção. Este piezômetro apresentou aumento de linha d'água de 10 metros durante o enchimento do reservatório, comportamento semelhante ao poço PA-32 localizado praticamente na mesma cota. Desde 2009, quando as leituras foram retomadas, percebe-se uma redução de pressão na região. Observa-se também, que, apesar da célula piezométrica do PJ5 está instalada a mais de 20 abaixo da célula do PJ1, a pressão em ambos é semelhante, comprovando a tendência da ombreira direita ser mais permeável que a esquerda.

Na Figura 45, é possível identificar o comportamento das pressões nos piezômetros PJ comparadas com a linha d'água nos poços de alívio.

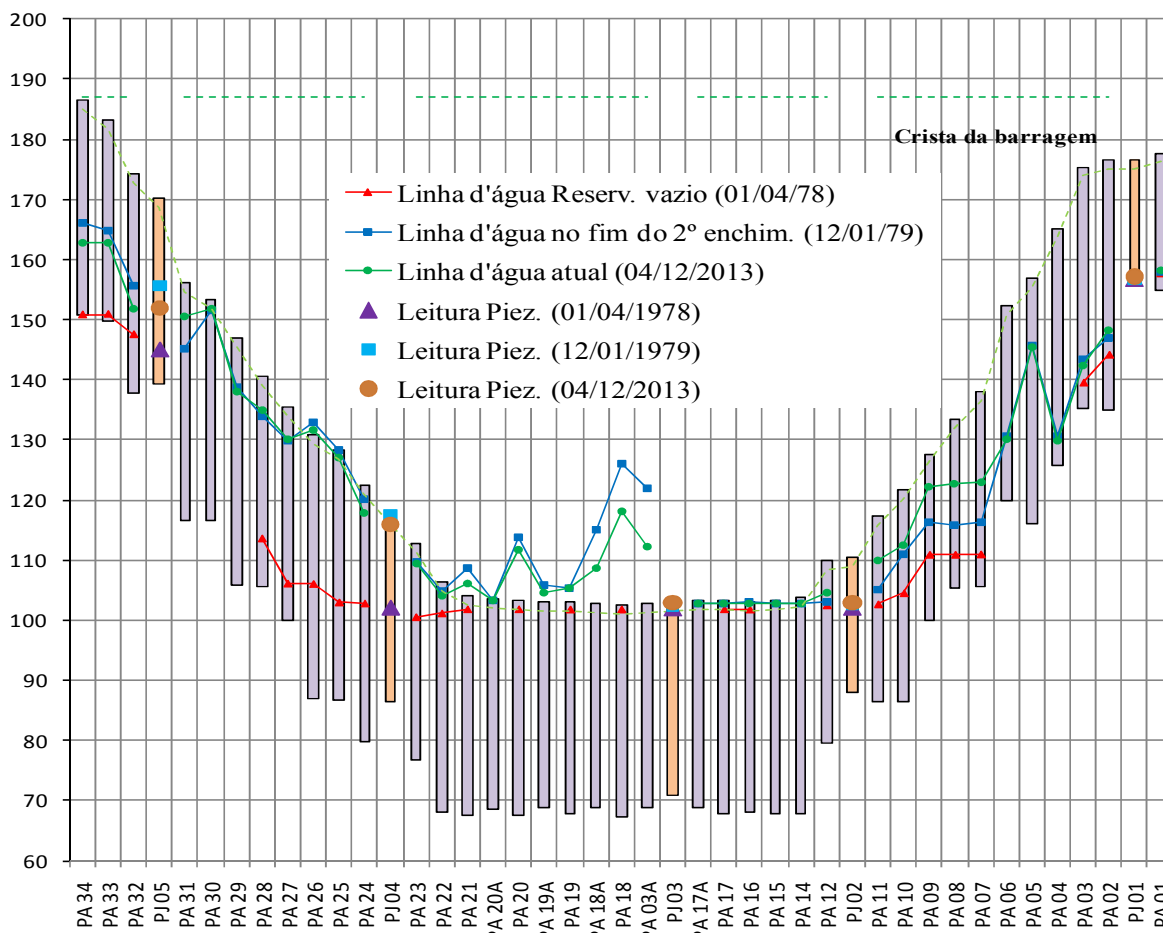


Figura 45: Comportamento dos piezômetros e poços de alívio à jusante da barragem

Observa-se que tanto a linha d'água quanto as pressões tiveram variação significativa com o enchimento do reservatório. Após 35 anos de operação da barragem, o cenário, quanto às pressões, praticamente não se alterou indicando um bom funcionamento do sistema de drenagem da barragem e eficiência das injeções.

6 DESLOCAMENTOS NA BARRAGEM DE ITAÚBA

Sendo a Barragem de Itaúba do tipo enrocamento e núcleo de argila, com curvatura aproximada de 43° no arco de seção e encaixada em um vale de 400m de largura, o monitoramento dos deslocamentos é importante, principalmente, durante o enchimento do reservatório e nos primeiros anos de operação. São estes deslocamentos que, se ocorrerem excessivamente ou não forem previstos em projeto, poderão causar trincas na estrutura facilitando a passagem de água e a erosão interna. Durante o período operacional, o monitoramento dos deslocamentos da barragem tem como objetivo o acompanhamento dos recalques e a constatação de eventuais indicativos de instabilidade dos taludes.

Os movimentos horizontais são decorrentes da compressibilidade dos materiais do aterro, assim como influenciados pela forma do vale das ombreiras (Silveira, 2006), por isso, durante o período operacional, os deslocamentos horizontais podem ter direções variáveis influenciados pela variação do nível do reservatório.

Divino (2010) verificou, baseado no estudo de caso da barragem de terra enrocamento da UHE Emborcação, que, em períodos de reservatório em nível mais alto, os deslocamentos de uma barragem são para jusante e em períodos mais baixos, os deslocamentos são para montante, uma vez que a carga hidrostática é reduzida.

Os deslocamentos verticais de barragens (recalques) são decorrentes da compressibilidade dos materiais utilizados na construção e seu comportamento quando submersos, da resistência da fundação da estrutura e do controle de compactação na execução.

Durante o enchimento do reservatório, uma das condicionantes para a aceleração dos movimentos na barragem com a elevação do nível d'água pode ser a perda de resistência ao cisalhamento no enrocamento de montante em função da submersão (Divino, 2010). Isto poderá causar recalques no enrocamento de montante, provocando o deslocamento da estrutura para esta direção em algumas seções.

Na barragem de Itaúba, foram instaladas caixas suecas, inclinômetros, marcos de deslocamento superficial e medidor de recalque KM para monitoramento dos deslocamentos da estrutura.

Em 1997, todas as caixas suecas estavam danificadas sem possibilidade de recuperação e as leituras dos demais instrumentos foram suspensas. Atualmente, o acompanhamento dos deslocamentos é feito somente através do medidor de recalque KM com leituras mensais.

Neste capítulo serão apresentados os resultados da instrumentação de medida de deslocamentos da Barragem de Itaúba desde a construção até os dias atuais, além das previsões feitas através de ensaios e cálculos estimativos.

6.1 PREVISÃO INICIAL DE RECALQUES

Durante a construção de uma barragem de terra e enrocamento, recalques se desenvolvem na fundação e no maciço. Tais movimentos devem ser previstos na fase de projeto e minimizados com o melhoramento das técnicas construtivas e seleção dos materiais que constituirão os aterros.

A previsão dos recalques também é feita com o objetivo de quantificar os materiais de aterro para execução da sobre-elevação da crista da barragem. A execução de sobre-elevação é necessária para que, quando os recalques já estiverem estabilizados, a crista da barragem encontre-se na cota conforme projetado. Por isso as medições de recalque em barragens de terra e enrocamento devem ser incluídas no plano de instrumentação, com enfoque no período construtivo para supervisionar as condições de segurança (Almeida, 2010).

A previsão de recalques totais que a Barragem de Itaúba sofreria foi realizada durante os estudos preliminares do projeto. Esta estimativa foi apresentada no relatório intitulado “Memorial explicativo e Justificativo do projeto do Maciço da Barragem” desenvolvido pela ENGEVIX em dezembro de 1972.

A parcela devido ao recalque da fundação foi considerada desprezível já que Itaúba esta assentada sobre rocha de elevada resistência. A parcela de deformação vertical do núcleo foi considerada a mais expressiva nesta simulação, superior até mesmo à compressibilidade do enrocamento.

Considerou-se que nas camadas das cotas mais elevadas (próximas à crista) do núcleo, as deformações ocorreriam imediatamente, ainda durante a construção, e nas cotas inferiores ocorreriam lentamente, boa parte após o período construtivo.

Segundo o relatório da ENGEVIX (1972), os cálculos para previsão dos recalques foram baseados na teoria de Terzaghi, considerando índice de compressão. Foram adotadas características médias de compressibilidade do material argiloso do núcleo de acordo com os ensaios de adensamento realizados.

De Mello (1975) cita que, além da determinação dos parâmetros geotécnicos fundamentais (resistência, compressibilidade e permeabilidade), o objetivo dos ensaios era determinar os problemas de deformabilidade diferenciais, zonas de redistribuição de tensões, fissuras e permeabilidade, principal problema com barragens de terra e enrocamento. No caso em específico, os ensaios de adensamento e permeabilidade seriam os mais importantes para definir a “personalidade geotécnica” do solo. O resultado desta estimativa é apresentado na Tabela 26 e Figura 46.

Tabela 26: Previsão dos recalques na Barragem de Itaúba

Zona	Total na zona (m)		
	Total	Construção	Pós-construção
Superior	2,55	2,55	-
Intermed.	1,41	1,13	0,28
Inferior	2,02	1,21	0,81
Total	5,98	4,89	1,09
%	100%	82%	18%

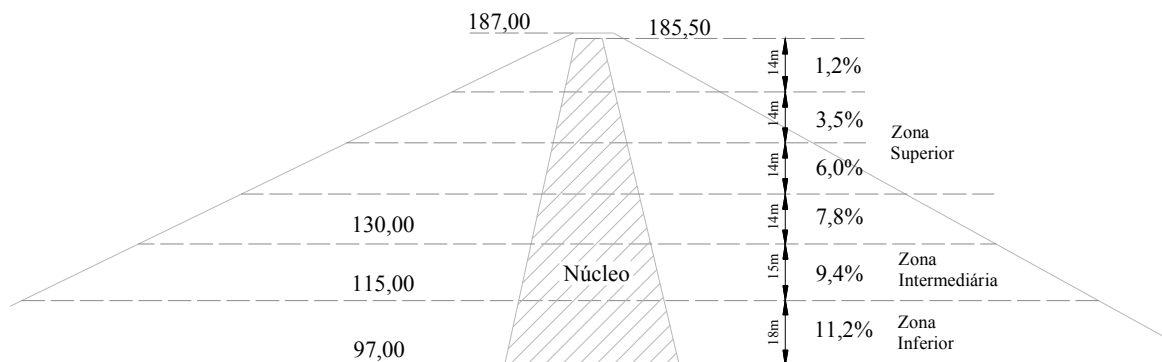


Figura 46: Previsão de recalques na barragem

O cálculo estimativo concluiu que terminada as obras da Barragem de Itaúba, haveria uma tendência de seu coroamento recalcar ao longo do tempo 1,09m, o que corresponderia a 1,21% da altura da barragem.

Os cálculos apresentados foram uma mera aproximação da realidade, pois, devido à sua complexidade, não foram considerados outros fatores que poderiam influenciar o comportamento do maciço tal como os efeitos do enchimento do reservatório.

No enchimento, a água satura as camadas compactadas do núcleo argiloso, essa saturação é progressiva, mas relativamente lenta. Durante este processo concorrem dois fenômenos contraditórios que se compensam:

- a) Tendência de recalques expressivos das camadas inferiores (mais solicitadas);
- b) Submersão progressiva das camadas inferiores: à medida que o nível da linha freática superior ascende diminuindo o peso (ou pressão) do maciço, contribuindo para diminuição do recalque total que ocorreria sem a percolação de água.

Também não foram consideradas a umidade de compactação e a execução das obras em períodos secos ou chuvosos, que influenciam no processo de compressão do solo.

No relatório da ENGEVIX (1972) é citado que G.F. Sowers (1962), em seu livro “Earth and Rockfill Dam Engineering”, apresenta recalques de barragens de enrocamento sendo medidos na faixa de 0,4 a 2,7% da altura das barragens. O controle dos recalques durante e

após a construção da Barragem de Itaúba seria, portanto, altamente elucidativo e interessante para futuros projetos.

Em novembro de 1973, os projetistas simularam o comportamento da Barragem de Itaúba relativo às tensões e deslocamentos que ocorreriam no maciço após a finalização da construção. Para tanto, foi utilizado um programa de elementos finitos concebido e desenvolvido nos Estados Unidos, Universidade de Berkeley, Califórnia, tendo F.H.Kulhawy, J.M.Duncan e H.B.Seed como autores.

Esta simulação concluiu que a barragem recalcaria 2,18 metros (período construtivo e operacional).

6.2 PERÍODO CONSTRUTIVO

Durante o período construtivo (outubro/1973 a janeiro/1978), o monitoramento das tensões e deslocamentos foram acompanhados pelas medidas das células de tensão total, caixas suecas e medidor de recalque KM. Com estes resultados, o programa de elementos finitos foi novamente utilizado para retroanálise das tensões e deformações no final de construção. Nas Figura 47 e Figura 48 são apresentados os resultados desta simulação.

Observa-se que, durante o período construtivo, a barragem recalcou, no máximo, 1 metro no centro do núcleo (entre as cotas 140 e 150) e 70 cm no enrocamento na região central à jusante.

A retroanálise indicou que as maiores tensões localizaram-se à jusante da barragem junto à fundação, no enrocamento denominado C, chegando a 170 t/m². Nas transições, as tensões foram superiores aos dos materiais adjacentes (núcleo e enrocamento).

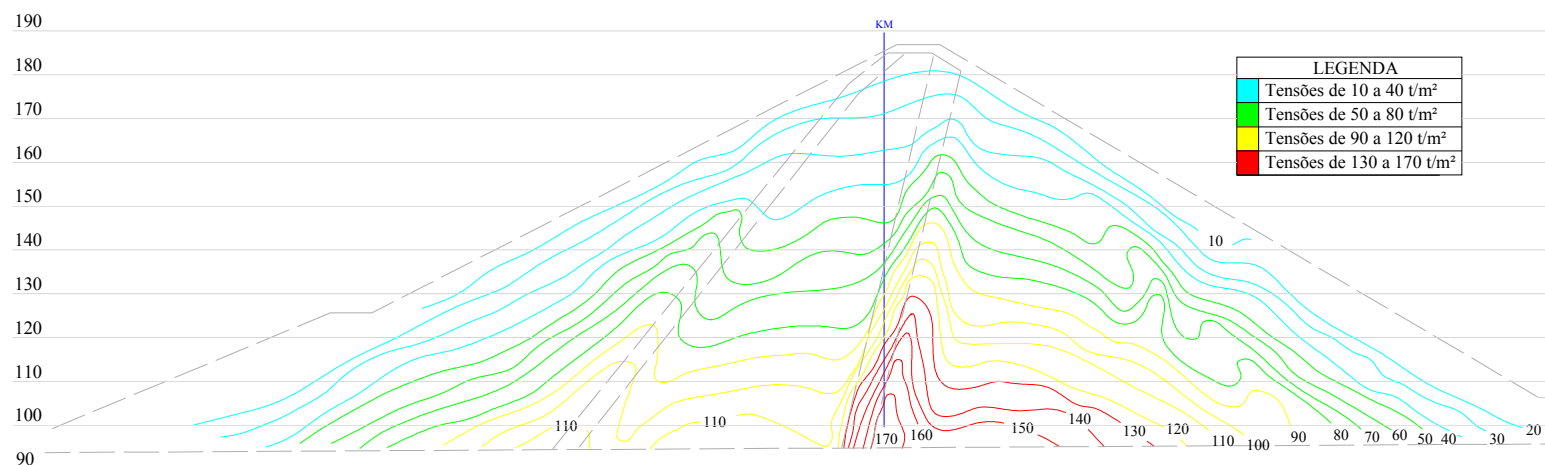


Figura 47: Distribuição das tensões (t/m²) no final de construção da Barragem de Itaúba na estaca 12 (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-189/1978, adaptado)

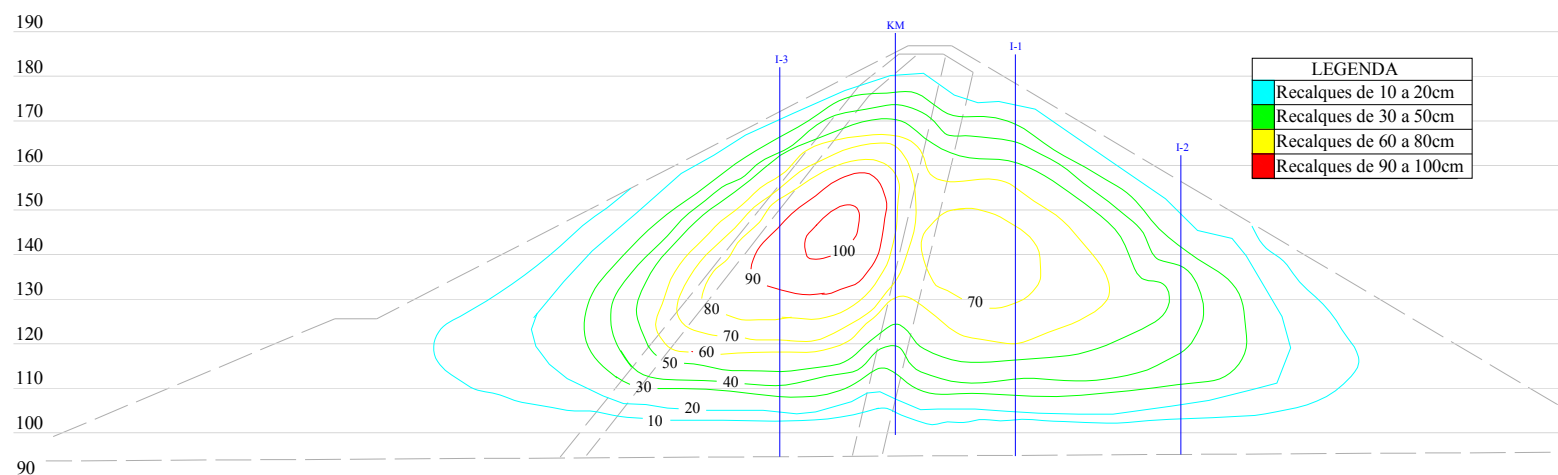


Figura 48: Recalques (cm) no final de construção da Barragem de Itaúba na estaca 12 (fonte: Projeto do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba – CI-C-25-189/1978, adaptado).

Na Tabela 27, apresentam-se os dados reais de leitura do medidor de recalque KM, localizado na estaca 12 (centro da barragem), durante o período construtivo.

Tabela 27: Recalques durante o período construtivo dados pelo medidor de recalque KM

	Camadas entre placas					
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Cota de instalação da placa superior (m)	112,61	121,74	126,74	133,72	140,80	147,56
Espessura da camada (m)	7,03	9,13	5,00	6,97	7,08	6,76
Material	Enrocamento Fino	Transição de Brita	Transição de Brita	Filtro de Areia	Núcleo de argila	Núcleo de argila
Posição do ponto médio da camada em relação à altura da barragem	15%	24%	32%	38%	46%	53%
Recalque total acumulado por camada (cm)	4,4	6,75	7,6	16,4	24,55	13,5
Recalque % por camada	0,63%	0,74%	1,52%	2,35%	3,47%	2,00%
	Camadas entre placas					Total (cm)
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	
Cota de instalação da placa superior (m)	154,46	161,344	168,26	175,07	182,06	101,95
Espessura da camada (m)	6,9	6,88	6,92	6,81	6,99	
Material	Núcleo de argila	Núcleo de argila	Núcleo de argila	Núcleo de argila	Núcleo de argila	
Posição do ponto médio da camada em relação à altura da barragem	61%	68%	76%	83%	91%	
Recalque total acumulado por camada (cm)	9,4	7,75	5,55	3,6	2,45	
Recalque % por camada	1,36%	1,13%	0,80%	0,53%	0,35%	

Através da análise destes dados, é possível afirmar que as camadas que mais sofreram recalque relativo são as localizadas no centro da barragem. A camada que mais recalçou foi aquela localizada na argila, seguida pelo filtro de areia. O recalque total no período construtivo, indicado pelo medidor de recalque KM, foi de 1,02m, o que representa 1,11% em relação à altura total da barragem.

Almeida (2010), no estudo de tensão e deformação nas barragens de terra enrocamento, caso da Barragem de Irapé, afirma que, de acordo com a literatura, o máximo deslocamento ocorre próximo à meia altura da barragem devido a uma combinação favorável entre a camada subjacente e a pressão devida ao aterro sobrejacente. As camadas inferiores são de menor espessura e recalcam menos, embora sujeitas a elevadas pressões verticais. Já no trecho superior, as pressões são pequenas, apesar da grande espessura acumulada, e os recalques relativos são também menores. Comportamento este observado na barragem de Itaúba.

Com relação aos deslocamentos horizontais, os inclinômetros foram a instrumentação utilizada para monitoramento durante a construção da barragem. A leitura dos marcos topográficos foi iniciada somente na segunda etapa do enchimento do reservatório. Os resultados, para o eixo central da barragem (estaca 12), são apresentados nas Figura 49.

Os deslocamentos horizontais foram mais expressivos no núcleo, chegando a 92 cm na cota 140. No enrocamento de jusante, o deslocamento foi, no máximo 55 cm, na cota 140 identificado no inclinômetro 2. Sendo o núcleo inclinado para jusante, estes deslocamentos estão associados ao recalque da argila que movimenta toda a estrutura para esta direção.

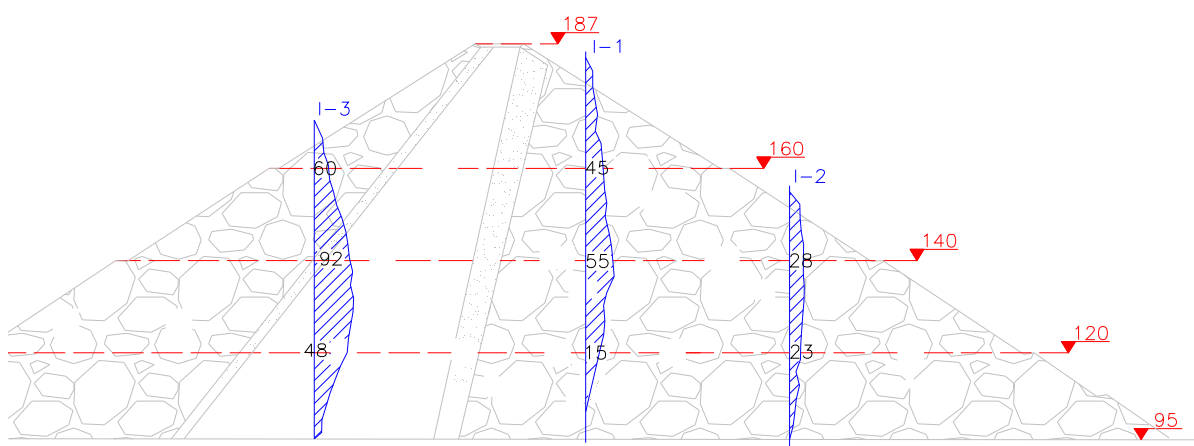


Figura 49: Medidas dos deslocamentos horizontais pelos inclinômetros na estaca 12 –(final de construção)

Após a finalização da construção da barragem, foram instalados 15 marcos topográficos no talude de jusante para monitoramento dos deslocamentos superficiais do enrocamento. Em pontos considerados indeslocáveis e sem qualquer influência da barragem foram instalados marcos, um na ombreira direita e outro na ombreira esquerda, a partir dos quais são visualizados os marcos de deslocamento (Figura 50).



Figura 50: Marco de referência localizado na ombreira esquerda da Barragem de Itaúba

As medições dos deslocamentos horizontais eram feitas por triangulação geodésica empregando teodolito de precisão e os recalques eram lidos através de nível óptico.

6.3 ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO

Na primeira etapa do enchimento do reservatório de Itaúba o núcleo argiloso compactado foi auscultado quanto aos deslocamentos verticais por três caixas suecas (S-1, S-8 e S-12), instaladas respectivamente nas cotas 122 m, 144 m e 162 m e, aproximadamente, na linha de centro do núcleo, na estaca 12 (Figura 51).

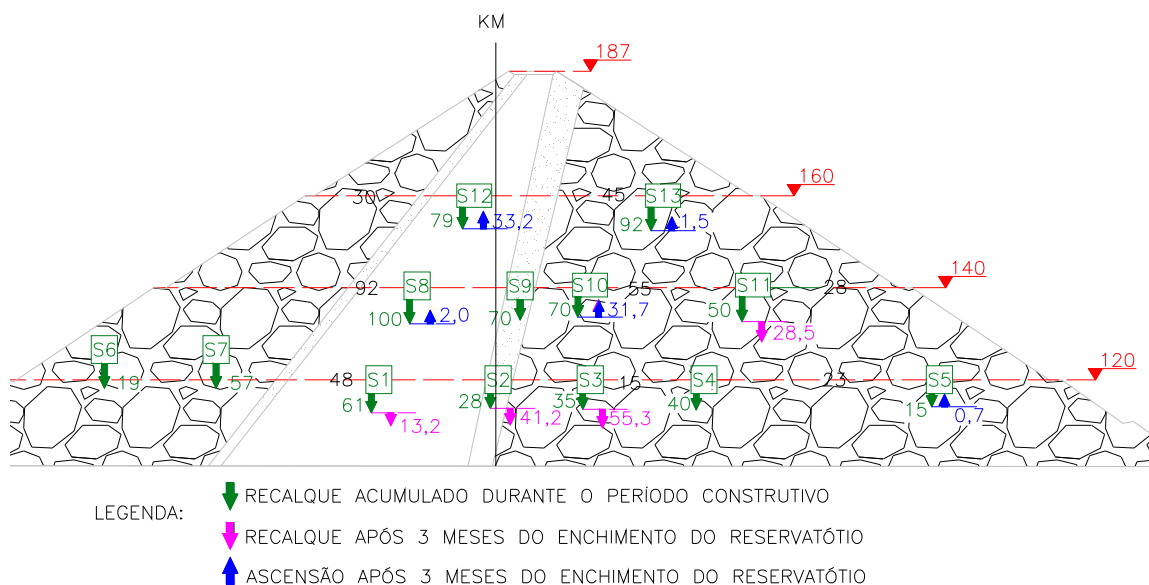


Figura 51: Leitura das caixas suecas no final do período construtivo e 3 meses após o segundo enchimento do reservatório (18/10/1978)

A caixa S-1 apresentou um recalque de 61 cm no final de construção e após 3 meses do final do segundo enchimento estava com 74,2 cm, significando um acréscimo de 13,2 cm devido ao enchimento. As caixas S-8 e S-12, localizadas no centro e parte superior do núcleo, apresentaram uma ascensão. A última leitura da caixa S-12, por exemplo, no final da construção, foi de 79 cm passando para 45,8 cm três meses após o fim do segundo enchimento, ou seja, 33,2 cm de decompressão devido ao enchimento do reservatório.

Os estudos de tensões e deformações efetuados por elementos finitos mostraram que esse comportamento foi gerado pelo alívio de tensões em análises com pressões totais. Entretanto, ao passo que esse comportamento era previsível em análise estrutural elástica, o valor de 33,2cm foi considerado excessivo, colocando em dúvida a resposta dada pela leitura das caixas suecas.

Na Figura 52, foi construído gráfico de barras com as leituras dadas pelo medidor de recalque KM logo após o final do segundo enchimento do reservatório (26/08/1978).

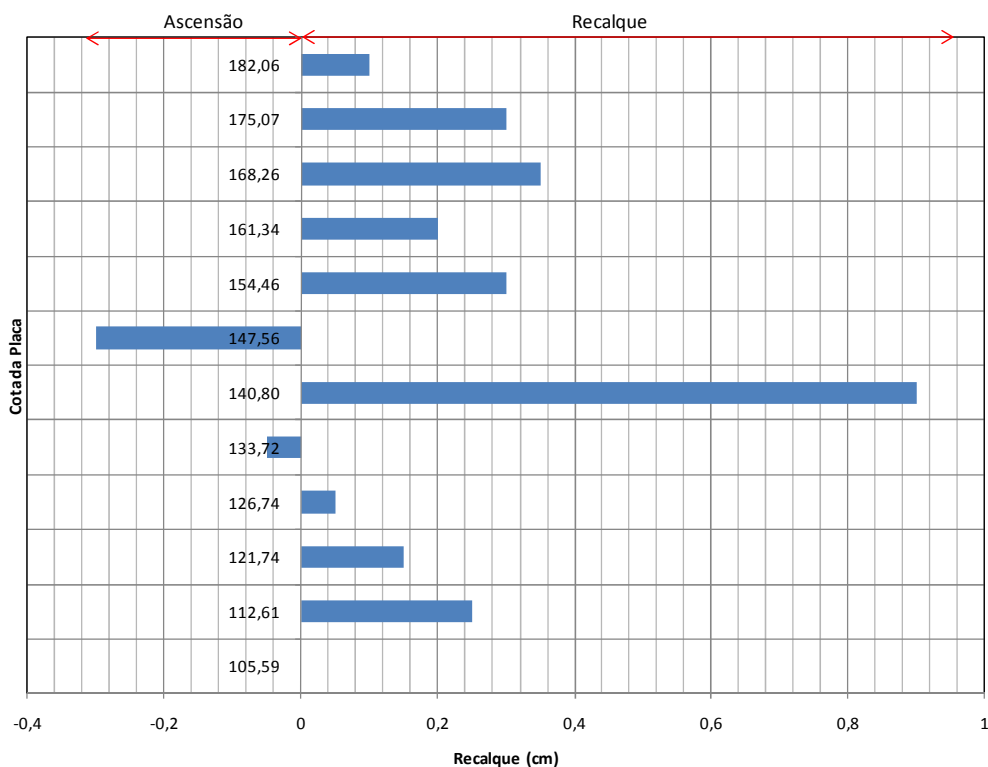


Figura 52: Recalques no núcleo da barragem fornecidos pelas leituras no medidor de recalque KM (estaca 12)

As leituras do medidor de recalque KM foram coerentes com o comportamento dado pelas caixas suecas, porém, tanto a magnitude dos deslocamentos quanto o comportamento da camada central e superior da barragem são distintos. Enquanto as caixas suecas indicaram ascensão das camadas da barragem da cota 140 para cima, o medidor de recalque KM indicou ascensão apenas das placas localizadas nas cotas 133,72 e 147,56, mas recalque das camadas superiores e da camada central, representada pela placa instalada na cota 140,48. Inclusive a camada central foi a que mais recalcou sendo 0,9cm o recalque devido o enchimento do reservatório.

O recalque total do núcleo e transições monitorado pelo medidor de recalque KM, dentre camadas que ascenderam e camadas que recalçaram, foi de 2,25cm durante o enchimento do reservatório.

Quanto aos deslocamentos horizontais, na fase do 1º enchimento do reservatório (01/04/1978 a 21/04/1978), não há registro dos deslocamentos da estrutura feitos através dos marcos de deslocamento superficial por deficiência das medidas dos mesmos, o acompanhamento foi

feito através das leituras dos inclinômetros, conforme descreve o relatório ENGEVIX ST-370/3/2.

Os projetistas relataram que era difícil avaliar se os dados disponíveis eram merecedores de crédito. Na estaca 12 (centro da barragem), o Inclinômetro I-1, face ao enchimento parcial do reservatório, deslocou-se para jusante e no mês seguinte voltou para montante, enquanto o I-2, também na estaca 12 mais a jusante, teve o comportamento inverso.

Segundo Silveira (2006), movimentos inicialmente para montante e posteriormente para jusante, no primeiro enchimento do reservatório podem ser explicados pela ação simultânea do enfraquecimento do material do enrocamento de montante e da carga d'água sobre o núcleo argiloso. Os movimentos para montante causados pelo enfraquecimento do enrocamento são maiores durante os estágios iniciais do enchimento porque a compressibilidade do mesmo, motivada pela saturação, é mais intensa quando a pressão, devido ao material sobrejacente é maior, afetando, portanto, de modo mais expressivo as camadas inferiores do enrocamento. Já os movimentos para jusante causados pela carga d'água sobre o maciço argiloso, são maiores durante a fase final do enchimento, uma vez que o empuxo é proporcional ao quadrado da altura.

Fonseca (2003) relata que, para a Barragem de São Simão, quanto à movimentação dos inclinômetros, na fase do enchimento do reservatório, os resultados mostram uma movimentação geral da barragem ora para jusante ora para montante. A autora afirma que este comportamento está intrinsecamente associado à magnitude dos recalques ocorridos nas zonas do maciço à montante durante o enchimento.

Na Figura 53 comparam-se as medidas de deslocamento acumulado dados pelos inclinômetros na estaca 12 antes do enchimento do reservatório e 3 meses depois deste período.

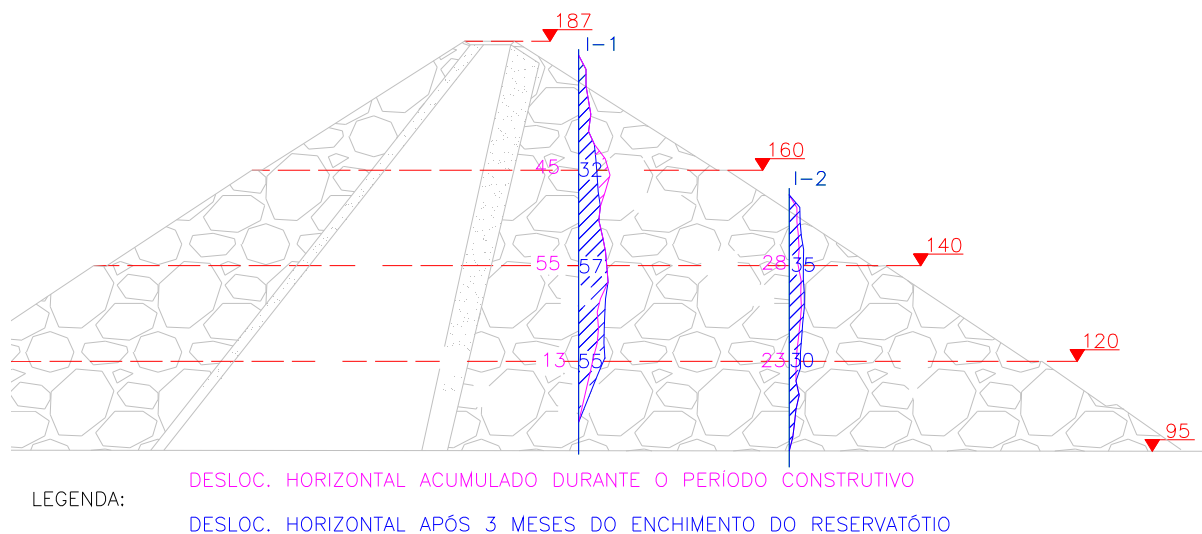


Figura 53: Leitura dos inclinômetros no final do período construtivo e 3 meses após o segundo enchimento do reservatório (18/10/1978)

Observa-se que a parte superior da barragem teve deslocamento para montante enquanto que, do centro para baixo, o deslocamento foi para jusante

Quanto aos marcos de deslocamento superficial, o relatório ENGEVIX ST-382/3/2 descreve os deslocamentos sofridos a partir da segunda etapa do enchimento do reservatório, ou seja, da cota 165 m à cota 184 m.

O relatório afirma que os acréscimos de deslocamento acusados pelos marcos devido à segunda etapa de enchimento do reservatório alcançaram até 30 cm para jusante e ocorreram imediatamente com o enchimento. Pequenas acomodações de até 3 cm ainda ocorreram nos 30 dias seguintes aproximadamente. O assentamento dos marcos foi pequeno, alcançando até 4 cm.

Quando as planilhas com os dados de leitura dos marcos topográficos foram digitadas para confecção desta dissertação, verificou-se que no relatório de novembro de 1981, as coordenadas dos marcos foram revisadas, apresentando-se novos valores de deslocamentos horizontais. Não existe explicação do por que desta alteração, mas supõe-se que os dados foram revistos em função de algum erro de referência.

Esta revisão das coordenadas altera a afirmação feita quanto aos deslocamentos durante o segundo enchimento do reservatório. Segundo os novos dados, a barragem deslocou, no máximo 10 cm, identificado nos marcos 5 e 9.

O relatório ENGEVIX ST-382/3/2 continua a descrição afirmando que, dos 15 marcos de assentamento instalados no talude de jusante da barragem, 6 acusaram deslocamentos muito pequenos (o relatório não cita quais são, porém, através da análise comparativa feita a seguir, é possível afirmar que, provavelmente, se referem aos marcos 1, 3, 7, 11, 14 e 15 que se deslocaram entre 2,3 e 4,3cm), ver Figura 54.

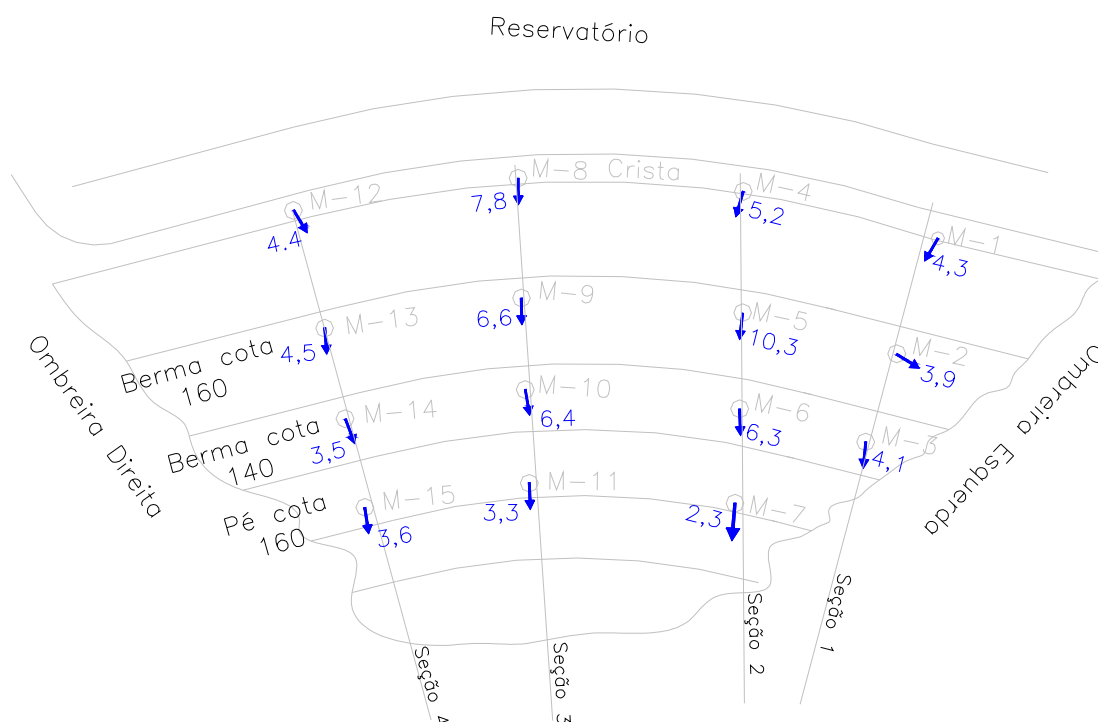


Figura 54: Direção e Magnitude dos deslocamentos dos marcos da barragem resultantes do enchimento do reservatório

Os marcos da crista junto às ombreiras deslocaram-se em direção ao centro da barragem. Os demais localizados nas seções de ombreira deslocaram-se para jusante e em direção à respectiva ombreira, enquanto que no leito do rio, o marco 9, único que deslocou-se significativamente nessa seção, o fez para jusante, paralelo à seção transversal.

Divino (2010) analisou o comportamento de enrocamentos de Barragens através do estudo de caso da Barragem de Emborcação. A autora relata que, durante o enchimento do reservatório, a barragem se deslocou para jusante com a movimentação mais intensa em direção ao centro (leito do rio) e deslocamentos significativos nas ombreiras. Os deslocamentos horizontais ocorreram em maiores proporções nas bermas superiores (1 m) e regiões centrais da barragem (0,8 m).

Ao comparar esta barragem com as movimentações na Barragem de Itaúba no enchimento do reservatório, observa-se comportamento semelhante e compatível com a movimentação superficial de enrocamento, apesar das magnitudes bastante distintas, cujos prováveis motivos serão relatados ao final deste capítulo.

6.4 PERÍODO OPERACIONAL

Atualmente, o único instrumento, em funcionamento, para monitoramento dos deslocamentos da Barragem de Itaúba é o medidor de recalque KM. Em 2011, as leituras dos marcos de deslocamento topográfico foram retomadas, porém, novamente suspensas em 2012.

Até 1996, as leituras dos marcos topográficos eram feitas com teodolito e nível topográficos, ambos instrumentos ópticos, utilizando-se o sistema de referência SAD69. Atualmente, as medições são feitas com estação total, um instrumento eletrônico, e utiliza o sistema de referência SIRGAS 2000.

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o SAD69 e o SIRGAS 2000 são sistemas de concepção diferente. Enquanto a definição do SAD69 é topocêntrica, ou seja, o ponto de origem e orientação está na superfície terrestre, a definição do SIRGAS2000 é geocêntrica. Isso significa que esse sistema adota um referencial diferente, com isso, todas as coordenadas da informação geográfica sofrem alteração de seus valores seguindo a mesma magnitude e direção. Isto é, não é possível comparar um referencial de coordenadas de um com o outro.

Porém, segundo o IBGE, as leituras realizadas com o sistema SAD69 podem ser transformadas para SIRGAS2000 com o uso de programas específicos, sendo os mesmos compatíveis ao nível de poucos centímetros. Entretanto, erro com precisão de centímetros não são admissíveis para análise de deslocamento em barragens, por isso, não é possível comparar as leituras antigas dos marcos topográficos de Itaúba com as leituras atuais.

Isto é, para análise dos deslocamentos superficiais de Itaúba, os medidos até o ano de 1996 podem ser comparados apenas com as leituras do período entre 1978 a 1996 e as leituras feitas a partir de 2011 devem ser comparadas apenas com as leituras atuais.

Portanto, nesta etapa, será discutido o comportamento dos deslocamentos medidos pelos marcos de deslocamento superficial apenas até 1996 já que, em 2012, o monitoramento

topográfico dos marcos foi novamente suspenso, pois o aparelho utilizado para leitura não possuía precisão mínima suficiente para este tipo de uso. Também não será discutido o comportamento da barragem monitorada através dos inclinômetros e caixas suecas já que a leitura dos mesmos não é feita atualmente, o que impossibilita a análise comparativa dos dados antigos com a situação atual da estrutura.

6.4.1 Análise dos recalques no núcleo de argila

Com a coleta de dados do medidor de recalque KM desde a época de construção da barragem até os dias atuais, foi possível a confecção de uma tabela comparativa (Tabela 28) que inclui os recalques ocorridos durante o período construtivo, enchimento do reservatório e período operacional no núcleo da barragem.

Tabela 28: Recalques na Barragem de Itaúba medidos pelo Medidor de recalque KM

Período	Data	Prazo (anos)	Recalque no período (cm)	%	Total
Construtivo	24/06/76 a 30/03/78	1,76	101,75	92,8%	
1° Enchimento do reservatório	01/04/78 a 20/07/78	0,30	1,9	1,7%	94,8%
2° Enchimento do reservatório	21/07/78 a 26/08/78	0,10	0,3	0,3%	
Operacional	27/08/78 a 03/06/13	34,79	5,65	5,2%	5,2%
Total	Estabilizado em 1988	36,96	109,6		100,0%

Constata-se que quase a totalidade dos recalques ocorreram durante o período construtivo (92,8%). Logo após o enchimento do reservatório, 95% dos recalques já haviam ocorrido.

Conforme leitura do medidor de recalque KM, os incrementos dos recalques mostraram-se bastante reduzidos, sendo, no máximo, 0,65cm no primeiro ano (1979) após o enchimento do

reservatório e de 0,15 a 0,25cm/ano nos próximos anos medidos até 1983. No ano de 1988 foi realizada uma leitura e os recalques já apresentavam valores semelhantes aos medidos em 1996 e que não se alteraram em 2011 até hoje. Isto quer dizer que a estabilização dos deslocamentos verticais ocorreu entre os anos de 1983 e 1988 (5 à 10 anos após o enchimento do reservatório). Por causa dos períodos em que as leituras foram suspensas, não é possível determinar o ano exato em que os recalques estabilizaram (Figura 55).

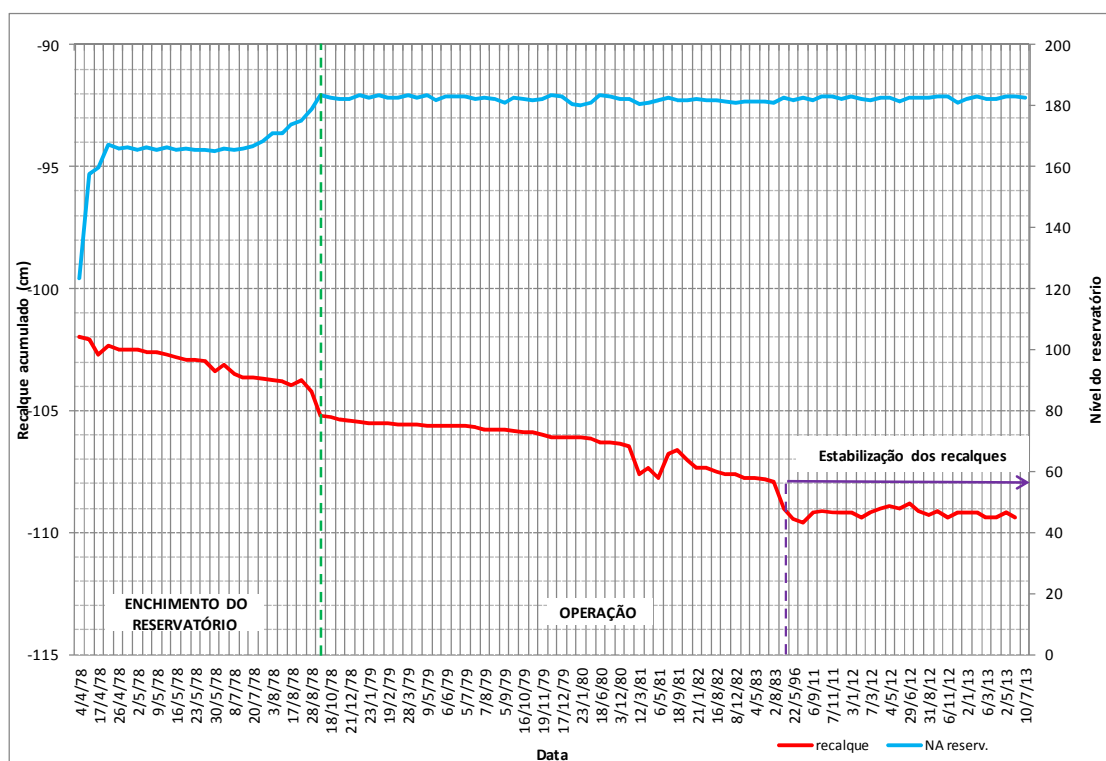


Figura 55: Recalques na Barragem de Itaúba desde o enchimento do reservatório

Quando estes recalques ocorridos na Barragem de Itaúba são comparados com outras barragens Brasileiras (Tabela 29 e Tabela 30), se observa que são proporcionais aos estudos de caso apresentados. Enquanto que, nas barragens brasileiras, entre 71 a 100% dos recalques totais ocorreram durante o período construtivo, em Itaúba 92,8% ocorreu nesta etapa. Quando se compara a proporção do recalque total com a altura da barragem, nas barragens brasileiras este valor esta ente 0,4 a 1,9%, em Itaúba esta relação foi de 1,2%.

Na barragem de terra e enrocamento de São Simão, Fonseca (2003) descreve que 90% dos recalques ocorreram até o final do período de enchimento do reservatório, evidenciado pelos medidores IPT e inclinômetros. Em Itaúba, ao final do segundo enchimento, 95% dos recalques totais já tinham ocorrido.

Tabela 29: Recalques totais observados em maciços compactados em barragens brasileira

Barragem	Tipo de solo (origem geológica)	Recalque (cm)			Recalque Percentual (δ/H) (%)	% de recalque durante a construção
		Observado	Previsto (1)			
			ML	BI		
Ilha Solteira	Solo coluvionar (basaltos e arenitos)	61,00	95,00	105,00	1,2%	95%
		50,00	77,00	165,00	1,1%	95%
		33,00	58,00	71,00	0,9%	100%
		28,00	33,00	51,00	1,0%	98%
Água vermelha	Solo coluvionar (basaltos)	5,50			0,2%	73%
		6,60			0,2%	73%
		19,00			0,4%	83%
		12,70			0,35	67%
Três Irmãos	Solo coluvionar (basaltos)	5,30	5,90	14,5	0,2%	
Volta Grande	Solos coluvionares e residuais (basaltos)	26,00	16 a 96		1,2%	85%
Itumbiara	Solo coluvionar (basalto)	190,00			1,9%	81%
		127,00			1,6%	93%
Chavantes	Solo coluvionar (basalto)	41,00	344,00		1,4%	71%
	Solo coluvionar (arenito)	143,00	155 a 177		1,7	
Euclides da Cuna	Solos residuais (gnaisse)	93,00			1,5%	92%
Jacarei	Solo coluvionar (gnaisse)	40,00		86,00	0,8%	96%
Jaquari (Sabesp)	Solo coluvionar (gnaisse) Solo residual (gnaisse)	99,50		150,00	1,6%	86%

Tabela 30: Recalques totais observados em maciços compactados em barragens brasileira (Continuação)

Barragem	Tipo de solo (origem geológica)	Recalque (cm)			Recalque Percentual (δ/H) (%)	% de recalque durante a construção
		Recalque (cm)	Previsto(*)			
			ML	BI		
Paraibuna	Solos coluvionares e residuais (biotita-gnaïsse)	80,00	98,00		1,2%	93%
		55,00	60,00		1,4%	
Dique de Paratinga	Solos coluvionares e residuais (biotita-gnaïsse)	87,00	120,00		1,3%	-
		29,00	68,00		0,7%	
		7,00	83,00		0,4%	
Paraitinga	Solos coluvionares e residuais (biotita-gnaïsse)	35,00	105,00		0,6%	94%
		100,00	128,00		1,1%	
		132,00	75,00		1,4%	
		100,00	63,00		1,6%	

Fonte: (Silveira, 1983)

(1) Previsão realizada com amostras Moldadas em Laboratório (ML) e amostras de Blocos Indeformados (BI)

Nesta tabela é possível observar também que, na maioria dos casos, os recalques previstos foram maiores que os observados. Em vários casos, os recalques previstos por ensaios em blocos indeformados foram mais que o dobro do ocorrido. Os ensaios de laboratório, em alguns casos, indicaram valores mais próximos da realidade.

Silveira (2006) cita que os recalques calculados a partir de resultados de ensaios sobre amostras moldadas em laboratório e amostras talhadas a partir de blocos indeformados apresentavam-se geralmente superiores aos recalques observados *in situ*, com valores geralmente de 1 a 3 vezes superiores.

Na barragem de Itaúba, quando comparado os recalques totais previstos através dos ensaios edométricos iniciais (6,04m) e o auscultado pelo medidor de recalque KM (1,09m), percebe-se que esta relação foi de 5,5 vezes superior. Por isso, os recalques calculados através da teoria clássica do adensamento só devem ser considerados como indicativos de tendências de deslocamento, sendo os métodos numéricos mais precisos, dependendo dos parâmetros de entrada e qualidade da informação disponível (Cruz, 1996).

Quando se compara a previsão de recalques feitas através de programa de elementos finitos (1973), simulados a partir de ensaios com blocos indeformados, e os recalques reais ocorridos em 35 anos de operação (já estabilizados), observa-se que esta relação é de 2 vezes.

6.4.2 Análise dos recalques no enrocamento de jusante

Quanto aos deslocamentos superficiais do enrocamento de jusante, monitorados através dos marcos de deslocamento, após o enchimento do reservatório, as leituras continuaram sendo realizadas a cada 6 meses até a barragem completar 5 anos de operação em 1983. A partir de então, as leituras dos deslocamentos horizontais foram suspensas, mantendo-se apenas leituras de recalques nos anos de 1986, 1987 e 1988 (7º, 8º e 9º anos de operação) e 1995 e 1996 (17º e 18º anos de operação). Com os dados dos recalques desde o ano de 1978 até 1996 (ver anexo II), foi confeccionada uma planilha comparativa com os recalques acumulados ocorrido em cada período, medidos a partir do 2º enchimento do reservatório, conforme apresentado na Tabela 31 e Tabela 32.

Tabela 31: Recalques acumulados no enrocamento de jusante

Local	Data	24/08/1978	% do recalque total	30/08/1979	% do recalque total
	Evento	Fim enchimento (cm)		até o 1º ano (cm)	
Seção 1	1	2,61	33%	4,79	74%
	2	1,94	37%	3,58	80%
	3	1,11	48%	1,55	77%
	4	4,17	29%	8,79	72%
Seção 2	5	3,16	26%	7,91	77%
	6	1,78	32%	3,55	76%
	7	1,13	55%	1,38	77%
Seção 3	8	4,38	29%	9,10	71%
	9	3,50	27%	8,58	77%
	10	2,49	30%	5,40	76%
	11	1,26	43%	1,91	77%
Seção 4	12	3,60	29%	7,57	70%
	13	2,64	30%	5,95	78%
	14	1,53	37%	2,72	76%
	15	1,07	57%	1,27	75%
Média			36%		75%

Tabela 32: Recalques acumulados no enrocamento de jusante
(Continuação)

Local	Data	05/05/1983	% do recalque total	08/07/1986	% do recalque total	21/05/1996
	Evento	até 5º ano (cm)		até 8º ano (cm)		até 18º ano (cm)
Seção 1	1	6,25	80%	6,73	86%	7,84
	2	4,26	81%	4,76	91%	5,23
	3	1,90	82%	2,04	88%	2,33
	4	11,34	79%	12,40	86%	14,40
Seção 2	5	9,94	82%	10,95	90%	12,18
	6	4,47	81%	4,87	88%	5,52
	7	1,64	80%	1,85	90%	2,05
Seção 3	8	11,75	77%	13,03	86%	15,23
	9	10,74	81%	11,81	89%	13,21
	10	6,78	81%	7,54	90%	8,41
	11	2,36	81%	2,60	90%	2,89
	12	9,33	75%	10,68	85%	12,52
Seção 4	13	7,25	81%	8,13	91%	8,92
	14	3,31	80%	3,77	91%	4,15
	15	1,53	81%	1,72	91%	1,89
Média			80%			89%

Os recalques ocorreram muito lentamente, no 5º de operação, em média, 80% dos recalques totais já tinham ocorrido e no 8º ano, 90%.

Com os dados da Tabela 31 e Tabela 32 e os recalques discriminados em cada marco detalhado no anexo II confeccionaram-se as Figura 56 à Figura 59 a Tabela 33, onde se apresentam as taxas médias de recalque em cada período. Observa-se que a taxa de recalque reduziu gradativamente e, a partir do 5º ano, a barragem já estava, praticamente, estabilizada.

Tabela 33: Taxa de recalque superficial (cm/mês) e velocidade média (cm/ano)

Local	Marco de Deslocam.	até fim do enchimento do reservatório (cm/mês)	Fim do enchimento do reservatório até 1º ano (cm/mês)	1º ao 5º ano (cm/mês)	5º ao 8º ano (cm/mês)	8º ao 18º ano (cm/mês)	Velocidade média período operacional (cm/ano)
Seção 1	1	0,52	0,18	0,03	0,01	0,01	0,29
	2	0,39	0,13	0,02	0,01	0,00	0,18
	3	0,22	0,04	0,01	0,00	0,00	0,07
Seção 2	4	0,83	0,37	0,06	0,03	0,02	0,57
	5	0,63	0,38	0,05	0,03	0,01	0,5
	6	0,36	0,14	0,02	0,01	0,01	0,21
	7	0,23	0,02	0,01	0,01	0,00	0,05
Seção 3	8	0,88	0,38	0,06	0,03	0,02	0,6
	9	0,70	0,41	0,05	0,03	0,01	0,54
	10	0,50	0,24	0,03	0,02	0,01	0,33
	11	0,25	0,05	0,01	0,01	0,00	0,09
Seção 4	12	0,72	0,32	0,04	0,03	0,02	0,5
	13	0,53	0,27	0,03	0,02	0,01	0,35
	14	0,31	0,10	0,01	0,01	0,00	0,15
	15	0,21	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05
Média		0,49	0,20	0,03	0,02	0,01	0,30

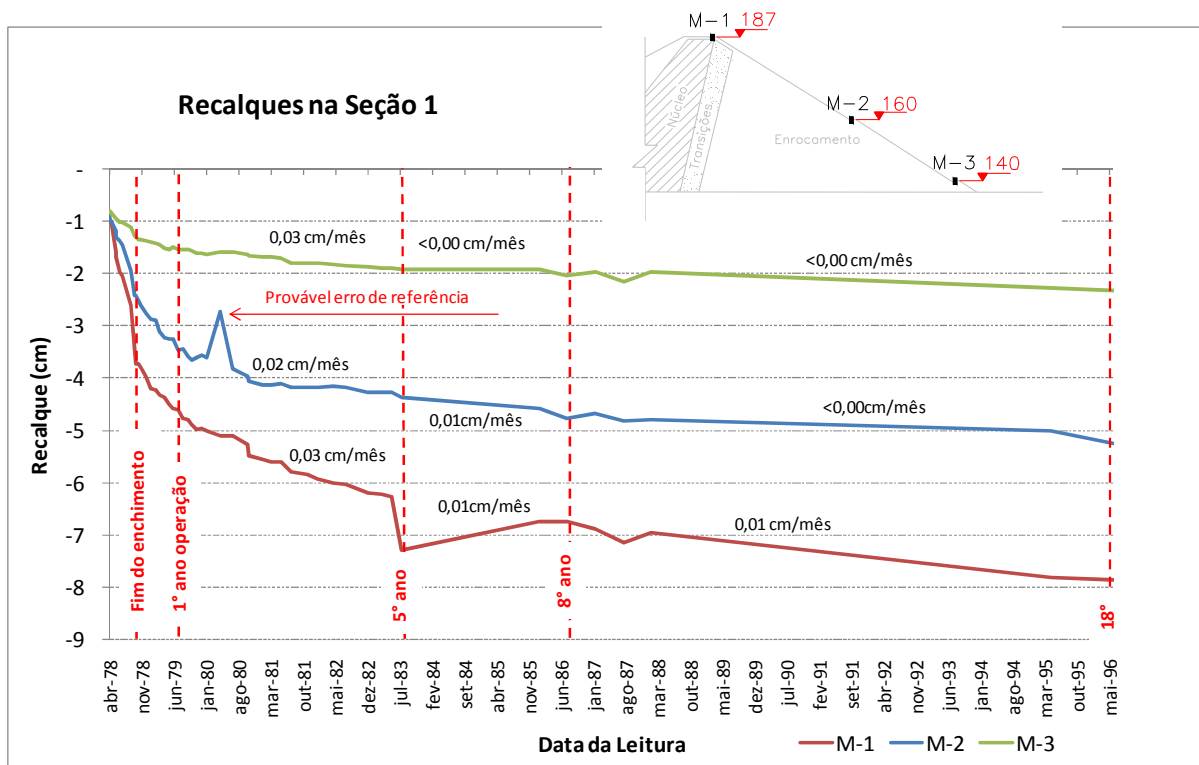


Figura 56: Recalques e taxas de recalque na seção 1

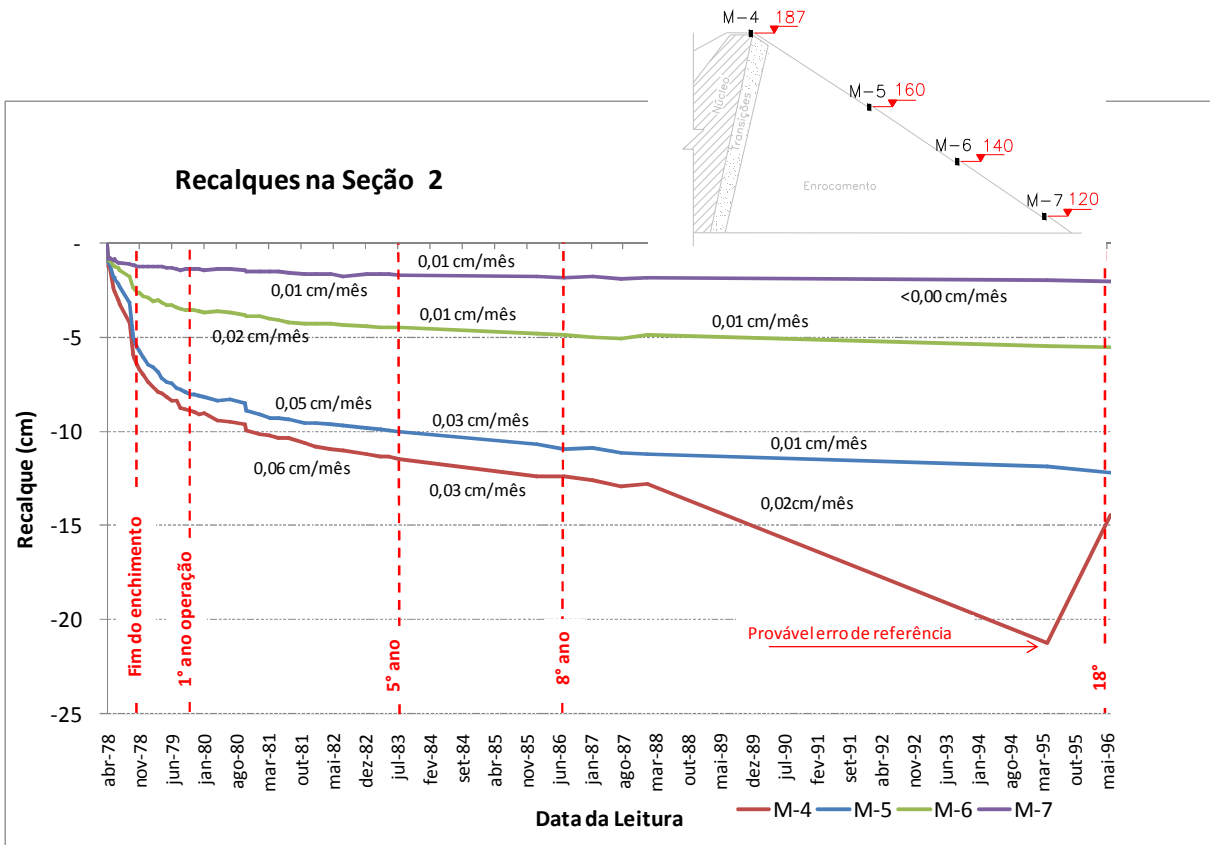


Figura 57: Recalques e taxas de recalque na seção 2

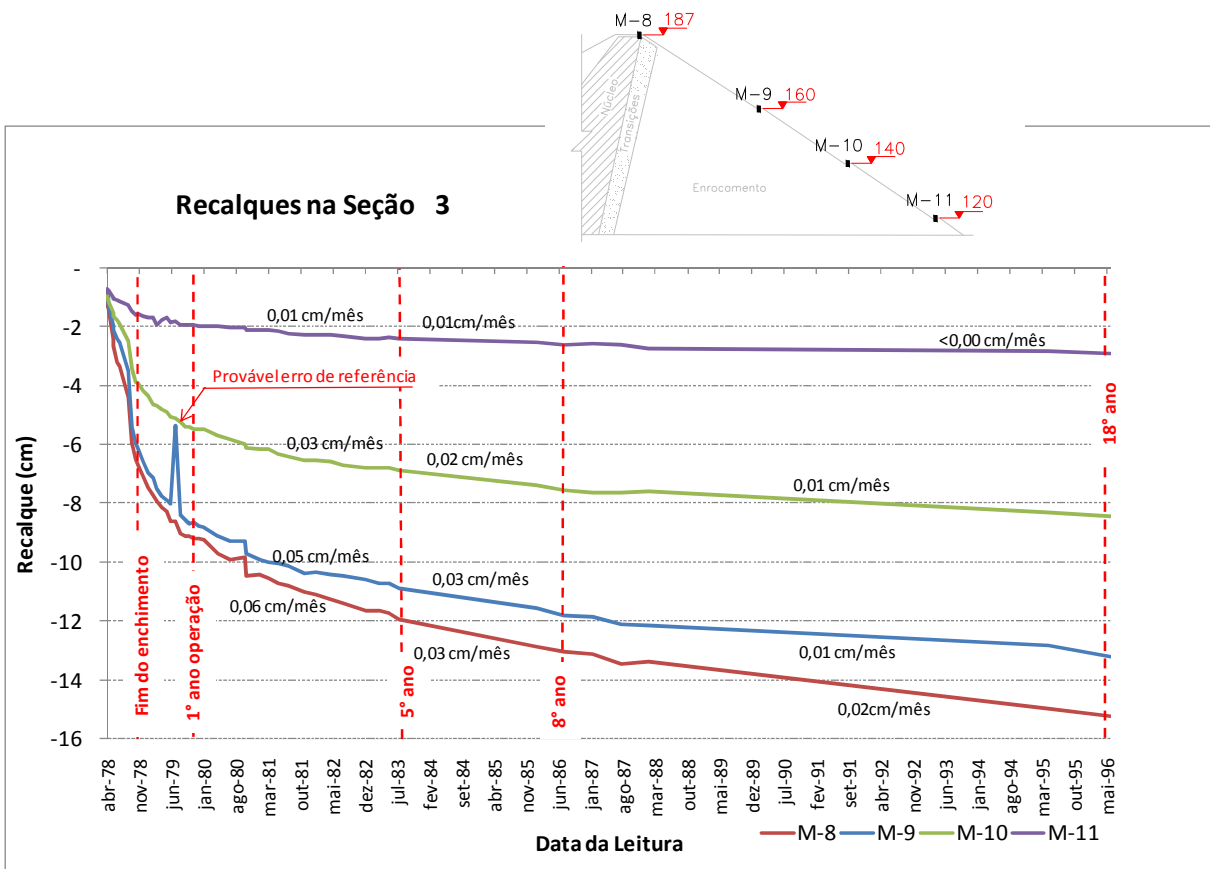


Figura 58: Recalques e taxas de recalque na seção 3

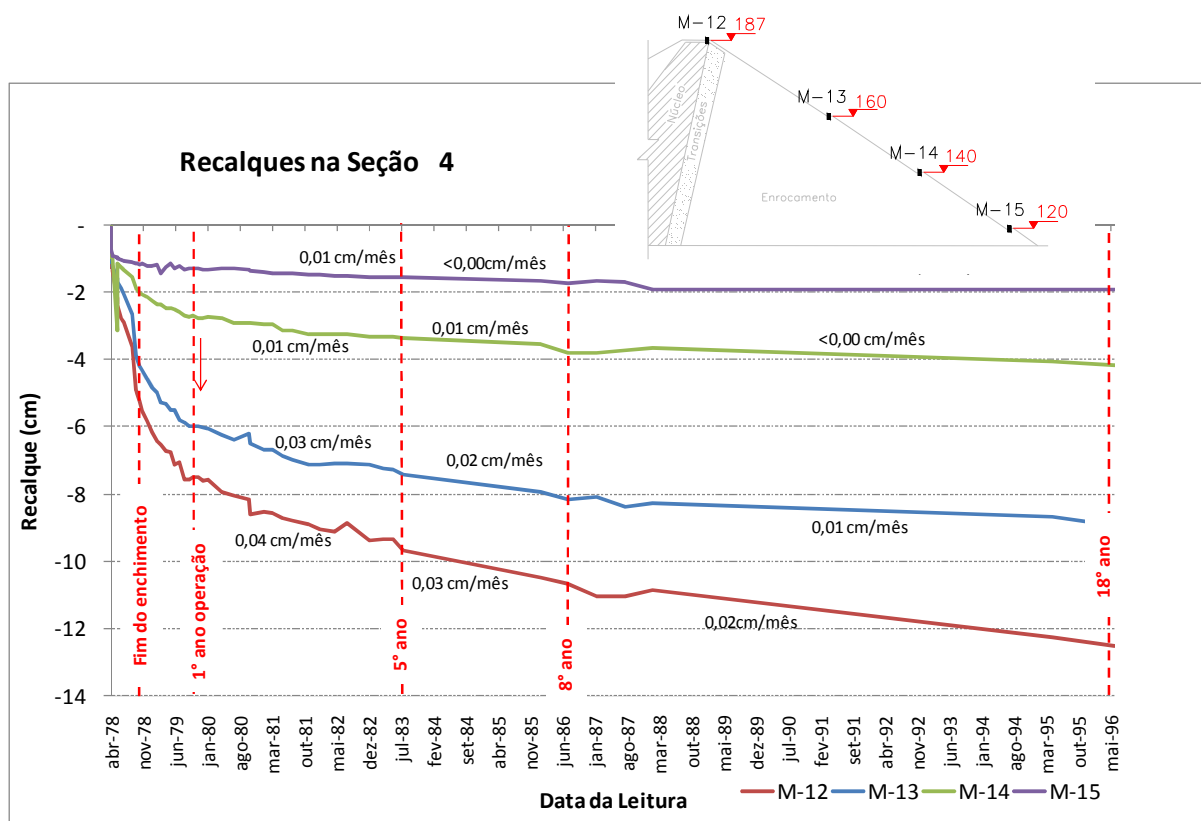


Figura 59: Recalques e taxas de recalque na seção 4

Na barragem de terra e enrocamento de São Simão, Fonseca (2003) apresenta uma tabela que evidencia que os marcos indicaram recalques na crista da barragem de terra e enrocamento que variam de 40 a 67% do recalque total medido até 2003, fim do enchimento do reservatório. Os marcos superficiais registraram pequenos incrementos de recalque após a fase de enchimento do reservatório (média de 0,115 cm/ano, em um período de 25 anos).

Na Barragem de Itaúba, entre 26 e 57% dos recalques ocorreram até o fim do enchimento do reservatório e os incrementos de recalque após a fase de enchimento do reservatório variaram de 0,05 a 0,6cm/ano em um período de 18 anos.

Deforma resumida, foi construído o gráfico apresentado na Figura 60, aonde é possível analisar os recalques sofridos em cada período e o recalque acumulado por seção.

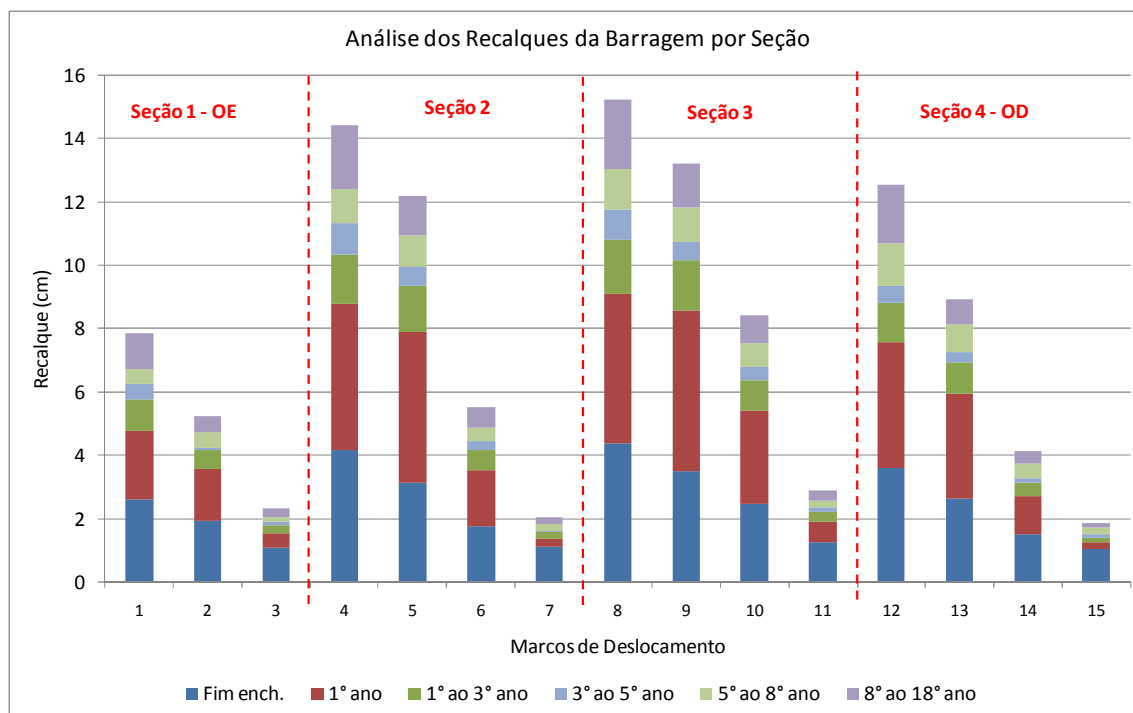


Figura 60: Recalques superficiais em 18 anos de operação – Análise por Seção

O recalque superficial máximo sofrido no enrocamento de jusante da barragem foi de 15,23 cm, no marco 8, localizado na crista da barragem no centro direito, o que representa 0,17% da altura da barragem. As seções que mais recalçaram foram as do centro da barragem (seções 2 e 3), sendo as mesmas de maior espessura. A seção que mais recalçou foi a 3, onde se localiza a antiga calha do rio, sendo, provavelmente o motivo pelo qual foi a seção que mais se deslocou horizontalmente.

A seção 1, apoiada na ombreira esquerda recalçou muito pouco, enquanto junto à ombreira direita, recalçou tanto quanto a seção 2, localizada sobre a antiga galeria de desvio do rio.

Na barragem de Emborcação, Divino (2010) relata que, na seção central da barragem (estaca 10), o recalque no período pós-construtivo chegou a 1m na cota 635 (berma no terço superior da barragem), que representa 0,6% da altura da barragem com 158m. O enrocamento foi compactado em camadas de 0,6m, 0,9m e 1,2m de espessura com 4 passadas de rolo vibratório de 9 toneladas. Nas zonas exteriores, os grandes blocos foram lançados em camadas de 2,4m de espessura sem compactação.

A autora acredita que a compactação dos enrocamentos sem molhagem tenha sido um dos fatores que contribuiu significativamente para os recalques por colapso, especialmente dos

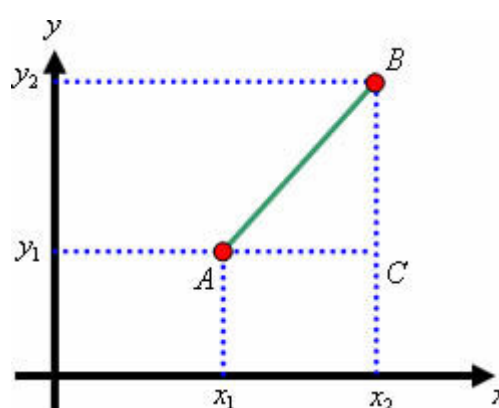
enrocamentos de montante, quando do enchimento do reservatório. A suspeita não foi confirmada numericamente, mas a autora sugere que uma maneira de verificá-la seria por meio da construção de aterros experimentais. Conforme realizado na barragem de Miranda (CEMIG), é possível comprovar que a molhagem dos enrocamentos, durante a construção, antecipa as deformações reduzindo-as nas fases de enchimento e operação,

Na barragem de Itaúba, o aterro experimental no enrocamento foi executado, conforme descrito no item 4.4.5 desta dissertação. Com os resultados desse experimento e de ensaios de laboratório, os projetistas determinaram que as camadas de compactação do enrocamento seriam de 80cm e o enrocamento deveria ser molhado antes da execução.

Os pequenos recalques sofridos podem ser o resultado das diversas pesquisas e ensaios realizados para aplicação de boas técnicas construtivas na Barragem de Itaúba. Isto pode ser comprovado nas inspeções visuais de campo, onde não se observam fissuras devido a recalques e deslocamentos excessivos.

6.4.3 Análise dos deslocamentos Horizontais no enrocamento de jusante

Os deslocamentos superficiais horizontais são dados por coordenadas X-Y em leituras realizadas de 27/03/1978 (fim do período construtivo) à 01/08/1983 (5º ano de operação). O cálculo do deslocamento foi feito através de trigonometria básica, onde a distância entre dois pontos é dada pela equação:



$$D_{AB} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \times 100 \text{ (unidade: centímetro)}$$

Para o comparativo dos dados de Itaúba, considerou-se:

X_1 = Coordenada “x” com reservatório vazio (em 27/03/1978)

X_2 = Coordenada “x” na data da leitura analisada

Y_1 = Coordenada “y” com reservatório vazio (em 27/03/1978)

Y_2 = Coordenada “y” na data da leitura analisada

Com estes dados calculados (ver anexo II), foi possível plotar gráficos de deslocamento horizontal da barragem comparando a posição inicial, antes do enchimento do reservatório, de cada marco com a nova posição após o enchimento do reservatório e nos 5 anos seguintes. As Figura 61 a Figura 64 apresentam estes deslocamentos superficiais em cada seção da barragem.

Conforme se observa nos gráficos apresentados, os deslocamentos não estavam estabilizados quando as leituras foram suspensas em 1983. Os deslocamentos parecem ter se estabilizado no 2º e 3º ano de operação, porém, a partir do 4º ano, as movimentações foram expressivas e variaram no sentido montante e jusante, dependendo do ponto monitorado.

Apesar da intensa pesquisa em toda a documentação referente à barragem de Itaúba, não se encontrou explicação porque em novembro de 1981 as coordenadas de todas as leituras anteriores a esta data foram modificadas. O mais interessante é que, exatamente a partir desta data, as leituras indicaram movimentação mais expressiva da estrutura, que pareciam já estarem estabilizadas, no período de novembro de 1979 a novembro de 1981.

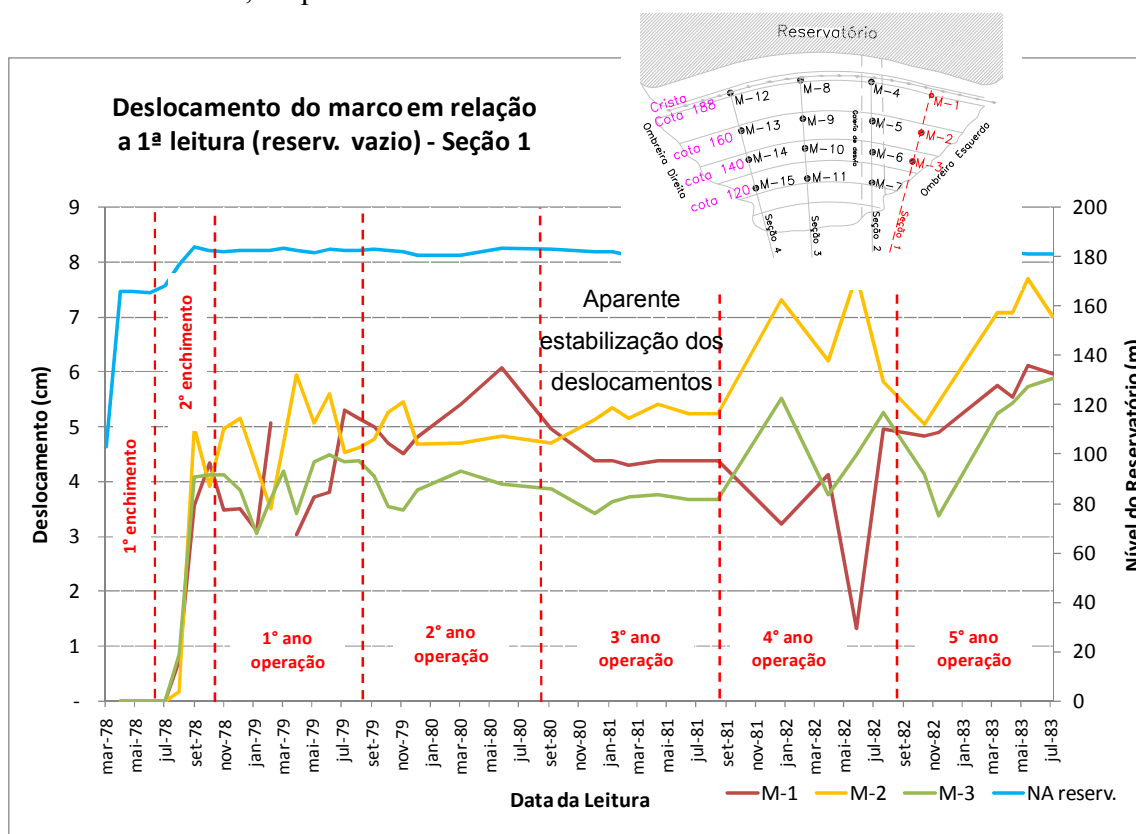


Figura 61: Deslocamentos dos marcos 1 a 3 – Seção 1 da Barragem de Itaúba

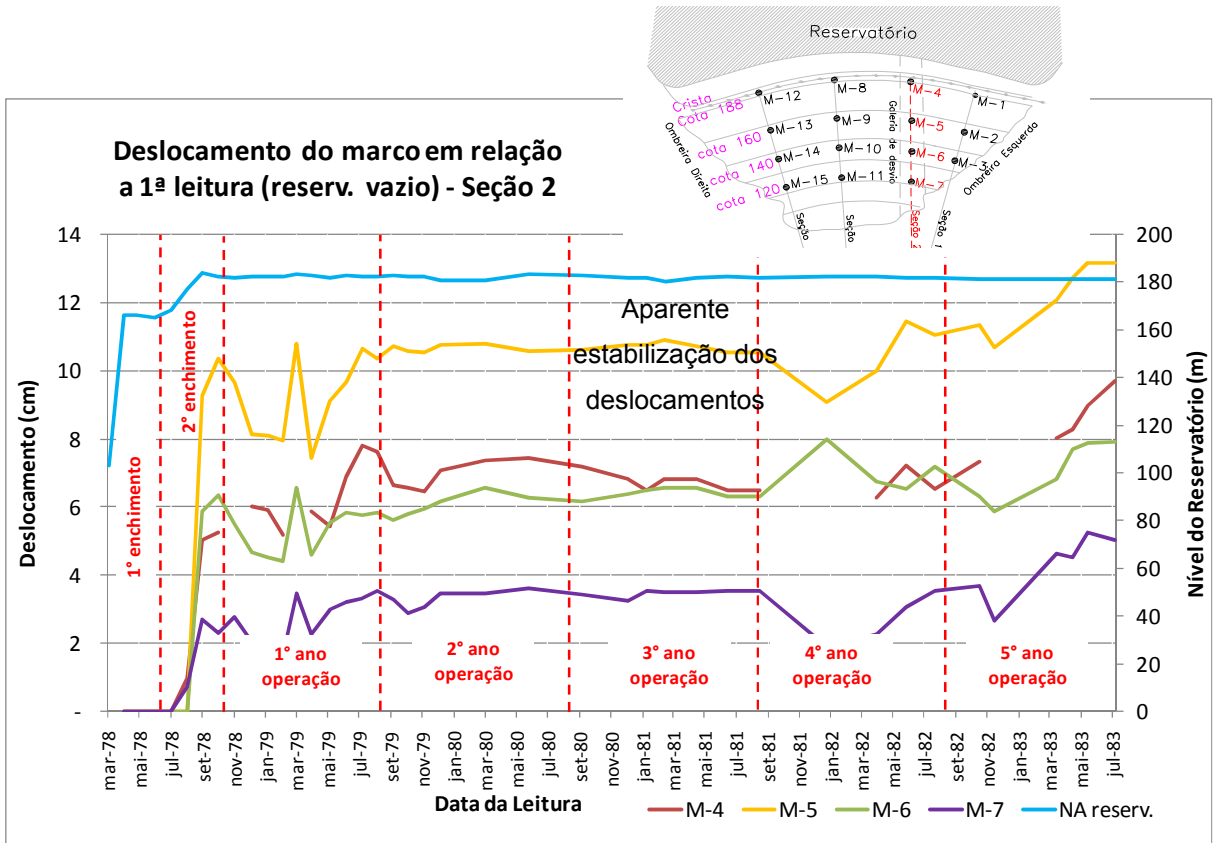


Figura 62: Deslocamentos dos marcos 4 a 7 – Seção 2 da Barragem de Itaúba

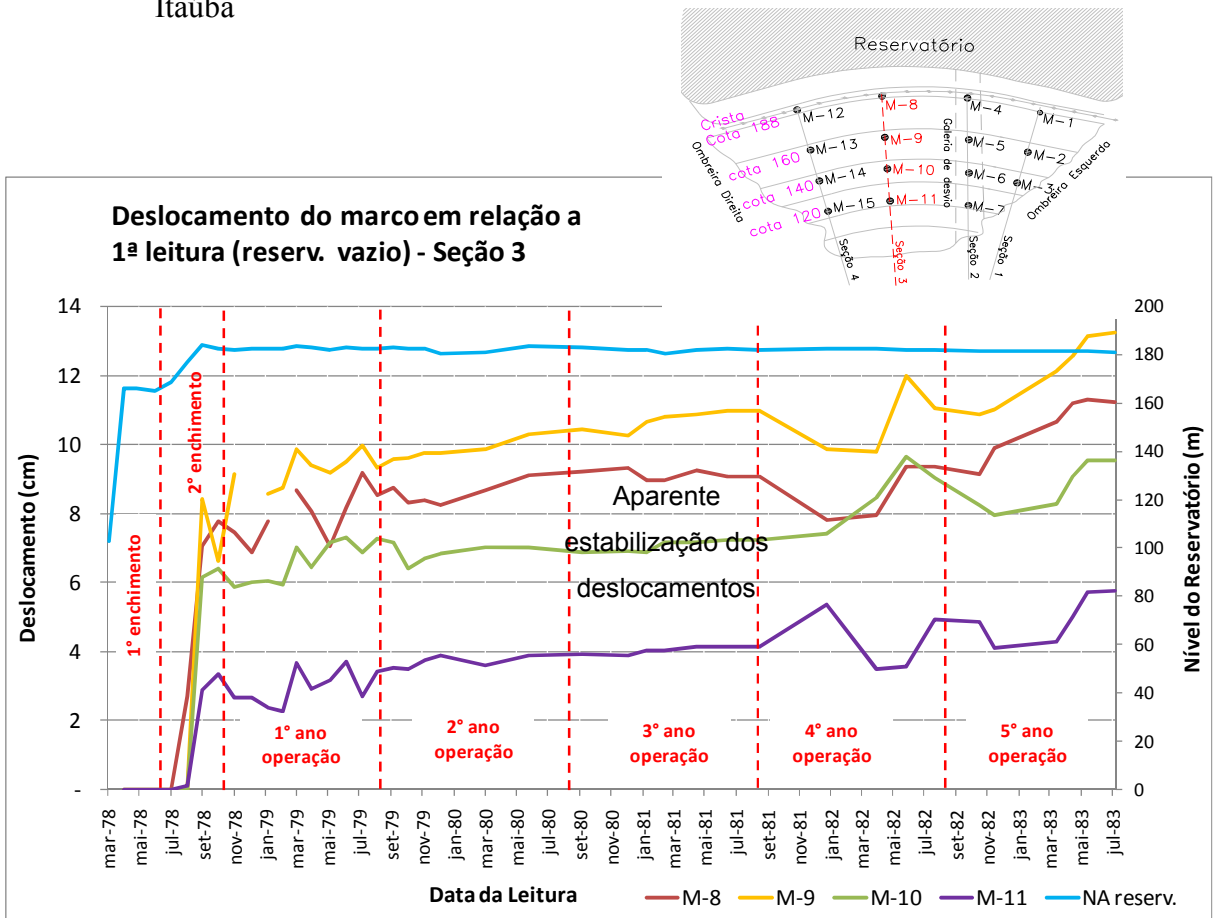


Figura 63: Deslocamentos dos marcos 8 a 11 – Seção 3 da Barragem de Itaúba

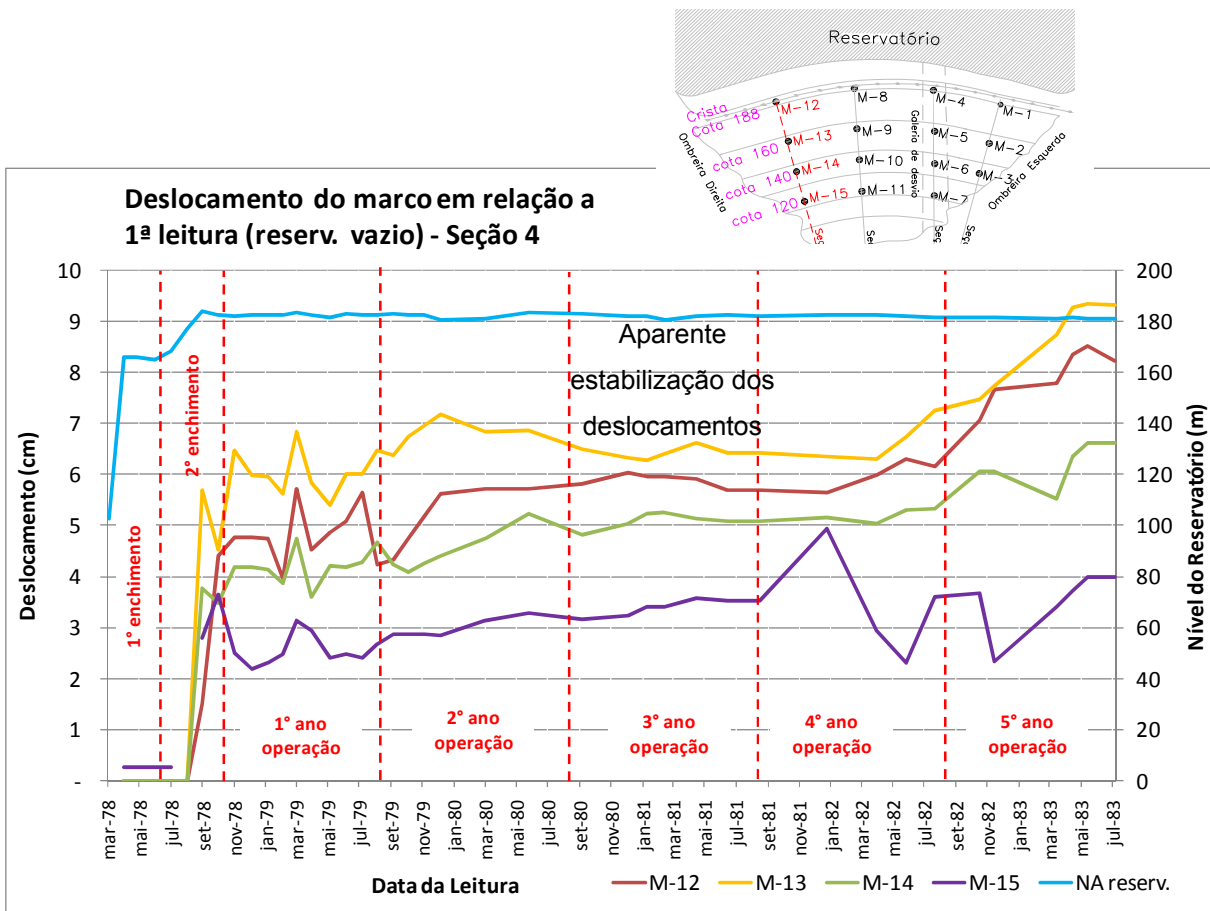


Figura 64: Deslocamentos dos marcos 12 a 15 – Seção 4 da Barragem de Itaúba

Este é um dado histórico importante, cuja explicação não foi registrada ou esta extraviada, demonstrando a importância do registro dos fatos para consulta e análise das futuras gerações de engenheiros.

A direção e magnitude dos deslocamentos superficiais totais sofridos pela barragem no período até 90 dias após o fim do enchimento do reservatório e após 5 anos de operação são representadas na Figura 65.

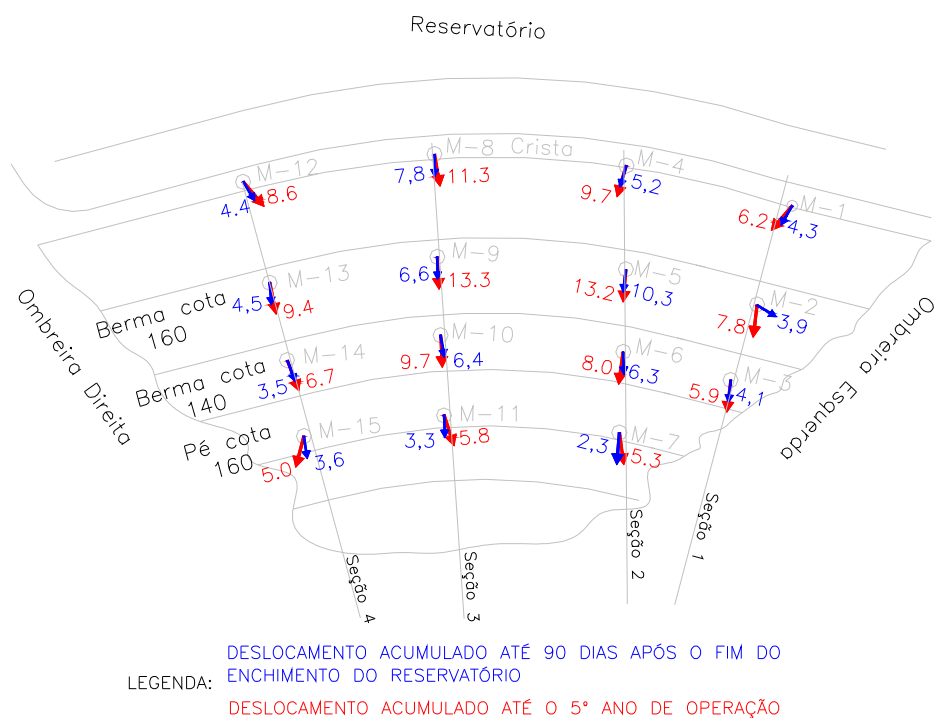


Figura 65: Direção e magnitude dos deslocamentos máximos em 5 anos de operação

Para análise visual, foram confeccionados gráficos de barras comparando os seguintes deslocamentos:

- Posição da barragem com o reservatório vazio (01/04/1978) *versus* posição 90 dias após 2º enchimento do reservatório. O prazo de 90 dias foi adotado para que os deslocamentos devido à sobrecarga do enchimento do reservatório estivessem estabilizados;
- Posição da barragem com o reservatório vazio (01/04/1978) *versus* Máxima leitura entre o 1º ao 5º do início de operação da barragem

Deste comparativo resultou a Tabela 34, onde são apresentados os deslocamentos acumulados nos períodos descritos acima e os gráficos de barra apresentados na Figura 66, comparando os deslocamentos por seção da barragem.

Tabela 34: Deslocamentos acumulados no enchimento do reservatório em 5 anos de operação

Marco	Deslocamento Acumulado (cm)			
	Fim do 2º enchim.	Percentual do recalque total em 5 anos	Máx. em 5 anos	Data
M-1	4,35	70%	6,2	10/06/1983
M-2	3,92	50%	7,8	22/06/1982
M-3	4,12	70%	5,9	01/08/1983
M-4	5,23	54%	9,7	01/08/1983
M-5	10,35	78%	13,2	01/08/1983
M-6	6,34	79%	8,0	18/01/1982
M-7	2,32	44%	5,3	10/06/1983
M-8	7,76	69%	11,3	10/06/1983
M-9	6,62	50%	13,3	01/08/1983
M-10	6,39	66%	9,7	22/06/1982
M-11	3,33	57%	5,8	01/08/1983
M-12	4,42	51%	8,6	10/06/1983
M-13	4,52	48%	9,4	10/06/1983
M-14	3,49	52%	6,7	01/08/1982
M-15	3,65	73%	5,0	18/01/1982
MÉDIA		61%		

O máximo deslocamento registrado no talude de jusante foi nos marcos 5 e 9, localizados no terço médio superior no centro esquerdo (sobre a antiga galeria de desvio do rio) e no centro da barragem. O deslocamento total foi de 13,2 cm e 13,3cm, medido até o 5º de operação da barragem.

A seção em que foram registrados os maiores deslocamentos foi a 3, localizada exatamente na estaca 12, seção central da barragem e antiga calha do rio (a mais alta).

Grande parte dos deslocamentos ocorreu durante o 2º enchimento do reservatório, em média, 60% do deslocamento total medido. Os outros 40% ocorreram ao longo de 5 anos.

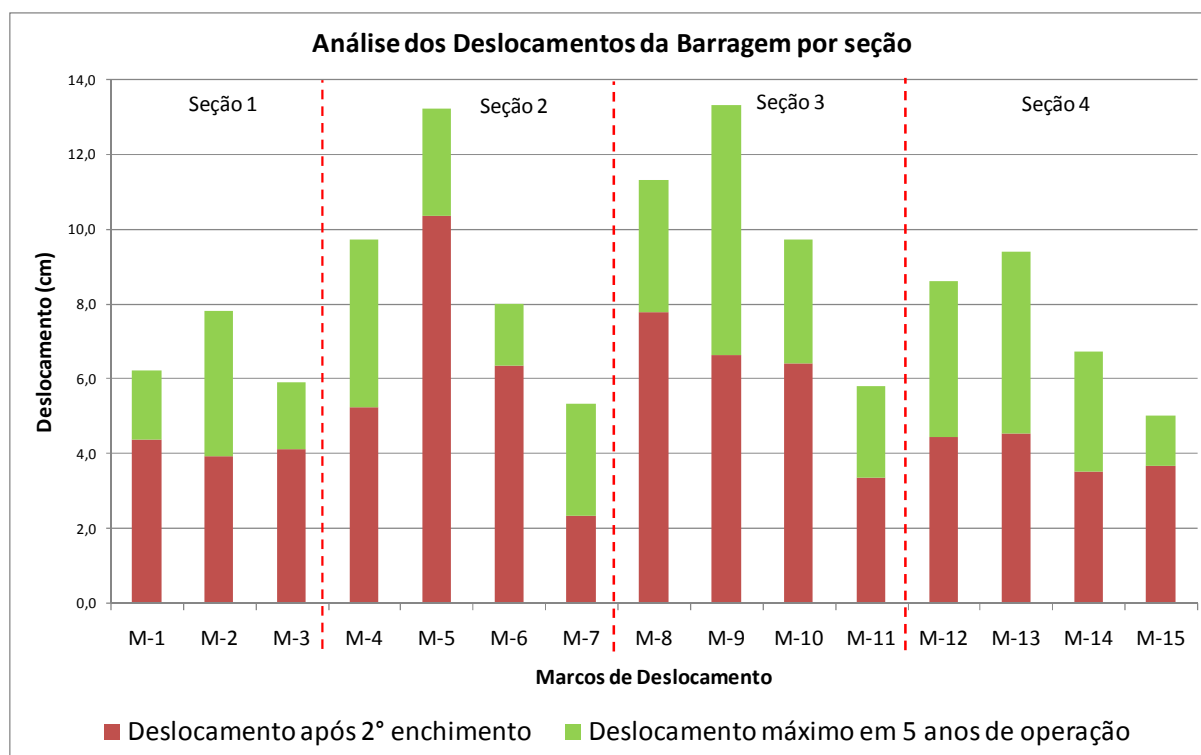


Figura 66: Deslocamento acumulado nos primeiros 5 anos de operação

Com estes dados, é possível se obter a velocidade média dos deslocamentos horizontais da barragem conforme apresentado na Tabela 35.

Tabela 35: Velocidade média dos deslocamentos horizontais

Marco	Velocidade média do deslocamento da barragem (cm/mês)	
	2º enchim. até 90 dias após	Máx. em 5 anos
M-1	1,42	0,03
M-2	1,28	0,09
M-3	1,34	0,03
M-4	1,71	0,08
M-5	3,37	0,05
M-6	2,07	0,04
M-7	0,76	0,05
M-8	2,53	0,06
M-9	2,16	0,12
M-10	2,08	0,07
M-11	1,09	0,04
M-12	1,44	0,07
M-13	1,47	0,09
M-14	1,14	0,06
M-15	1,19	0,03
Média	1,7	0,06

As velocidades dos deslocamentos reduziram significativamente após o segundo enchimento do reservatório e este pode ter sido o motivo pelo qual as leituras dos deslocamentos horizontais foram suspensas em 1983. Apesar disso, o monitoramento dos deslocamentos deve ser retomado, principalmente através das leituras dos inclinômetros, que medem deslocamentos cisalhantes entre camadas da barragem.

7 CONCLUSÃO

A confiabilidade na análise dos resultados apresentados pela instrumentação de uma barragem é determinada pela garantia da qualidade de sua instalação e manutenção, acompanhamento de seu comportamento durante o primeiro enchimento do reservatório e correta interpretação dos dados de leitura durante toda a vida do empreendimento.

A conservação do acervo técnico dos projetos, das leituras, do histórico de cada instalação, bem como dos relatórios de acompanhamento do período construtivo, enchimento do reservatório e primeiros anos de operação é de extrema importância para as análises comparativas de comportamento ao longo da vida útil da estrutura.

A recuperação, organização e análise deste acervo técnico para a Barragem de Itaúba fez parte do estudo desenvolvido nesta dissertação de mestrado. Ao final deste trabalho, é possível afirmar que o objetivo principal desta dissertação foi atingido. O banco de dados composto por mais de 10.000 dados de leitura da instrumentação ativa da barragem foi montado e analisado, o que permitiu o estabelecimento de um referencial do comportamento da estrutura ao longo dos 35 anos de operação. Estes dados estão hoje organizados em planilhas eletrônicas organizados de forma cronológica permitindo que diagnósticos mais objetivos da segurança da barragem possam ser realizados, o que não estava ocorrendo.

7.1 CONCLUSÕES QUANTO ÀS PERCOLAÇÕES E PRESSÕES NA BARRAGEM DE ITAÚBA

Foi observado que as vazões medidas através dos drenos de fundação da barragem reduziram pela metade desde o primeiro ano de operação da barragem até o final de 2013. Apesar disso, os piezômetros tipo Casagrande (denominados PJ), instalados para verificar o comportamento do sistema de drenagem à jusante, praticamente não sofreram alteração da cota piezométrica desde o segundo enchimento do reservatório. Isto pode ser um indicativo de que a

permeabilidade da fundação diminuiu no período, o que é um resultado de grande interesse técnico.

Estes dados comparativos das vazões dos drenos e dos piezômetros mostram que o sistema de drenagem da fundação da barragem apresenta bom desempenho e a linha freática medida pelos piezômetros (e a rede de fluxo associada) está estabilizada desde 1987.

De qualquer forma, dada a importância destas medidas, recomenda-se a lavagem dos drenos e piezômetros e execução de ensaios de recuperação de nível d'água, com o intuito de verificar eventuais problemas de colmatção do sistema de drenagem, possibilitando a reavaliação da do conjunto das medidas e um aumento da confiabilidade dos resultados, incluindo análises da estabilidade da barragem perante as condições operacionais atuais.

Existem regiões da fundação da barragem que historicamente sempre apresentaram alta permeabilidade. Estas regiões estão localizadas junto ao pé da estrutura (antigo leito do rio) e na ombreira direita, entre as cotas 120 e 130, onde existe uma falha geológica na rocha (informação resgatada do cruzamento de informações de projeto e relatórios de obra). Neste ponto há uma surgência que, atualmente, é monitorada. No material histórico da Barragem de Itaúba, descobriu-se que no local onde existe esta surgência estava projetada a inserção de drenos complementares que, por algum motivo, não foram instalados. Portanto, as razões da surgência estão esclarecidas e seu monitoramento tornou-se rotina normal de inspeção, não apresentando dados preocupantes.

Quanto ao sistema de drenagem interno (filtro inclinado e vertical), constatou-se que as medidas de vazões totais tem forte influência da pluviometria, mas foi possível concluir que as vazões já reduziram $1/3$ quando comparado com a infiltração que ocorria logo após o segundo enchimento do reservatório. Esta redução, relacionada a mudanças das características de permeabilidade do maciço e da fundação, pode ter sido provocada pela redução dos caminhos preferenciais de percolação ou colmatção dos mesmos. Outra alternativa seria a colmatção dos próprios filtros. Isto deveria ser verificado por um aumento de pressão no maciço ou no próprio filtro. Infelizmente os piezômetros ali instalados não estão operacionais desde 1996 e sua análise não foi objeto desta dissertação.

Portanto, não é possível se fazer análise conclusiva quanto ao comportamento das percolações através do maciço e fundação da barragem. Para isto, será necessário estudo de retroanálise das linhas de fluxo e cálculo da estabilidade através das leituras dos piezômetros tipo G (filtro

e maciço) até o ano em que estavam funcionais, sendo este trabalho descrito nas sugestões para estudos futuros.

As percolações específicas que ocorrem na barragem de Itaúba comparadas com outras barragens brasileiras de características semelhantes indicam que o comportamento está dentro da média normal (2,3 l/min/m), caracterizando, portanto, o bom funcionamento da impermeabilização feita através de 3 campanhas de injeções de calda de cimento na rocha de fundação durante a construção.

Quanto ao comparativo das previsões de percolação pela barragem e fundação estimadas no projeto e as percolações que realmente ocorreram em 30 anos de operação, observou-se que não foram compatíveis. Enquanto o projeto previa que as percolações totais seriam de 405,7 l/min, na realidade foram de 1.800 l/min no primeiro ano de operação decrescendo para 930 l/min medido em dezembro de 2013.

7.2 CONCLUSÃO QUANTO AOS DESLOCAMENTOS NA BARRAGEM DE ITAÚBA

7.2.1 Recalques no núcleo:

A barragem de Itaúba esta estabilizada quanto aos recalques do núcleo.

Até o fim do período construtivo, 92,8% dos recalques totais da barragem, isto é 101,75cm, já haviam ocorrido. No enchimento do reservatório, a barragem recalcou mais 2% em relação ao recalque total (recalcou mais 2,2cm). Os recalques do núcleo estabilizaram entre o 5° e 10° ano de operação da barragem, isto é, desde 1988 a barragem não apresenta recalques significativos (taxas inferiores a 0,015cm/ano).

O recalque total de Itaúba foi de 109,6cm que representa 1,2% da altura da seção aonde o medidor de recalque KM esta instalado (92m), compatível com o comportamento de outras barragens brasileiras analisadas, cujos recalques foram entre 0,4 e 1,9%.

Quando se compara este valor com a previsão de recalque feita através de ensaios edométricos (6,04m), observou-se que o erro de estimativa foi de 5,5. Porém, após a coleta de dados simulados a partir de ensaios com blocos indeformados durante o período construtivo e

a confecção de análise feita através de programa de elementos finitos (1973), esta estimativa se aproximou do recalque que realmente ocorreu, decrescendo o erro para 2 vezes (2,18m).

O medidor de recalque KM foi muito útil durante a fase de construção e enchimento do reservatório, mas, atualmente, apresenta comportamento estabilizado sugerindo-se, portanto, que suas leituras sejam feitas semestralmente (atualmente são mensais).

7.2.2 Deslocamentos do enrocamento à jusante

A análise comparativa do comportamento dos marcos de deslocamento superficial foi prejudicada pela alteração do método de cálculo que era utilizado nos levantamentos topográficos antigos e os que são utilizados atualmente. As análises dos deslocamentos atuais não podem ser feitas por falta de precisão e confiabilidade nos levantamentos utilizando um aparelho inadequado, por isso, desde 2012 as leituras estão suspensas.

A análise ficou, então, restrita desde o segundo enchimento do reservatório até os 5 primeiros anos de operação para os deslocamentos superficiais horizontais, que foram suspensos após este período e aos 18 anos de operação quanto ao acompanhamento dos recalques superficiais.

Quanto aos deslocamentos horizontais, foi possível verificar que 60% dos deslocamentos totais ocorreram até o fim do enchimento do reservatório, com velocidade média de 1,7 cm/mês. O restante ocorreu ao longo dos primeiros 5 anos de operação da barragem, com velocidade média decrescendo para 0,06 cm/mês. O deslocamento máximo foi identificado no marco localizado na seção de maior altura da barragem no terço médio superior, num total de 13,3cm desde o 2º enchimento do reservatório.

Os marcos da crista próximos às ombreiras indicaram uma movimentação em direção ao centro da estrutura e os localizados no pé moveram-se para fora, em direção às respectivas ombreiras. Os marcos instalados no centro da barragem indicaram movimentação praticamente retilínea para a jusante.

Quanto aos deslocamentos verticais (recalques) à jusante da barragem, cerca de 80% dos recalques superficiais ocorreram até o 5º ano de operação, com velocidade média de 0,05 cm/mês, e no 8º ano já haviam ocorrido 90% dos recalques totais. Entre o 8º e 18º ano de operação, a velocidade média de deslocamento reduziu para 0,01cm/mês.

Os maiores recalques foram identificados na crista da barragem (15,23cm) e os menores foram na berma inferior (1,89cm), no período entre o 2º enchimento do reservatório e o encerramento das leituras em 1996. A seção que mais recalcou está localizada na maior altura da barragem, antiga calha do rio e a que menos recalcou foi junto à ombreira esquerda, seção de menor altura.

Com isto, conclui-se que a Barragem de Itaúba esta estabilizada quanto aos deslocamentos verticais e horizontais, mas isso não significa que este tipo de monitoramento não deva ser mais executado.

Após esta análise histórica das leituras de deslocamentos superficiais, percebe-se a importância da retomada e manutenção deste tipo de monitoramento. Embora a alteração de rochas ocorra em geral em escalas de tempo de centenas a milhares de anos, em alguns casos alterações significativas também podem ocorrer num intervalo muito menor quando certas rochas vulcânicas ficam expostas às condições climáticas sem tensão (superfície). Reações nos minerais da rocha poderão provocar alterações químicas e físicas no enrocamento.

A alteração da rocha poderá interferir na resistência ao fraturamento, reduzindo o imbricamento entre as partículas tornando o enrocamento mais deformável e menos resistente. A alteração superficial dos minerais da rocha e a fragmentação dos blocos do enrocamento diminuem o tamanho das partículas induzindo o rearranjo da nova estrutura, o que pode provocar grandes deformações no enrocamento. Por causa disso, a continuidade do monitoramento dos deslocamentos superficiais de uma barragem de terra e enrocamento deve ser contínuo mesmo após muitos anos de operação. Na barragem de Itaúba, este monitoramento deverá ser retomado através da leitura dos marcos superficiais e dos inclinômetros.

7.3 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como principal sugestão para pesquisa futura, recomenda-se a aplicação da metodologia adotada nesta dissertação de mestrado a outras barragens em situação semelhante à Itaúba, cuja documentação histórica esta disponível mas não foi explorada. Com a implantação da lei federal 12.334/2010 é obrigatório o monitoramento de barragens de médio e grande porte através de inspeções, para isto, é imprescindível que o engenheiro consultor tenha um

referencial de comportamento da estrutura e acesso total aos dados históricos apresentados de maneira que as anormalidades sejam de fácil identificação.

Com relação, especificamente, ao estudo de caso apresentado, sugerem-se as seguintes pesquisas futuras, que podem ser estendidas para outras barragens com documentação disponível e características semelhantes à Itaúba:

- a) Transferir para planilhas eletrônicas os dados dos piezômetros pneumáticos (denominados G) numa tentativa de esboçar a rede de fluxo e determinar a relação K_h/K_v , fazendo um comparativo com as rede de fluxo propostas durante a confecção do projeto. Com isto, provavelmente, poderá ser identificado se ocorreu colmatação do filtro até 1996, data da última leitura destes instrumentos;
- b) Estudar a relação pluviometria *versus* vazão do filtro monitorada pelo medidor de vazão MV-7, determinando assim qual a real contribuição apenas do filtro da barragem e qual a contribuição da chuva na vazão final medida;
- c) Relacionar a variação do nível do reservatório com a alteração na leitura da instrumentação à jusante da barragem (pressão, drenagem), para tanto, as leituras dos medidores de vazão, piezômetros e nível do reservatório devem ter a frequência aumentada;
- d) Verificar os padrões de estabilidade da barragem face aos critérios atuais de cálculo utilizando os dados da instrumentação para determinação do coeficiente de segurança da estrutura;
- e) Analisar o comportamento das movimentações da barragem através da leitura dos inclinômetros e caixas suecas e correlacionar estes resultados com as leituras dos marcos topográficos e medidor de recalque KM;
- f) Determinar os módulos de deformabilidade nas diversas fases da barragem e deformabilidade dos materiais utilizados;
- g) Dispor de alguns referenciais máximo e mínimos da instrumentação ativa para caracterizar limites de comportamento normal, atenção e alerta quanto a segurança da barragem;

- h) Aplicar estudo semelhante ao descrito nesta dissertação na instrumentação do vertedouro da Barragem de Itaúba garantindo assim a segurança global do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- ÁGUAS, M. F. F.; GUEDES, Q. M.; BASTOS, J. T. **Processos e resultados da auscultação de barragens do Sistema Furnas**. In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Belo Horizonte. Anais... Volume 1. p.135-145
- AIRES, A. D. B. **Estudo Tensão – Deformação da Barragem de Irapé**. 2006. 167p. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- ALMEIDA, M. M. de. **Estudo tensão deformação de barragem de terra e enrocamento**. 2010. 139p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010
- AMORIM, J. L. R. **Comportamento da barragem de Pedra do Cavalo durante os dez primeiros anos de operação**. In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Belo Horizonte. Anais... Volume 1. p.97-104
- AMORIM, J.L., MEDEIROS, C.H. **Acompanhamento do comportamento da nova barragem de Santa Helena – Análise e interpretação da instrumentação de Auscultação instalada: um estudo de caso**. In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.318-331.
- AZEVEDO, M. da P. N. de. **Barragens de Terra – Sistemas de Drenagem interna**. 2005. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil com ênfase Ambiental, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo.
- BORGES, C.M., SA, M.B.L. DE, DIB, P.S., ONO, S. **Considerações sobre o Projeto das Barragens de Terra e Enrocamento de Tucuruí**. In: XV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1983, Rio de Janeiro. Anais...p. 383-403
- Brasília. Ministério de Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002. 148 p.
- BRESSANI, L. A. **Instrumentação em obras geotécnicas – taludes e escavações**. In: V CONFEÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS(V COBRAE), 2009, São Paulo. Anais...Volume 1, p.3-18.

CARDIA, R.J.R. **Falhas na instrumentação de Auscultação em Maciços Compactados.** In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006. São Paulo. Anais... p.139-152.

CARIM, A. L. de C. **Reavaliação da Segurança de barragens de terra construídas na década de 50 – Caso da UHE Três Marias.** 2007. 258 p. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

CARVALHO, L. H. de. **Barragens de Terra – Aspectos conservadores e novos conceitos.** In: XVII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1987, Brasília. Anais... Relato do Tema IV.

CBDB. **Cadastro Brasileiro de Deterioração de Barragens e Reservatórios.** São Paulo, 1995. 198p.

COMISSÃO DE AUSCULTAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS. **Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil.** II SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 1996, Belo Horizonte. Volume 1. p.1-3

CRUZ, J. F. da; CARIM, A. L. de C.; DIAS, G. G.; WERNECK, M. P. **PCH Gafanhoto – Percolação pela ombreira esquerda da barragem: Dificuldades e solução do problema.** In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2006, Florianópolis. Anais... Tema 17, Artigo 05.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto.** São Paulo, 1996. 648 p Oficina de Textos/FAPESP, 2ª edição.

CRUZ, P.T.; SIGNER, S. **Pressões neutras de campo e laboratório em Barragens de Terra.** In: XV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1973, Rio de Janeiro. Anais... Volume I. p.483-498

DE FARIA, E.F, GUEDES, Q.M., CAVALCANTI, A.V. **Modelo estatístico de previsão e controle da percolação de água pela fundação da barragem de concreto da UHE Funil.** In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 95, Artigo 13.

DIVINO, P. L.; FUSARO, T. C. **Manual da Instrumentação: o Elo entre Projeto e Operação de Barragens**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p.337-345.

DIVINO, P. L.A. **Comportamento de Enrocamentos em Barragens – Estudo de Caso da Barragem de Emborcação**. 2010. 188p. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

ENGEVIX S.A. **Análise da Compressibilidade Relativa do materiais da Barragem de Itaúba**. 1977. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 346-3200. p. 1 – 14.

ENGEVIX S.A. **Análise da Eficiência das injeções na diminuição da condutividade hidráulica do maciço rochoso de fundação da Barragem de terra e Enrocamento**. 1977. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 350-3-2. p. 1 - 26.

ENGEVIX S.A. **Análise de Instrumentação**. 1976. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 347-3-2. p. 1 – 13.

ENGEVIX S.A. **Análise do Material usado na zona de Jusante da Barragem de Itaúba**. 1976. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 348-3200. p. 1 – 3.

ENGEVIX S.A. **Análise Interpretativa dos Blocos indeformados extraídos do maciço durante a construção**. 1979. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 374-3200. p. 1 – 11.

ENGEVIX S.A. **Aspectos Geomecânicos e Tratamento das fundações em Itaúba 1975. Usina Hidrelétrica de Itaúba**. Relatório 314-3200. p. 1 – 8.

ENGEVIX S.A. **Aterro Experimental – Área C, Granulometrias da Bica corrida, Permeabilidade da areia artificial**. 1975. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 457-4-1. p. 1 – 36.

ENGEVIX S.A. **Comportamento da barragem perante a 2ª fase de enchimento do reservatório**. 1979. Usina Hidrelétrica de Itaúba. p. 1 - 14.

ENGEVIX S.A. **Controle da qualidade do maciço de terra e enrocamento de Itaúba**. 1976. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 323-3-2. p. 1 – 5.

ENGEVIX S.A. **Ensaio de Compressibilidade**. 1977. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 405-3-2. p. 1 – 4.

ENGEVIX S.A. **Ensaio de Percolação**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 339-3200. p 1 - 13

ENGEVIX S.A. **Ensaio de permeabilidade no maciço**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 340-3-2. p. 1 - 18

ENGEVIX S.A. **Ensaio Experimentais de Enrocamento**. 1975. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 315-3-2. p. 1 – 3.

ENGEVIX S.A. **Especificação para a construção do Maciço de terra e enrocamento de Itaúba**. 1975. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 416-3200. p. 2 – 17.

ENGEVIX S.A. **Especificação técnica para execução de Poços de Alívio e Piezômetros à jusante da Barragem de terra**. 1977. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Rel. 334-3-2. p.1 – 3.

ENGEVIX S.A. **Especificações para execução do Aterro Experimental com o solo de Emprétime**. 1974. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 307-3-2. p. 1 – 8.

ENGEVIX S.A. **Especificações técnicas para execução de Poços de Alívio e Piezômetros a jusante da Barragem de terra**. 1974. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Rel. 334-3200. p. 1 - 3.

ENGEVIX S.A. **Estabilidade da Barragem de Itaúba – Relatório Parcial 1**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 362-3-2. p. 1 - 7

ENGEVIX S.A. **Estabilidade da Barragem de Itaúba – Relatório Parcial 2-Cálculo Manual pelo método de Chugaev**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Rel. 363-3-2. p. 1 - 7

ENGEVIX S.A. **Estabilidade da Barragem de Itaúba – Relatório Parcial 3**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 364-3-2. p. 1 – 7.

ENGEVIX S.A. **Estudo de rede de fluxo através do maciço**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 355-3-2. p. 1 – 6.

ENGEVIX S.A. **Estudo de tensões e deslocamento – Método dos Elementos finitos**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 356-3-2. p. 1 - 6

ENGEVIX S.A. **Instalação e Leitura de marcos de deslocamento**. 1975. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 316-3-2. p. 1 - 3

ENGEVIX S.A. **Memória Justificativa das Características impostas ao modelo para ensaio de percolação**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 289-3-1. p. 1 – 7.

ENGEVIX S.A. **Memorial descritivo dos materiais a serem utilizados na barragem de Itaúba**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 288-3100. p. 10 – 13.

ENGEVIX S.A. **Memorial Explicativo e Justificativo do Projeto do Maciço da Barragem de Itaúba**. 1972 . Usina Hidrelétrica de Itaúba . p. 1 - 58

ENGEVIX S.A. **Relatório da Viagem realizada pelos Geólogos Rudolph Trouw e Carlos Alberto Gonçalves Leite ao Local da Obra no período de 10/08/76 a 13/08/73**. 1976. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 397-3200. p. 1 – 12.

ENGEVIX S.A. **Relatório de Viagem do Geólogo Augusto Caban**. 1975. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 394-3200. p. 1-6

ENGEVIX S.A. **Relatório de Viagem dos Geólogos Hermann e Augusto Caban**. 1974. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 387-3200. p. 1-5

ENGEVIX S.A. **Relatório definitivo do Aproveitamento Hidrelétrico de Itaúba**. 1972. Usina Hidrelétrica de Itaúba. p. 59 - 93

ENGEVIX S.A. **Relatório Interpretativo do Enchimento do Reservatório até a cota 165m**. 1978. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 370-3-2. p. 1 – 18.

ENGEVIX S.A. **Resumo Geotecnico dos solos de empréstimo**. 1973. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 336-3200. p. 2 – 6.

ENGEVIX S.A. **Solo de Empréstimo de Itaúba – Relatório Geotecnico**. 1976. Usina Hidrelétrica de Itaúba. Relatório 391-3-2. p. 1 – 5.

FARIA, É. F. de, GUEDES, Q. M., GIL, E. J., MARQUES C. C. S. **Desempenho de drenos face às características do maciço rochoso da fundação da UHE Funil**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p.117-126.

FONSECA, A. da R. **Auscultação por Instrumentação de Barragens de Terra e Enrocamento para Geração de Energia Elétrica – Estudo de Caso das Barragens da UHE São Simão**. 2003. 158p. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

FRANÇA, E.M. e GOMES, C.C. **Análise da percolação d'água através da fundação da barragem Castanhão – Ceará**. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007, São Paulo.

FUSARO, T. C. **Estabelecimento Estatístico de Valores de Controle para a Instrumentação de Barragens de Terra: Estudo de caso das barragens de Emborcação e Piau**. 2007. 174p. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

GIULIANI, F.; CANAL, M. D. DE LA; FERRARIS, I. **Erosion interna en presas. Complejidad y borrosidad de los procesos. Limitaciones en la evaluación del riesgo**. In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 9, Artigo 09.

GONÇALVES, É. S.; CARVALHO, C. J.de; SILVEIRA, J. F.A. **Análise do comportamento das Estruturas de concreto da Barragem São Simão durante os períodos de enchimento do reservatório e operação**. In: II SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 1996, Belo Horizonte. Anais... Volume 2. P.67-79

HAMILTON, G. de O. **As atividades de seção de Solos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas no setor de Barragens de terra**. In: I SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1962, Rio de Janeiro. Anais... Tema III.

ICOLD. **Dam Failures Statistical Analysis**, Bulletin 99. Paris, 1995. CICB/ICOLD. 73p.

ICOLD. **Dams Less than Thirty Meters High**, Bulletin 109. Paris, 1997. CICB/ICOLD. 179p.

ICOLD. **Deterioration of dams and reservoirs**. Lisboa, 1983. CICB/ICOLD.

ICOLD. **Embankment Dam Granular Filter and Drains**, Bulletin 95. Paris, 1994. CICB/ICOLD. 256p.

ICOLD. **Statistical Analysis of Embankment Dams**, Bulletin 53, Paris, 1986. ICB/ICOLD. 145p.

KERMANI, E.F. e BARANI, G.A. **Seepage Analysis through Earth Dam Based on Finite Difference Method**. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2012.

KUPERMAN, S. C.; RÉ, G.; CANHOLI, A. P.; FERREIRA, W. V. F.; LUIZ, M. W. **Desenvolvimento de Procedimentos de Vistoria e Diagnóstico de Barragens e Elaboração de Plano de Manutenção**. In: SEMINÁRIO DE METODOLOGIA PARA TOMADA DE DECISÕES – SEGURANÇA DE BARRAGENS, 1994.

KUPERMAN, S.C., CIFU, S., MORETTI, M.R., RE, G., PEREIRA, P.N, SANTOS, R.P.dos, FERREIRA, W.V.F. **Reavaliação da segurança e dos valores de controle da instrumentação das estruturas civis da UHE Jurumim**. In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais...Volume II. p. 164-180

KUPERMAN, S.C., MORETTI, M.R., PINFARI, J.C., CARNEIRO E. F. **Estabelecimento de valores limites da instrumentação civil de barragens de concreto e de terra da CESP**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p. 311-324.

KUPERMAN, S.C.; CIFU, S., MORETTI, M.R., RE, G., PEREIRA, P.N., SANTOS, R.P. DOS, FERREIRA, W.V.F.; PINFARI, J.C.; CARNEIRO, E.F.; ROSSETTO, S.L.G.; REIGADA R.P. **Reavaliação da Instrumentação de Auscultação Instalada em Barragens da CESP**. In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.116-133.

LADEIRA, J. E. R. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos o caso UHE – São Simão**. 2007. 201p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LIGOCKI, L. P.; SARÉ, A. R.; SAYÃO, A. S. F. J.; GERSCOVICH, D. M. S. **Avaliação de segurança da barragem de Curuá-Una com base na piezometria**. In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.207-217.

LINDQUIST, L. N.; BONZEGNO, M.L. C. **Análise de sistemas drenantes de nove barragens de terra da CESP através da instrumentação instalada.** In: XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1981, Recife. Anais... Volume I. p.267-290

LORIGGIO, D. D.; SENEM, P. R.; MOURA, M. W. **Considerações iniciais para utilização de resultados de Instrumentação na retroanálise de Barragens de Enrocamento com face de concreto.** In: XXVI SEMINÁRIO DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 97, Artigo 38.

MAIA, P. C. de A.; SAYÃO, A. S. F. J.; NUNES, A. L. L. S. **Considerações sobre a alteração de enrocamentos.** In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume I. p.214-228.

MALVEIRA, V. T. C.; SOUZA, L. N. de; CARNEIRO NETO, J. A.S; CAVALCANTE, J. R. V. **Classificação de barragens por categoria de risco e dano potencial associado.** In: XXVIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2013, Porto de Galinhas. Anais... Tema 109, Artigo 04.

MARIN, N. R. de. **Incidente del 2002 en presa Los Reyunos, Mendonza, Argentina.** In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 95, Artigo 10.

MARQUES FILHO, P. L.; MAURER, E.; TONIATTI, N. B. **Algumas considerações sobre o comportamento da Barragem de Foz do Areia no Enchimento do Reservatório.** In: XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1985, Belo Horizonte. Anais... Tema 4.

MASSAD, F. **Obras de terra: Curso básico de geotecnia.** São Paulo, 2003. 216 p. Oficina de textos, 2ª edição.

MASSAD, F.; MASSAD, E.; YASSUDA, A. J. **Análise do Comportamento da Barragem do Rio Verde através de Instrumentos de Auscultação.** In: XII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1978, Fortaleza. Anais... Volume 1. p. 63-84.

MAYERLE, A.D., CORREA, C., BASSO, S. de P. **Determinação da subpressão em Barragens utilizando modelos de percolação em elementos finitos.** In: V SIMPÓSIO

BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2006, Florianópolis. Anais... Tema 20, Artigo 07.

MEDEIROS, C.H. de A.C. **Segurança de Barragens: O que fazer para convergir teoria e prática?** In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 95, Artigo 25.

MEDEIROS, C.H. de A.C. **Segurança e Auscultação de Barragens.** In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.13-50.

MEDEIROS, C.H. de A.C. **Utilização da técnica de análise de probabilidade de risco na avaliação de segurança de barragens.** In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Belo Horizonte. Anais...Volume 1. p.77-81

MELO, A. V. de ; MIRANDA., D. A. de; DIVINO, P. L. **Principais deteriorações em estruturas civis de PCHs: a experiência da CEMIG.** In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PCHS, 2008, Belo Horizonte. Anais... Tema 24, Artigo 06.

MENESCAL, R. de A.; FONTANELLE, A. de S.; OLIVEIRA, S. K.F. de; VIEIRA, V. de P.P.B. **Acidentes e Incidentes em Barragens no Estado do Ceará.** In: XXIV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2001, Fortaleza. Anais...Volume II. p.467-485.

MENESCAL, R. de A.; FONTANELLE, A. de S.; OLIVEIRA, S.K.F. de; VIEIRA, V.P.P.B. **Avaliação do desempenho de barragens no estado do Ceará.** In: XXIV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2001, Fortaleza. Anais... Volume II. p.583-597.

MENGA, R.; MASSERA, A.; BECOCCI, L.; JULIANI, M. **Gestão, Tratamento e Interpretação de Dados de Monitoração Estrutural para Controle de Barragens.** In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Belo Horizonte. Anais...Volume 1. p. 329-337

MIRANDA, A. N. de; MENESCAL, R. DE A.; PERINI, D. S.; SOARES, F. R. **Barragem Joana – Uma intervenção emergencial de segurança.** In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 95, Artigo 08.

MUNARSKI, C. J. **Instalação de aparelhagem nas barragens de terra para verificação do seu comportamento.** In: Iº Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 1957. Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Anais...Vol. III, separata nº 7.

OLIVEIRA, H. G. DE, MORI, R. T., IMAIZUMI, H., SÁ, M.B.L. DE. **Percolação pelas Fundações das Barragens dos Rios Atibainha e Cachoeira.** In: XI Seminário NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1976, Fortaleza. Tema III.

OLIVEIRA, T. C.; FREITAS, I. M. DE; GARCIA, O. J. **Implantação e Operacionalização de Sistemas de Observação de Barragens Durante a Fase de Construção até o Enchimento do Reservatório.** In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... Tema 2, Artigo 29. p 325 - 336

PATRÃO, P. P. **Análise e Controle de Percolação.** Seminário Sobre Barragem de Terra e Enrocamento. Belo Horizonte, 1980.

PEREIRA, D. DE A.; ASSIS, A. P. **Previsão de poropressão construtiva em barragens via simulação numérica.** In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais... Tema 95, Artigo 15.

PIASENTIN, C. **Considerações sobre a importância das observações visuais na auscultação de Barragens.** In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.149-163.

PIERRE, L. F. **Avaliação da Segurança de Pequenas Barragens em Operação.** In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.260-268.

PIMENTA, P. DE Á.; PACHECO, I. B.; LAZARIN, B. D. **Estudos de verificação do comportamento do sistema de drenagem da barragem de Três Irmãos e sua influência nos diagramas de subpressão.** In: XVII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1987, Brasília. Anais... p. 47-68

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo, 2006. 247p. Oficina de textos, 3ª edição.

QUANSHU, L.; JIANJUN, L.. **Numerical Analysis of the Seepage Field in Core-Dam**. Scholl of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu, China.

QUEIROS, L. A. **Compactação de Barragens de enrocamento e de terra: controle dos resultados**. In: III SEMINÁRIO DE GRANDES BARRAGENS, 1964, São Paulo. Anais...São Paulo: CBDB, 1964. Sessão 2.

ROCHA, R.; SACODA, G.M.; SILVA, G.G. DA; QUINTANILHA, J.A.; FUKS, J.L.; NAKANDAKARI, M.K. **Aplicação de um Sistema Computacional para Tratamento e Análise quantitativa de Resultados de Instrumentação de Barragens**. In: XX SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1992, Curitiba. Anais... p.71-78

SALES, C. A. T. E; FONTENELLE, A. DE S.; CAVALCANTE, S. DE P. P.; SOUZA, V. A. D. DE. **Monitoramento de Segurança de Barragens por Instrumentação no Estado do Ceará**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p.497-523.

SANTOS, C.F.R; CORREA, B.H. **Considerações sobre Segurança de Barragem**. In: XIX SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1991, Aracaju. Anais...Tema 02, p. 151-154.

SANTOS, O.G.; SANTOS JR, O.J.; RAHUAN, L. F.; BRANCO, A. C. **PCH Zé Fernando, Uma barragem em Cascalho com Núcleo de Argila: Aspectos de Projeto e Construção**. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2008, Belo Horizonte. Anais...Tema 23, Artigo 03.

SANTOS, R. P. DOS; PEREIRA, P. N.; GUIMARÃES, R. D. S.; ROCHA, R.; BERNARDI, E.; KAWAUCHE, T. M.; STRUFALDI, R. G. B.; FUJIWARA, R.; GOMES, C. L. R. **Sistema de Gestão de Segurança de barragens: integração com programas de análise de engenharia**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p. 275-285.

SANTOS, R. P. DOS; PEREIRA, P. N.; SILVEIRA, J. F. A. **Importância da Re-instrumentação de Barragens – Experiência com a Barragem de Jurumirim**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p.405-420.

SARDINHA, A. E.; MAZZUTTI, R. **Tratamento das infiltrações ocorridas na Barragem de Itá**. In: XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2003, Salvador. Anais... Volume II. p.539-553.

SHIMABUKURO, M.; CAVALCANTI, A. V.; FILHO, C. J. P.; MARTINS, M. DE A. **Desempenho da Barragem da UHE Serra da Mesa nas fases construtivas e de Enchimento do Reservatório**. In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Belo Horizonte. Anais...Volume 1. p. 259-276

SHIMABUKURO, M.; CAVALCANTI, A. V.; PIRES FILHO, C. J.; MARTINS, M. DE A. **Barragem Joana – Uma intervenção Emergencial de Segurança**. In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Goiânia. Anais...Tema 95, Artigo 08.

SIGNER, S. **Pressões neutras na Barragem de Itaúba**, RGS. In: XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens, 1981, Recife. Anais...Tema II.

SILVEIRA, J. F. A. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento**. São Paulo, 2006. 413p. Oficina de Textos, 1ª edição.

SILVEIRA, J. F. A.; ÁVILA, J. P. DE; MIYA, S.; MACEDO, S. S. **Influência da compressibilidade do solo de fundação da barragem de terra de Água Vermelha nas variações de permeabilidade da fundação**. In: XII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1978, São Paulo. Anais...Volume 1. p.111-132

SILVEIRA, J. F. A.; SOUZA, R. J. B. DE; SILVA, P. N.; MONTEIRO, J. M. A.; MAFRA, R. M. DE M. **A Re-instrumentação das Obras Civas da Usina Hidrelétrica de Boa Esperança**. In: III SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS, 2006, São Paulo. Anais... p.47-62.

SILVEIRA, J.F.A.; PEREIRA, P.N.; FERREIRA, W.V.F. **Anomalia Geológica na fundação das estruturas de concreto de Canoas I e sua influência no comportamneto da barragem**. In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2005, Goiânia. Anais...Tema 95, Artigo 07.

SOUZA, R. J. B.; MAIA, R. A. DE A. **Tratamento de subpressões elevadas no dique “A” – UHE Sobradinho**. In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1999, Belo Horizonte. Anais...Volume 1. p. 67-76

UEMURA, S. **Instrumentação de Avaliação e Gestão de Impactos gerados por Rupturas de Barragens**. 2009. 160 f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

VICENTE, G.; KUPERMAN, S.; LOPES, W.; REIS, F. **Metodologia para priorização da Manutenção das Usinas da AES Tietê S/A**. In: XXIX SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 2013, Porto de Galinhas. Anais...Tema 109, Artigo 14.

VIOTTI, C. B.; CARIM, A. L. C. **Deformações excessivas na Barragem de Emborcação e seu reflexo no projeto da Barragem de Nova Ponte**. In: XXII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1997, São Paulo. Anais...p. 285-301

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens**. 2005. 192 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ANEXOS

**ANEXO I – Descrição dos Derrames
basálticos no local da Barragem de Itaúba**

N° derrame / Contatos	Tipo de Material	Espessura	Elevação aprox.de ocorrência
Derrame n° 1	Constituído por basalto denso. Apresentou, nos ensaios de perda d'água, valores geralmente inferiores a 1 l/min.m .kg/cm ²	Superior a 50m	Cota 63
Brecha sobrejacente ao derrame 1	Topo arenítico	5m	Cota 69
Derrame n° 2	Constituído de basalto denso, sendo os 2 a 4m superiores de basalto vesículo-amigdaloidal. Os ensaios de perda d'água resultaram em valores inferiores a 1 l/min.m.kg/cm ² . Juntas-falhas que se desenvolvem na parte densa dos derrames representam caminhos preferenciais de percolação, isto se evidencia claramente no interior deste derrame, ombreira direita.	10 m	Cota 70 a 80
Camada entre os derrames 2 e 3	Constituída por arenito e brecha arenítica, caracterizadas por perdas d'água muito elevadas. Mesmo nos pontos onde a camada inexistente, o contato é extremamente permeável. Isto é, em torno da cota 85m há um caminho de percolação preferencial e os valores de perda d'água, na sua maioria, resultaram em valores superiores a 3 l/min.m.kg/cm ² para baixas pressões.	1 m	Cota 83 a 85
Derrame 3	Constituído por basalto denso da base ao meio, e daí ao topo por basalto amigdalóide. Apresentou baixos valores de perda d'água, sendo, no entanto, mais permeável no contato com o derrame 4 superior	10 m	Cota 80 a 90
Camada entre os derrames 3 e 4	Brecha descontínua. Apresentou comportamento variável quanto à perda d'água	5 m	Cota 90 e 95
Derrame 4	Parcialmente erodido, constitui o leito e margem do rio. Nessa zona, superficialmente e principalmente na margem esquerda, apresentou elevados valores de perda d'água. Nas ombreiras apresentou, em alguns pontos, perdas d'água em geral inferiores a 1 l/min.m .kg/cm ² . No seu topo, quando em contato direto com o derrame 5, os valores de perda d'água foram elevados.	18 m	Cota 90 e 110

Nº derrame / Contatos	Tipo de Material	Espessura	Elevação aproximada de ocorrência
Camada entre os derrames 4 e 5	Camada extensa de brecha interrompida, predominantemente basáltica. O contato da brecha com o derrame superior apresentou-se francamente permeável quando ocorria próximo à superfície (ombreiras da Barragem) e pouco permeável quando ocorria em profundidade. De uma maneira geral os primeiros metros da fundação da Barragem eram bastante permeáveis e em mais extensão e profundidade na margem e ombreira esquerda.	até 4 m	Cota 110
Derrame 5	Juntamente com o derrame 4, apresenta-se sub-horizontal na margem direita da Barragem mergulhando ligeiramente em direção ao leito do rio. Além das perdas d'água elevadas, quando próximo à superfície, apresenta outro horizonte preferencial de percolação ocorrendo nas cotas 125 m na margem direita e 120 m na margem esquerda, trata-se de um horizonte mais fraturado dentro do basalto denso, sendo provavelmente uma junta-falha.	20 a 30 m	Média cota 112 m
Camada sobrejacente ao derrame 5	Camada extensa e contínua, em toda a área, de arenito e/ou brecha arenítica, o primeiro geralmente no topo. O topo desta camada é muito permeável em praticamente todos os pontos sondados, com valor de perda d'água superiores a 3 l/min.m.kg/cm ² . Trata-se de outra passagem preferencial d'água em torno da cota 140m, no contato do arenito com o derrame 6	Média 3m	Varia entre 138 m e 142 m
Camada entre derrames 5 e 6	Análoga ao derrame 6, neste ponto com perda d'água superior a 3 l/min.m.kg/cm ² em todo o trecho.	8 m	152m
Derrame 6	Derrame pouco espesso, constituído, principalmente, de basalto micro-vesicular e vesicular.	5 m	Cota 140
Derrame 7	Constituído, principalmente, por basalto denso. Nas ombreiras da barragem onde aflora, é muito fraturado e apresenta elevadas perdas d'água, em toda sua profundidade na ombreira esquerda	15 a 20 m	Cota 150 a 170
Camada entre os derrames 7 e 8	Constituída de brecha basáltica, brecha arenítica e arenito. O topo da camada é em geral arenito. A permeabilidade é variável. O contato do arenito com o derrame 8, quando existente (em muitos locais foi erodido), é permeável.	22 m	Cota 170 a 190
Derrame 8	Constitui o topo dos morros e encontra-se parcialmente erodido. No local da Barragem, onde aflora na margem direita, encontra-se muito fraturado constituindo quase uma cascalheira. É constituído basicamente de basalto denso fraturado não tendo sido possível a realização de ensaios de perda d'água no mesmo	15 m	Cota 180 à 195

Fonte: Relatório 314-3200 – Aspectos geomecânicos e tratamento das fundações em Itaúba (Signer,1975)

ANEXO II - Planilhas

Leitura e gráficos dos poços de Alívio

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	DADOS DO DRENO				5/3/78	30/3/78	1/4/78	3/4/78	4/4/78	6/4/78	8/4/78	10/4/78	12/4/78	14/4/78	17/4/78	19/4/78	21/4/78	24/4/78		
					Cota do Reserv.															
					103,045	103,000	102,930	114,480	123,510	133,800	141,040	144,420	149,501	157,481	159,630	164,000	167,270	165,550		
Nome do Dreno	DATA DA 1ª LEITURA	COTA DE BOCA (m)	COTA DE FUNDO (m)	PROFUNDIDA DE (m)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)		
PA 01	30/03/78	177,73	154,79	22,94		157,692	157,581	157,531	157,541	157,661	157,581	157,591	157,501	157,481	164,241	157,701	157,711	157,571		
PA 02	30/03/78.	176,66	135,02	41,64		143,792	144,082	143,722	143,672	143,312	143,182	143,062	143,012	142,972	142,872	143,032	143,062	142,962		
PA 03	30/03/78	175,43	135,11	40,32		139,122	139,462	139,312	139,272	139,752	138,862	138,862	138,892	138,932	138,922	139,332	132,042	139,140		
PA 04	08/05/78	165,20	125,69	39,51																
PA 05	19/04/78	157,02	116,17	40,85													149,540	149,510	149,540	
PA 06	12/04/78	152,39	119,88	32,51											121,708	124,528	124,548	124,778	124,938	126,548
PA 07	30/03/78	137,93	105,68	32,25		111,169	110,959	110,889	110,869	110,899	111,059	111,389	112,059	112,469	113,349	114,009	114,333	114,889		
PA 08	05/03/78	133,42	105,24	28,18	111,222	111,153	110,903	110,883	110,833	110,853	111,043	111,443	111,973	112,423	113,213	113,873	114,333	114,663		
PA 09	05/03/78	127,67	99,88	27,79	111,219	111,158	110,908	110,858	110,818	110,688	111,058	111,389	112,028	112,528	113,318	113,968	114,478	114,778		
PA 10	05/03/78	121,67	86,57	35,10	104,012	104,666	104,496	103,556	103,726	103,846	102,856	101,766	103,326	103,846	104,626	109,956	107,447	110,506		
PA 11	05/03/78	117,34	86,57	30,76	102,569	102,738	102,678	102,048	102,268	102,298	100,138	97,738	97,388	95,298	94,618	95,638	97,748	104,518		
PA 12	05/03/78	110,02	79,65	30,37	102,540	102,632	102,512	101,632	101,672	100,902	98,132	95,102	94,272	90,342	88,502	89,802	93,232	102,702		
PA 14	30/03/78	103,84	67,71	36,12		101,969						98,000	97,970	96,800	96,800	97,120	99,000	103,000		
PA 15	30/03/78	103,29	67,94	35,35		102,066						98,191	98,181	96,921	97,181	97,511	99,411	103,011		
PA 16	30/03/78	103,15	68,00	35,15		101,943	101,793	101,673	101,793	101,795	100,343	98,973	99,093	98,153	98,433	98,873	100,503	103,133		
PA 17	30/03/78	103,27	67,87	35,40		101,936	101,846	101,656	101,766	101,696	100,416	99,126	99,196	98,296	98,586	98,976	100,576	103,216		
PA 17A	30/06/78	103,34	68,84	34,50																
PA 03A	30/06/78	102,72	68,72	34,00																
PA 18	30/03/78	102,60	67,22	35,38		101,940	101,820	101,765	101,860	101,800	100,450	99,120	99,250	98,350	98,640	99,080	100,810	2,857		
PA 18A	30/06/78	102,85	68,85	34,00																
PA 19	05/03/78	103,06	67,84	35,21	101,969	101,949	101,809	104,689	100,879	101,889	100,609	99,389	99,659	98,879	99,309	99,809	101,449	0,384		
PA 19A	30/06/78	102,93	68,93	34,00																
PA 20	05/03/78	103,29	67,53	34,00	101,834	101,964	101,834	101,814	101,874	101,874	100,664	99,424	99,694	98,534	99,304	99,784	101,404	2,000		
PA 20A	22/05/78	103,50	68,50	35,00																
PA 21	05/03/78	103,96	67,65	36,31	101,966	101,906	101,836	101,636	101,866	101,866	100,706	99,526	99,806	99,046	99,546	99,936	101,506	103,476		
PA 22	05/03/78	106,36	67,98	38,38	101,997	100,583	101,147	101,127	101,197		99,997	98,817	99,207	98,527	98,970	99,527	101,087	103,167		
PA 23	05/03/78	112,72	76,68	36,04	101,997	100,583	100,543	100,593	100,983	100,823	100,533	99,973	100,183	100,033	100,573	101,243	102,463	104,183		
PA 24	05/03/78	122,47	79,90	42,57	103,617	103,034	102,799		103,179	105,959	114,089	110,599	113,139	115,579	115,749	115,949	116,119	116,319		
PA 25	05/03/78	128,24	86,64	41,60	102,996	103,099	102,979		107,129	113,779	115,279	121,999	125,810	128,129	128,129	128,129	128,129	128,129		
PA 26	05/03/78	130,78	86,85	43,93	106,227	105,630	106,030		107,560	114,260	119,550	122,980	126,470	0,038	0,187	0,256	0,333	0,333		
PA 27	05/03/78	135,46	99,97	35,49	111,425	106,205	106,120		107,730	114,560	119,510	122,820	126,640	129,370	129,670	129,900	130,010	130,530		
PA 28	30/03/78	140,60	105,72	34,88		114,612	113,602		116,682	119,802	122,722	123,672	128,842	130,142	131,002	131,702	132,252	132,982		
PA 29	12/04/78	147,00	105,87	41,13									136,760	136,540	137,160	137,900	138,590	139,470		
PA 30	08/04/78	153,31	116,69	36,62								143,190	143,463	143,550	144,000	145,020	145,980	146,880	147,710	
PA 31	08/04/78	156,04	116,70	39,34								141,920	140,784	142,020	142,540	143,800	144,860	145,980	146,770	
PA 32	30/03/78	174,25	137,88	36,37		144,705	147,505		145,065	143,025	143,615	143,445	143,575	144,085	145,115	146,085	147,125	147,915		
PA 33	05/03/78	183,32	149,77	33,54	151,047	151,246	150,856		150,976	150,426	149,774	150,256	150,236	150,096	149,976	150,126	151,516	151,216		
PA 34	05/03/78	186,48	150,78	35,70	156,137	150,775	150,775		150,775	154,438	150,780	154,438	154,438	154,408	154,248	154,398	154,438	154,758		

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	26/4/78	28/4/78	2/5/78	4/5/78	6/5/78	8/5/78	10/5/78	12/5/78	15/5/78	17/5/78	19/5/78	22/5/78	24/5/78	26/5/78	29/5/78	31/5/78	2/6/78	5/6/78
Cota do Reserv.	166,120	166,240	165,400	166,210	166,150	165,420	166,290	166,290	165,420	166,080	165,980	165,370	165,370	165,390	165,260	165,850	165,840	165,230
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	157,601	157,551	157,371	157,571	157,611	157,621	157,691	157,501	158,361	157,811	157,791	157,561	157,511	157,461	157,621	157,491	157,511	157,531
PA 02	142,322	142,822	142,722	142,852	142,952	143,102	143,212	143,042	143,432	143,462	143,542	143,502	143,502	143,422	143,402	143,112	143,142	143,112
PA 03	139,132	139,022	139,052	139,312	139,432	139,502	139,622	139,292	140,142	139,702	139,682	139,632	139,542	139,572	139,832	139,652	139,742	139,802
PA 04						165,481	165,481	130,541	130,761	130,681	130,741	130,601	130,581	130,481	130,651	130,571	130,591	130,601
PA 05	149,460	149,460	149,460	149,420	149,430	149,570	149,570	149,450	149,590	149,560	149,570	149,590	149,460	149,460	149,540	149,450	149,460	149,460
PA 06	124,678	124,718	124,598	124,718	124,998	125,348	126,678	125,348	126,348	125,778	125,578	125,318	125,118	125,008	125,078	124,988	125,028	125,078
PA 07	115,099	115,329	115,509	115,619	115,859	116,219	116,249	116,139	116,529	116,359	116,369	116,229	116,139	116,059	116,189	116,129	116,119	116,059
PA 08	114,843	115,023	115,223	115,363	115,573	115,863	115,913	115,863	116,193	116,033	116,053	115,923	115,823	115,753	115,893	110,803	115,833	115,773
PA 09	115,058	115,308	115,458	115,628	115,858	115,863	116,198	116,098	116,888	116,318	116,308	116,088	116,058	116,008	116,138	116,058	116,058	115,978
PA 10	110,626	110,656	110,756	110,766	110,806	110,946	111,016	110,906	111,876	111,126	111,096	111,026	111,006	110,976	111,056	110,946	111,006	110,926
PA 11	104,508	104,528	104,648	104,638	104,658	104,748	104,778	104,708	104,858	104,718	104,748	104,748	104,688	104,688	104,768	104,698	104,718	104,688
PA 12	102,642	102,662	102,842	102,802	102,802	102,892	102,902	102,842	102,882	102,872	102,872	102,872	102,812	102,832	102,892	102,812	102,822	102,802
PA 14	0,095	0,408	0,416	0,404	0,465	0,686	0,465	0,454	0,392	0,408	0,370	0,344	0,384	0,384	0,408	0,370	0,384	0,377
PA 15	103,041	103,021	103,061	103,081	103,071	103,061	103,071	102,711	102,711	103,051	103,061	103,051	103,051	103,051	103,051	103,061	103,061	103,051
PA 16	103,173	103,143	103,223	103,223	103,213	103,213	102,403	103,230	103,223	103,203	103,213	103,203	103,203	103,203	103,203	103,266	103,203	103,223
PA 17	103,256	103,256	103,266	103,223	103,276	103,276	103,276	103,276	103,286	103,266	103,260	103,266	103,266	103,426	103,256	103,266	103,256	103,266
PA 17A																		
PA 03A																		
PA 18	2,857	3,333	2,857	2,857	2,857	2,857	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857
PA 18A																		
PA 19	0,392	0,384	103,741	103,770	103,729	103,733	103,742	103,754	103,744	103,762	103,756	103,734	0,392	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
PA 19A																		
PA 20	2,000	2,222	2,000	2,000	2,000	2,000	2,222	2,222	2,222	2,222	2,222	2,000	2,000	2,222	2,000	2,222	2,222	2,000
PA 20A													102,659	102,669	102,689	103,596	103,606	103,596
PA 21	103,576	103,586	103,626	103,606	103,606	103,596	103,616	103,606	103,626	103,576	103,606	103,596	102,659	102,669	102,689	103,596	103,606	103,596
PA 22	103,207	103,207	103,247	103,227	103,217	103,277	103,297	103,267	103,337	103,297	103,357	103,327	103,237	103,207	103,257	103,247	103,207	103,237
PA 23	104,593	104,843	105,223	105,313	105,383	105,493	105,583	105,583	105,453	105,543	105,503	105,503	103,453	105,393	105,503	105,413	105,423	105,393
PA 24	116,719	117,859	118,539	118,679	118,919	119,119	119,039	118,979	119,409	119,219	119,249	119,089	119,109	119,279	119,239	118,989	118,949	119,109
PA 25	128,129	128,129	128,644	128,865	128,889	128,995	129,050	0,095	0,145	0,095	0,102	0,094	0,064	0,066	0,066	0,066	0,040	0,066
PA 26	0,355	0,345	0,338	0,339	0,357	0,357	0,370	0,363	0,357	0,363	0,363	0,344	0,350	0,357	0,335	0,344	0,350	0,350
PA 27	130,750	130,190	130,470	130,250	130,360	130,320	130,410	130,290	130,420	130,320	130,340	130,240	130,210	130,100	130,260	130,150	130,150	130,190
PA 28	133,262	133,382	133,642	133,682	133,772	133,772	133,952	133,922	134,142	134,042	134,082	134,062	133,982	133,982	134,112	134,022	134,062	134,032
PA 29	139,780	140,070	140,180	140,250	140,340	140,330	140,530	140,500	141,230	140,600	140,640	140,610	140,560	140,550	140,640	140,590	140,680	140,600
PA 30	148,020	148,380	148,580	148,780	148,120	148,910	149,230	149,250	150,350	149,690	149,660	149,640	149,640	149,690	149,300	149,800	149,860	149,800
PA 31	147,160	147,440	147,630	147,860	148,040	148,020	148,320	148,360	148,070	148,470	148,540	148,470	148,470	148,510	148,610	148,570	148,740	148,590
PA 32	148,185	148,535	148,765	149,005	149,155	149,125	149,465	149,465	149,475	150,525	149,835	150,035	149,915	149,895	150,065	149,365	150,115	150,045
PA 33	151,166	151,256	151,256	151,216	151,376	150,566	151,506	151,566	151,806	152,126	152,076	152,106	152,086	152,166	152,366	152,336	152,536	152,396
PA 34	154,728	154,838	153,818	154,928	154,918	154,918	155,068	154,958	155,198	155,338	155,308	155,168	155,098	155,138	155,208	155,098	155,228	155,168

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	7/6/78	12/6/78	15/6/78	19/6/78	22/6/78	26/6/78	29/6/78	3/7/78	6/7/78	10/7/78	13/7/78	18/7/78	19/7/78	21/7/78	24/7/78	28/7/78	2/8/78	4/8/78
Cota do Reserv.	166,040	165,230	165,680	165,220	165,560	165,210	165,590	165,590	165,690	165,450	165,850	165,960	166,700	168,120	168,510	170,900	170,970	170,910
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	157,641	157,631	157,641	157,841	157,861	157,971	157,981	157,981	157,731	157,576	157,599	157,986	158,196	158,570	158,605	158,497	158,060	158,084
PA 02	143,342	143,352	143,542	143,862	144,092	144,262	144,362	144,302	144,212	144,222	144,222	144,447	144,423	145,042	145,390	145,423	145,228	145,084
PA 03	140,042	139,892	140,122	140,362	140,362	140,502	140,532	140,482	140,523	140,502	140,447	140,706	140,767	141,137	141,362	141,270	141,175	141,165
PA 04	130,711	130,691	130,691	130,701	130,711	130,651	130,651	130,621	130,621	130,621	130,556	130,563	130,610	130,658	130,663	130,623	130,526	130,483
PA 05	149,560	149,560	149,560	149,580	149,570	149,570	149,600	149,460	149,510	149,460	149,460	149,460	149,460	149,460	149,460	145,714	145,659	145,694
PA 06	125,298	125,248	125,828	126,828	126,678	126,288	126,148	126,448	125,968	126,090	125,200	127,893	127,296	129,059	129,393	129,443	127,800	127,516
PA 07	116,209	116,139	116,189	116,499	116,229	116,169	117,059	116,059	116,059	116,059	116,059	116,059	116,424	117,610	117,764	117,456	116,225	116,153
PA 08	115,883	115,793	115,853	116,103	115,903	115,973	115,753	115,803	115,728	115,683	115,658	116,433	116,031	117,088	117,312	117,004	115,769	115,819
PA 09	116,128	116,058	116,148	116,418	116,198	116,098	116,058	116,058	115,943	115,958	116,808	116,364	117,563	117,533	117,405	116,115	116,040	
PA 10	110,996	110,986	111,006	111,116	111,076	111,026	109,926	111,346	111,366	111,336	111,296	111,686	111,361	112,058	111,920	111,754	109,200	108,355
PA 11	104,778	104,768	104,718	104,718	104,858	104,818	104,818	106,998	107,418	107,263	106,746	106,183	106,049	106,205	105,618	104,923	96,827	97,035
PA 12	102,892	102,872	102,832	102,822	103,052	103,092	103,002	106,182	106,637	106,462	105,792	105,042	104,977	105,024	105,170	103,021	91,693	92,061
PA 14	0,476	0,270	0,290	0,180	0,571	103,000	103,000	2,500	2,857	2,857	2,000	0,690	0,556	0,588	0,667	102,575	97,088	97,844
PA 15	103,061	103,041	103,041	103,011	103,071	102,961	102,941	4,000	4,000	4,000	3,333	2,500	2,500	2,500	2,500	102,593	97,549	98,289
PA 16	103,253	103,203	103,223	103,173	103,223	103,053	103,003	1,818	2,222	2,222	2,000	1,666	1,538	1,666	1,818	102,808	99,148	99,563
PA 17	103,266	103,246	103,256	103,216	103,246	103,060	103,076	103,038	103,088	103,088	103,106	103,063	103,066	103,073	103,071	102,791	99,368	99,794
PA 17A								102,994	103,044	102,964	103,069	103,048	103,041	103,066	103,079	102,012	99,379	99,864
PA 03A								5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	2,222	99,456	100,044
PA 18	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	3,333	99,433	99,938
PA 18A								3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	3,333	2,857	3,333	1,176	99,468	100,042
PA 19	0,408	0,377	0,455	0,392	0,417	0,286	0,225	0,274	0,282	0,274	0,274	0,260	0,260	0,267	0,267	0,172	99,876	100,368
PA 19A								103,282	103,312	103,272	103,262	103,212	103,196	103,222	103,219	102,932	99,842	100,012
PA 20	2,000	1,000	2,222	1,538	1,818	1,052	0,667	1,176	1,333	1,250	1,250	1,053	1,053	1,053	1,111	103,188	99,873	100,290
PA 20A	103,636	103,386	103,516	103,456	103,486	103,396	103,366	103,281	103,311	103,301	103,291	103,266	103,273	103,283	103,251	103,199	99,880	100,756
PA 21	103,636	103,386	103,516	103,456	103,486	103,396	103,366	103,437	103,457	103,457	103,442	103,427	103,437	103,440	103,457	103,312	100,179	100,581
PA 22	103,337	103,107	103,217	103,177	103,177	103,107	103,047	103,880	103,845	103,860	103,825	103,780	103,796	103,807	103,912	103,688	100,510	100,950
PA 23	105,513	105,403	105,363	105,333	105,303	105,213	105,243	105,283	105,343	105,273	105,208	105,238	105,273	105,283	105,383	106,605	104,419	104,682
PA 24	118,959	118,919	119,089	119,059	119,229	119,209	119,319	119,169	119,184	119,149	119,301	119,274	119,113	119,389	119,224	120,272	120,211	119,782
PA 25	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,069	0,066	0,066	0,063	0,064	0,067	0,067	0,065	0,056	0,061
PA 26	0,345	0,317	0,200	1,980	1,980	1,905	1,905	0,308	0,308	0,299	0,303	0,294	0,294	0,313	0,313	0,326	0,317	0,308
PA 27	130,260	130,210	130,240	130,200	130,310	130,310	130,290	130,220	130,130	130,240	130,185	130,170	130,146	130,175	129,925	129,894	130,080	130,065
PA 28	134,112	134,092	134,062	134,162	134,152	134,112	134,192	134,092	134,142	134,162	134,109	134,142	134,157	134,183	127,878	127,720	134,203	134,183
PA 29	140,770	140,850	140,850	140,830	140,800	140,820	140,870	140,810	140,790	140,788	140,775	140,984	141,004	141,132	141,202	141,304	141,302	141,254
PA 30	150,020	150,090	150,180	150,400	150,540	150,400	150,490	150,540	150,520	150,510	150,508	150,855	150,855	150,940	151,065	151,008	150,943	150,938
PA 31	148,840	148,900	148,940	149,090	148,970	148,920	149,050	149,000	149,000	148,950	149,070	149,295	149,338	149,520	149,575	149,287	149,420	149,347
PA 32	150,365	150,355	150,445	150,785	150,525	150,745	150,825	148,895	150,890	150,835	150,853	151,315	151,258	151,475	151,640	151,603	151,740	151,761
PA 33	152,746	152,906	153,076	156,326	153,506	153,596	153,716	153,766	153,774	153,836	153,826	154,146	154,286	154,626	154,876	155,421	155,871	156,078
PA 34	155,418	155,488	155,498	156,078	156,028	155,818	155,928	155,958	155,906	155,988	155,866	156,526	156,534	157,051	157,296	157,990	157,491	158,553

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	7/8/78	10/8/78	15/8/78	17/8/78	21/8/78	23/8/78	25/8/78	28/8/78	30/8/78	6/10/78	11/10/78	17/10/78	7/11/78	23/11/78	14/12/78	21/12/78	5/1/79	12/1/79
Cota do Reserv.	170,910	170,920	172,960	173,710	175,210	176,640	178,050	179,000	180,060	183,570	182,960	182,620	182,420	183,880	182,130	182,340	183,290	183,540
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	157,837	158,499	158,349	158,488	158,045	157,897	157,987	158,187	158,397	158,429	158,300	157,992	158,345	158,416	158,233	158,025		157,821
PA 02	144,888	144,945	144,896	145,093	144,937	144,918	144,848	145,043	145,028	146,278	146,191	145,448	146,280	147,108	146,936	146,926		147,037
PA 03	141,145	141,365	141,233	144,545	141,380	141,455	140,775	141,704	141,731	142,817	142,411	142,265	142,280	143,425	143,160	143,153		143,308
PA 04	130,443	130,617	130,611	130,548	128,513	130,548	130,713	130,746	130,671	130,713	130,309	130,273	130,513	130,603	130,592	130,546		130,571
PA 05	145,674	145,722	145,642	145,778	145,732	145,724	145,789	145,789	145,804	145,886	145,376	145,379	145,752	145,773	145,765	145,768		145,788
PA 06	126,968	128,797	128,518	129,393	128,848	129,323	129,463	129,531	129,553	130,784	130,208	130,143	130,255	130,948	130,575	130,564		130,681
PA 07	116,013	117,266	116,527	116,320	116,098	116,289	116,523	116,553	116,933	117,045	116,570	116,376	116,414	117,385	116,148	116,104		116,248
PA 08	115,637	116,774	116,161	115,953	115,891	115,949	116,044	116,279	116,473	116,651	116,135	115,999	116,051	116,889	115,730	115,759		115,783
PA 09	115,955	117,183	116,453	116,261	116,170	116,244	116,380	116,640	116,833	117,022	116,460	116,330	116,361	117,340	116,027	116,075		116,232
PA 10	108,303	108,313	110,485	108,955	108,378	108,109	108,470	108,580	108,508	109,412	109,072	108,655	108,503	110,922	109,778	110,241		110,853
PA 11	97,180	97,375	97,235	97,251	97,300	97,335	97,445	96,435	96,635	97,127	96,655	96,470	96,275	97,068	98,919	102,574		105,100
PA 12	92,216	92,306	92,081	92,021	92,283	91,909	91,963	89,021	89,234	90,021	89,550	89,391	88,920	89,721	94,616	99,757		103,000
PA 14	98,173	98,003	97,776	98,024	97,283	98,506	98,967	99,228	98,773	99,508	99,081	99,038	99,094	99,818	100,738	102,046		102,890
PA 15	98,502	98,289	98,109	98,327	98,584	98,819	99,341	99,626	99,748	99,989	99,679	99,469	99,481	100,062	101,032	102,152		102,899
PA 16	99,873	99,728	99,548	99,713	99,908	100,317	100,871	100,943	101,048	101,389	100,938	100,898	101,040	101,519	102,235	102,674		102,954
PA 17	100,083	99,923	99,751	99,943	100,103	100,498	101,028	101,258	101,348	101,555	101,122	101,058	101,188	101,682	102,362	102,695		102,908
PA 17A	100,089	99,964	99,814	99,961	100,079	100,534	101,004	101,334	101,417	101,614	101,124	101,106	101,220	101,720	102,415	102,696		102,894
PA 03A	100,044	100,005	99,838	100,003	100,213	100,608	101,126	101,337	101,588	101,681	101,202	101,178	101,343	101,818	102,506	100,000	199,100	193,548
PA 18	100,178	100,053	99,808	100,069	100,775	100,628	101,116	101,361	101,388	101,621	101,203	101,173	101,305	101,822	37,500	171,428	240,000	235,294
PA 18A	100,282	99,980	99,852	100,036	100,185	100,627	101,150	101,376	101,412	101,632	101,217	101,183	101,310	101,833	16,667	102,782	133,333	122,449
PA 19	100,579	100,475	100,315	100,459	100,634	101,217	102,467	102,645	102,795	0,157	-	0,139	4,739	13,333	23,077	24,490	25,532	23,762
PA 19A	100,410	100,291	100,102	100,337	100,439	100,916	101,498	101,772	101,780	102,004	102,002	101,969	101,723	102,177	102,690	11,215	30,769	30,303
PA 20	100,548	100,421	100,263	100,481	100,588	101,127	101,798	102,018	102,078	102,335	102,363	102,328	102,108	102,588	103,025	103,443	99,100	104,348
PA 20A	100,566	100,461	100,266	100,476	100,620	101,169	101,993	102,263	102,332	102,662	102,651	102,575	102,384	102,865	7,273	33,333		103,384
PA 21	100,811	100,687	100,537	100,752	100,892	101,579	102,496	102,957	103,037	103,565	103,551	103,540	103,317	103,804	16,438	36,364	46,154	48,000
PA 22	101,237	101,128	100,990	101,150	101,325	102,360	103,533	103,780	103,948	104,370	103,859	103,815	103,951	104,412	104,632	104,833		104,899
PA 23	104,837	104,847	104,697	104,797	104,861	105,143	105,552	105,959	105,891	106,205	105,779	105,617	108,073	109,053	109,472	109,581		109,749
PA 24	119,897	119,952	119,832	119,772	119,822	119,799	119,762	120,152	120,145	120,629	-	120,302	120,335	120,498	120,344	120,472		120,206
PA 25	0,060	0,068	0,058	0,060	0,057	0,059	0,059	0,059	0,059	0,038	-	0,030	1,625	1,722	1,434	1,481	1,491	1,435
PA 26	0,303	0,027	0,308	0,308	0,323	0,323	0,339	0,339	0,339	0,357	-	0,357	20,339	20,339	20,000	20,339	20,690	21,053
PA 27	130,052	130,109	130,082	130,077	131,047	130,071	130,005	130,077	131,652	130,152	129,582	129,572	129,966	129,969	129,946	129,905		129,886
PA 28	134,172	134,263	134,293	134,302	134,318	134,372	134,306	134,503	134,435	134,186	133,663	133,628	134,001	134,146	133,968	133,968		133,954
PA 29	141,334	141,394	141,411	141,545	141,544	141,530	141,569	141,722	141,643	139,529	138,964	138,834	139,034	139,559	138,794	138,794		138,693
PA 30	150,931	151,017	151,018	151,114	151,103	151,084	151,120	151,215	151,245	151,754	151,393	151,348	152,048	151,989	151,826	151,802		151,663
PA 31	149,284	149,337	149,437	149,621	149,827	149,649	149,749	149,831	149,807	146,443	145,792	145,572	145,695	146,205	145,277	145,258		145,193
PA 32	151,803	151,890	152,073	152,194	152,391	152,468	152,615	153,038	153,113	155,477	154,985	155,043	155,253	155,919	155,642	155,605		155,723
PA 33	156,243	156,572	156,818	157,180	161,628	157,900	158,273	158,988	159,180	164,097	163,960	164,068	163,692	164,946	164,898	164,815		164,958
PA 34	158,654	158,831	158,851	159,146	159,531	159,721	159,984	160,476	160,611	165,086	164,999	165,146	165,200	166,007	165,928	165,845		166,085

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	16/1/79	23/1/79	1/2/79	19/2/79	14/3/79	27/3/79	10/4/79	26/4/79	10/5/79	25/5/79	8/6/79	18/6/79	9/7/79	17/7/79	2/8/79	20/8/79	6/9/79	18/9/79
Cota do Reserv.	183,000	182,510	183,495	182,650	182,510	183,500	182,660	182,730	183,530	181,720	182,960	183,050	183,050	182,420	182,510	182,400	181,020	182,910
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01		157,752	157,830	157,663	157,984	158,072	157,951	158,445	158,471	158,465	158,237	158,107	158,448	158,285	158,036	158,232	158,011	157,862
PA 02		147,090	147,104	147,128	146,992	147,497	147,481	147,587	147,597	147,951	147,658	147,627	147,841	147,783	147,582	147,815	147,578	147,513
PA 03		143,324	143,383	143,362	143,130	143,618	143,622	143,695	143,773	144,025	143,774	143,793	144,062	143,958	143,773	143,899	143,863	143,793
PA 04		130,582	130,598	130,585	130,116	130,664	130,638	130,624	130,587	130,588	130,571	130,613	130,560	130,612	130,479	130,497	130,331	130,562
PA 05		145,746	145,757	145,734	145,295	145,851	145,797	145,880	145,816	145,774	145,774	145,791	145,649	145,738	145,645	145,691	145,654	145,392
PA 06		130,539	130,598	130,286	130,009	130,583	130,440	130,373	130,430	130,509	130,136	130,173	130,747	130,367	130,280	130,453	130,117	130,254
PA 07		116,143	116,187	115,933	115,459	115,833	115,763	115,692	115,725	116,022	115,444	115,388	116,498	115,500	115,415	115,455	115,086	115,375
PA 08		115,783	115,819	115,577	115,098	115,445	115,333	115,322	115,380	115,587	115,119	114,985	116,049	115,098	114,989	115,051	114,936	114,731
PA 09		116,112	116,160	115,892	115,424	115,815	115,690	115,605	115,733	115,919	115,376	115,256	116,438	115,345	115,497	115,383	115,242	115,254
PA 10		110,844	110,857	110,828	110,374	110,808	110,823	110,887	110,991	111,035	110,906	110,800	111,422	110,870	110,687	110,704	110,645	110,558
PA 11		105,165	105,219	105,280	104,832	105,335	105,308	105,305	105,369	105,400	105,377	105,335	105,504	105,320	105,262	105,275	105,223	105,244
PA 12		102,998	103,021	103,045	102,659	103,131	103,130	103,166	103,144	103,206	103,171	103,125	103,252	103,320	102,891	103,076	103,021	103,038
PA 14		102,884	102,903	102,900	102,442	102,904	102,913	102,884	102,949	102,909	102,902	102,880	102,879	102,888	102,876	102,886	102,873	102,874
PA 15		102,895	102,903	102,901	102,896	102,904	102,911	102,910	102,925	102,915	102,900	102,895	102,903	102,889	102,879	102,889	102,869	102,886
PA 16		102,959	102,946	102,945	102,945	102,965	102,966	102,965	102,972	102,965	102,959	102,956	102,948	102,948	102,938	102,944	102,929	102,929
PA 17		102,900	102,903	102,902	102,904	102,909	102,914	102,918	102,919	102,919	102,905	102,905	102,900	102,897	102,884	102,893	102,883	102,892
PA 17A		102,885	102,880	102,884	102,878	102,890	102,892	102,897	102,895	102,897	102,894	102,884	102,882	102,892	102,870	102,879	102,870	102,878
PA 03A	206,896	199,100	199,998	206,892	231,250	231,250	222,000	246,667	258,139	252,273	258,139	128,139	258,139	241,304	264,286	246,667	258,139	246,667
PA 18	240,000	244,898	240,000	240,000	277,500	270,732	270,732	292,105	277,500	317,143	326,470	292,105	284,615	292,105	284,615	277,500	270,732	277,500
PA 18A	120,000	120,000	120,000	122,448	138,750	140,506	114,433	130,588	130,588	130,588	127,586	130,588	148,000	135,366	137,037	132,143	135,366	135,366
PA 19	23,529	23,529	24,000	24,000	26,428	27,072	26,683	26,619	26,619	26,619	26,747	26,428	26,428	26,179	26,118	25,995	25,754	26,429
PA 19A	29,851	30,380	30,846	31,326	36,274	36,039	36,274	36,755	37,374	38,408	36,156	36,393	37,000	34,154	34,365	34,906	33,739	34,050
PA 20	99,100	99,100	99,996	96,774	113,265	116,842	118,085	113,265	124,719	115,625	116,842	118,085	116,842	114,438	113,265	114,433	113,265	116,842
PA 20A		103,371	103,371	103,379	103,383	103,384	103,382	103,387	103,390	103,396	103,394	103,390	103,390	103,390	103,383	103,381	103,374	103,383
PA 21	45,801	46,512	48,000	48,000	54,412	55,500	55,500	55,224	57,812	55,500	54,950	54,950	54,680	54,146	54,412	54,412	52,857	55,500
PA 22		104,838	104,846	104,815	104,364	104,810	104,830	104,818	104,819	104,836	104,808	104,725	104,756	104,769	104,618	104,641	104,579	104,603
PA 23		109,751	109,732	109,717	109,309	109,835	109,794	109,801	109,867	109,832	109,831	109,852	109,852	109,901	109,865	109,905	109,871	109,973
PA 24		120,577	120,812	120,754	120,419	120,868	121,348	121,448	121,497	121,497	121,511	121,472	121,466	121,028	121,279	121,268	121,352	121,297
PA 25	1,637	1,558	1,584	1,740	1,750	1,920	2,162	2,161	2,286	2,310	2,347	2,376	2,453	2,401	2,412	2,366	2,366	2,445
PA 26	20,690	20,869	22,218	21,816	24,289	25,818	25,056	24,667	25,342	25,000	25,694	25,400	27,273	26,241	25,934	25,814	26,179	29,210
PA 27		129,871	129,880	129,865	129,242	129,868	130,052	129,996	130,099	130,582	130,631	130,955	131,204	131,644	130,936	130,978	130,744	130,477
PA 28		133,887	133,928	133,668	133,359	133,765	133,701	133,730	133,697	133,603	133,713	133,792	133,844	133,775	133,590	133,637	133,487	133,430
PA 29		138,530	138,574	138,149	137,716	138,164	138,052	138,171	138,522	139,090	138,937	138,941	139,094	138,829	138,358	138,161	137,854	137,884
PA 30		151,657	151,637	152,171	151,193	151,669	151,654	151,638	151,666	151,631	151,595	151,579	151,600	151,566	151,998	151,998	151,534	151,563
PA 31		145,057	145,173	144,962	144,832	145,581	145,523	145,712	145,987	146,460	146,308	146,272	146,281	146,459	146,232	146,259	145,997	146,159
PA 32		155,624	155,665	155,484	155,226	155,871	155,763	155,750	155,820	155,793	155,618	155,651	155,475	155,397	155,065	155,147	154,872	154,934
PA 33		164,951	164,958	164,498	164,252	164,776	164,774	164,833	164,886	164,979	164,584	164,602	164,191	164,120	163,043	163,726	163,020	162,964
PA 34		166,064	166,084	165,002	165,329	166,014	165,832	165,960	166,043	166,079	165,631	165,606	165,150	165,054	164,427	164,588	163,724	163,865

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	8/10/79	17/10/79	7/11/79	20/11/79	5/12/79	18/12/79	4/1/80	22/1/80	27/3/80	18/6/80	24/9/80	3/12/80	5/2/81	13/3/81	5/5/81	8/7/81	15/9/81	17/11/81
Cota do Reserv.	182,740	182,390	182,000	182,330	183,680	183,120	180,630	180,060	180,850	183,690	182,910	182,200	182,127	180,440	181,995	182,690	181,907	181,957
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	158,452	158,467	158,122	158,427	158,362	158,443	158,017	157,995	157,541	158,257	158,087	158,437	158,423	158,357	158,342	158,427	158,587	158,527
PA 02	147,988	147,909	148,046	147,821	148,021	148,028	147,838	147,827	147,896	148,318	148,308	149,498	148,848	148,744	148,623	148,803	148,853	148,763
PA 03	144,059	144,147	144,140	144,000	144,169	144,202	143,937	143,928	144,015	144,102	144,495	145,133	144,663	144,153	144,805	144,730	145,005	144,845
PA 04	130,520	130,470	130,530	130,589	130,468	130,509	130,486	130,523	130,365	130,494	130,538	130,912	130,701	130,733	130,731	130,653	130,742	130,738
PA 05	145,744	145,683	145,656	145,649	145,688	145,647	145,608	145,641	145,549	145,638	145,699	145,393	145,757	145,972	145,899	145,792	145,839	145,979
PA 06	130,555	130,156	130,591	130,836	130,934	130,843	130,251	129,877	130,233	130,663	129,263	129,253	129,400	128,175	128,299	128,493	129,614	128,203
PA 07	115,453	115,319	115,451	115,766	115,863	115,598	115,361	115,307	115,562	116,113	115,708	115,863	114,813	114,360	114,313	114,243	115,220	114,238
PA 08	115,404	114,974	114,665	115,376	115,449	115,214	114,932	114,902	115,152	115,341	113,999	114,577	114,432	113,887	114,049	114,079	114,871	113,969
PA 09	114,765	115,328	115,029	115,751	115,829	115,596	115,292	115,230	115,560	115,955	114,454	114,801	114,796	114,270	114,225	114,250	115,176	114,185
PA 10	110,999	110,728	110,730	110,977	110,852	110,695	110,562	110,595	110,577	110,315	110,525	119,956	110,898	110,717	110,735	110,719	111,307	110,750
PA 11	105,378	105,260	104,985	105,218	105,297	105,241	105,141	105,195	105,014	105,483	105,100	105,205	105,181	105,240	105,475	105,295	105,633	105,268
PA 12	103,208	103,134	103,080	103,180	103,070	103,081	102,975	102,951	102,933	103,056	102,951	102,067	103,215	103,146	103,221	103,188	103,438	103,196
PA 14	102,875	102,883	102,879	102,892	102,908	102,894	102,880	102,866	102,874	102,890	102,881	102,868	103,388	102,818	102,838	102,835	102,853	102,898
PA 15	102,889	102,888	102,892	102,902	102,918	102,901	102,881	102,879	102,887	102,899	102,869	102,886	103,387	102,834	102,844	102,839	102,863	102,834
PA 16	102,943	102,940	102,943	102,948	102,970	102,948	102,934	102,929	102,936	102,948	102,918	102,933	103,438	102,895	102,903	102,893	102,911	102,890
PA 17	102,890	102,893	102,896	102,895	102,926	102,897	102,888	102,886	102,887	102,900	102,877	102,891	103,391	102,852	102,863	102,853	102,864	102,843
PA 17A	102,869	102,874	102,881	102,884	102,897	102,897	102,873	102,810	102,866	102,882	102,862	102,872	103,381	102,840	102,849	102,836	102,848	102,831
PA 03A	252,273	241,304	252,273	231,250	222,000	241,304	252,273	236,170	231,250	277,500	222,000	222,000	222,000	222,000	184,998	209,434	205,555	183,471
PA 18	292,105	292,105	252,273	264,286	264,286	264,286	277,500	252,273	277,500	252,273	264,286	241,304	241,200	246,600	222,000	222,000	231,250	219,802
PA 18A	150,000	135,366	150,000	129,070	130,588	137,037	132,143	126,136	126,136	129,070	111,000	104,717	102,780	96,522	92,502	92,500	84,862	84,862
PA 19	27,475	25,814	25,995	26,812	26,942	22,206	25,935	26,056	26,812	26,426	25,814	25,227	32,454	24,600	25,230	25,367	26,179	25,802
PA 19A	38,014	34,154	34,472	35,016	36,039	34,905	33,636	32,456	32,647	35,350	32,081	30,000	37,962	27,342	27,072	27,073	27,750	26,397
PA 20	120,652	114,433	115,625	113,265	120,652	121,978	111,000	111,000	111,000	118,085	111,000	105,714	106,730	100,908	100,908	100,909	111,000	111,000
PA 20A	103,379	103,381	103,380	103,384	103,391	103,390	103,378	103,382	103,379	103,401	103,386	103,366	104,132	103,632	103,621	103,376	103,376	103,371
PA 21	55,500	52,857	52,857	54,412	55,500	54,412	53,365	51,869	49,998	57,812	54,412	49,333	50,917	48,258	50,226	50,454	50,684	50,353
PA 22	104,627	104,692	104,602	104,582	104,568	104,582	104,526	104,415	104,443	104,458	104,290	104,350	104,444	104,516	104,628	104,527	104,548	104,510
PA 23	110,093	110,058	110,183	110,266	110,147	110,112	110,242	110,322	110,485	110,510	110,407	110,297	110,576	110,577	110,452	110,427	110,136	110,067
PA 24	120,969	120,988	121,389	121,471	121,466	121,318	121,322	121,342	121,464	0,487	0,442	0,100	0,080	0,028	121,297	121,317	121,098	121,152
PA 25	2,340	2,211	2,204	2,232	2,194	2,136	1,932	1,837	1,613	2,071	1,619	1,920	3,394	1,488	1,608	1,656	1,519	1,464
PA 26	29,210	28,608	25,576	27,750	27,889	28,030	26,429	25,549	25,638	26,056	25,576	25,342	25,224	23,568	26,058	23,125	23,125	22,182
PA 27	130,462	130,157	129,971	130,001	129,942	129,088	129,850	129,771	129,508	129,800	129,762	129,750	129,202	129,999	129,972	129,957	129,984	129,505
PA 28	133,416	133,404	133,498	133,230	133,500	133,468	133,346	133,288	133,466	133,611	132,868	133,874	133,875	134,005	134,102	133,983	134,053	133,428
PA 29	138,157	137,976	137,775	137,686	137,672	137,612	137,578	137,516	137,754	138,382	138,659	139,315	138,656			138,827	139,010	138,904
PA 30	151,661	151,500	151,559	151,562	151,578	151,512	151,496	151,475	151,491	151,183	150,764	151,353	151,881	151,559	151,538	152,079	151,683	151,568
PA 31	146,417	146,928	146,415	146,284	146,449	146,294	146,095	146,052	145,915	146,462	146,222	146,262	146,591	146,410	146,552	146,632	147,212	146,487
PA 32	155,013	154,941	154,467	154,938	155,230	155,111	155,138	155,113	154,488	154,821	154,793	154,603	154,668	154,546	154,615	154,380	154,623	154,388
PA 33	163,120	163,427	163,696	163,636	163,873	163,683	162,602	162,508	162,552	163,311	163,838	163,558	163,243	162,740	163,118	163,486	163,288	162,116
PA 34	164,233	164,180	164,638	164,555	164,800	164,585	163,750	163,661	163,629	163,746	164,596	164,145	163,999	163,459	163,616	164,277	163,940	163,596

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	21/1/82	28/4/82	22/6/82	18/8/82	8/11/82	7/12/82	6/4/83	4/5/83	15/6/83	3/8/83	28/1/87	8/7/87	3/8/87	14/8/87	20/1/88	14/8/92	22/3/93	17/8/93
Cota do Reserv.	182,313	182,643	181,905	181,750	181,610	181,063	181,210	181,485	181,290	181,150	182,120	182,437	183,020	183,053	182,516	182,290	181,766	181,650
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	157,887	157,947	158,527	158,577	158,527	157,077	158,565	158,634	158,548	158,503	158,637	158,832	158,688	159,066	158,676	158,674	158,582	158,548
PA 02	148,348	148,538	148,883	149,008	148,773	148,522	148,443	148,850	148,444	148,619	148,809	149,702	149,473	149,998	148,958	148,888	148,928	149,016
PA 03	144,600	144,495	144,930	145,085	144,145	144,585	144,625	144,972	144,516	144,586	144,382	145,028	144,715	145,418	144,445	143,665	143,837	143,756
PA 04	130,495	130,703	130,698	130,693	130,133	130,628	130,710	130,690	130,676	130,674	130,869	130,993	131,103	131,115	130,901	130,753	130,927	130,787
PA 05	145,767	145,799	145,753	145,789	145,779	145,679	145,775	145,781	145,790	145,780	145,948	146,070	146,054	146,234	145,913	145,770	146,956	145,955
PA 06	127,986	127,773	128,698	129,053	128,123	127,023	128,784	129,075	127,931	128,549	128,217	129,730	129,778	130,163	128,477	129,448	128,977	128,843
PA 07	114,065	114,313	115,133	115,203	114,813	114,793	115,643	116,278	115,084	115,447	116,930	118,795	118,908	120,143	117,573	120,943	120,968	121,350
PA 08	113,868	114,064	114,887	114,974	114,909	114,649	115,054	115,836	114,802	115,160	116,338	118,035	118,469	119,789	117,159	120,117	120,117	120,363
PA 09	113,766	114,215	115,303	115,115	114,740	114,870	115,325	116,122	114,949	115,516	116,846	118,792	118,110	121,150	117,600	120,195	120,339	120,427
PA 10	110,405	110,780	111,165	111,090	111,250	110,815	111,146	111,549	110,988	111,138	106,071	106,972	107,055	110,175	106,311	113,675	113,827	113,463
PA 11	105,275	105,310	105,865	105,815	105,550	105,575	105,881	106,097	105,792	105,916	106,071	106,972	107,055	110,175	106,311	106,765	106,409	106,503
PA 12	103,089	103,221	103,546	103,546	103,171	103,171	103,546	103,803	103,324	103,697	103,850	104,849	104,351	105,346	104,331	104,948	104,535	104,569
PA 14	102,843	102,828	102,858	102,828	102,818	102,728	102,838	102,905	102,588	102,766	102,886	103,125	102,888	103,208	102,768	103,017	102,858	102,813
PA 15	102,849	102,839	102,874	102,844	102,809	102,742	102,834	102,906	102,762	102,774	102,796	103,064	102,899	103,159	102,809			102,815
PA 16	102,900	102,893	102,917	102,896	102,883	102,852	102,896	102,931	102,858	102,856	102,868	102,973	102,898	103,000	102,850	102,940	102,880	102,840
PA 17	102,858	102,853	102,873	102,853	102,848	102,806	102,856	102,883	102,820	102,823	102,823	102,898	102,838	102,928	102,823	102,872	102,443	102,848
PA 17A	102,839	102,839	102,848	102,834	102,834	102,799	102,844	102,868	102,809	102,811	102,809	102,879	102,864	102,899	102,791	102,855	102,806	102,777
PA 03A	185,000	185,000	205,000	222,000	198,214	185,000	222,000	231,250	185,000	222,000	185,000	277,500	231,250	326,470	213,461	231,250	213,462	185,000
PA 18	205,555	222,000	227,778	222,000	222,000	222,000	277,500	270,731	222,000	264,286	231,250	370,000	317,143	382,759	277,500	264,286	270,732	292,105
PA 18A	84,091	81,022	77,848	92,500	69,375	61,667	79,284	85,385	62,294	65,680	69,375	94,068	61,667	138,750	43,023	86,719	43,701	47,234
PA 19	26,303	26,747	24,118	25,814	25,576	26,428	27,750	27,206	27,073	26,428	25,814	25,814	24,667	26,428	24,236	26,429	26,429	25,227
PA 19A	27,750	28,462	25,413	31,714	25,000	23,125	27,750	28,101	24,667	24,888	24,130	31,714	24,667	32,276	21,346	26,555	22,289	21,765
PA 20	106,730	108,824	102,500	111,000	105,714	102,778	123,333	119,355	113,265	111,000	111,000	120,652	116,842	123,333	102,778	111,000	109,901	100,909
PA 20A	103,374	103,369	103,389	103,358	103,361	103,353	103,376	103,379	103,376	103,377	103,346	103,348	103,501	103,501	103,336	103,366	103,338	102,878
PA 21	50,454	50,454	45,555	50,454	46,835	46,639	55,500	52,857	48,261	47,234	42,692	44,400	44,400	46,250	41,111	41,111	41,111	
PA 22	104,530	104,530	104,486	104,864	104,280	104,448	104,510	104,547	104,451	104,451	104,415	104,570	104,600	104,770	104,585	104,526	104,479	
PA 23	109,995	109,827	109,872	109,957	109,877	109,898	110,212	110,304	110,248	110,259	110,114	110,225	110,157	110,577	109,987	109,691	109,685	
PA 24	120,977	120,962	120,889	120,712	120,552	120,472	120,414	120,449	120,143	120,028	118,708	118,735	118,782	119,512	118,771	117,946	117,911	
PA 25	1,508	1,342	1,330	2,083	1,190	1,160	1,071	1,250	1,250	1,154	0,263	0,268	0,268	1,500	0,268	0,227	0,190	
PA 26	22,561	22,653	20,164	35,577	21,346	20,556	20,556	21,346	19,892	19,892	15,857	15,634	15,634	15,857	14,800	10,673	9,702	
PA 27	129,876	129,962	129,937	129,902	129,747	129,702	129,952	129,954	129,918	129,985	129,894	130,048	130,093	130,062	130,030	129,889	129,991	
PA 28	133,923	133,978	134,065	134,108	133,998	133,993	134,308	134,618	134,551	134,932	135,100	135,478	135,448	135,759	135,311	135,188	135,269	
PA 29	138,960	139,074	139,582		139,854	139,624	139,909	140,021	139,746	139,943	140,831	141,099	140,061	140,284	140,174	139,746	139,926	
PA 30	151,619	151,703	151,793	151,783	151,793	151,903	152,153	152,230	151,884	151,928	152,223	152,170	152,633	152,728	152,313	152,403	151,339	
PA 31	146,642	147,297	148,357	148,147	148,227	147,902	148,652	149,106	148,273	148,521	150,345	151,024	150,967	151,282	151,827	150,489	151,371	
PA 32	154,428	154,438	154,517	154,508	154,113	154,133	154,113	154,275	154,182	154,333	154,506	154,968	154,683	155,503	155,743	154,263	154,757	
PA 33	163,158	163,143	163,463	163,438	162,418	162,458	162,298	162,570	162,827	163,069	164,489	164,708	164,978	165,225	164,391	164,128		163,394
PA 34	163,781	163,751	164,017	163,911	162,726	163,020	162,576	163,023	163,177	163,567	164,860	165,466	165,486	165,591	165,045	164,736		163,885

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	18/8/93	15/3/94	19/10/94	28/3/95	9/5/96	1/10/96	6/5/09	25/6/09	5/8/09	23/9/09	8/10/09	12/11/09	8/12/09	7/1/10	13/1/10	4/2/10	1/3/10	5/4/10		
Cota do Reserv.	181,845	180,940	182,145	182,855	181,945	183,665	183,210	182,680	182,600	182,750	183,160	181,710	182,740	182,710	182,790	181,250	183,060	183,420		
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)		
PA 01		158,773	158,808	158,808	157,900	159,783	158,428	158,448	158,468	158,458	158,448	158,478	158,428	158,498	158,448	158,438	158,438	158,458		
PA 02		149,155	149,388	149,398	149,366	149,180	148,558	148,608	148,658	148,818	148,878	149,038	149,018	149,268	149,138	148,928	148,638	148,398		
PA 03		143,875	143,930	143,850	143,829	143,595	142,485	142,505	142,656	142,645	142,645	142,825	142,825	143,055	142,895	142,665	142,725	142,705		
PA 04		130,906	130,953	130,933	131,291	130,870	130,403	130,933	130,923	130,843	130,823	130,763	130,793	131,403	131,203	129,963	129,203	129,553		
PA 05		145,982	146,079	145,964	146,061	145,919	145,639	145,689	145,679	145,619	145,689	145,689	145,689	145,659	145,619	145,669	145,689	145,669		
PA 06		129,243	129,833	129,438	130,244	129,558	129,653	130,793	130,563	130,853	131,253	131,003	131,273	131,913	131,393	129,053	128,813	127,763		
PA 07		121,273	122,217	121,223	121,500	121,500	122,143	122,963	122,753	122,113	122,153	122,463	122,583	123,193	120,433	122,333	121,273			
PA 08		121,126	123,369	120,649	120,714	121,139	121,209	121,799	121,869	121,629	121,719	122,069	122,009	122,749	121,849	119,979	121,819	120,749		
PA 09		120,560	121,360	121,565	120,939	121,185	121,210	121,800	121,890	121,690	121,750	122,090	122,070	122,850	121,930	120,030	122,070	120,880		
PA 10		113,658	114,500	113,955	114,360	114,535	111,355	111,735	111,925	111,345	111,935	111,665	111,365	111,725	111,445	110,975	111,455	111,205		
PA 11		106,445	106,695	106,460	106,475	106,595	108,925	108,855	109,835	108,815	109,895	108,785	108,835	108,785	109,205	109,375	109,245	109,335		
PA 12		104,476	105,066	104,571	104,463	104,751	104,421	105,171	104,731	105,101	105,131	105,021	104,821	104,921	104,831	104,241	104,411	104,371		
PA 14		102,938	102,849	102,823	102,738	102,858	102,948	103,088	102,978	103,058	103,088	103,068	103,038	102,978	102,938	102,998	102,868	102,858		
PA 15		102,849	102,923	102,833	102,839	102,839	102,959	103,079	102,969	103,049	103,069	103,049	103,079	103,089	103,069	102,989	102,869	102,879		
PA 16		102,875	102,905	102,863	102,853	102,923	102,948	103,048	102,948	102,968	102,978	102,988	103,078	102,988	102,978	102,948	102,868	102,878		
PA 17		102,825	102,850	102,821	102,812	102,843	102,898	102,938	102,898	102,918	102,928	102,918	102,938	102,938	102,928	102,928	102,848	102,858		
PA 17A		102,799	102,830	102,808	102,814	102,834	102,894	102,924	102,884	102,904	102,904	102,894	102,914	102,914	102,904	102,914	102,874	102,884		
PA 03A		170,769	191,379	198,000	163,24	177,60	156,00	160,00	150,00	152,00	136,00	159,99	150,00	127,11	158,26	138,74	104,91	105,69		
PA 18		231,250	226,531	237,600	236,17	219,80	193,50	246,00	210,00	163,99	220,75	180,44	171,43	193,90	188,89	182,42	158,40	175,78		
PA 18A		39,362	27,750	29,700	27,75	46,15	6,00	30,00	11,25	19,20	22,35	20,00	20,34	26,26	19,48	7,20	0,00	0,00		
PA 19		25,227	25,170	26,400	25,23	24,53	24,00	24,00	25,50	21,31	21,20	20,34	24,00	22,30	21,82	21,54	24,00	22,56		
PA 19A		21,980	20,036	19,800	20,18	23,10	13,71	13,20	15,00	14,18	16,17	14,15	15,00	16,55	16,69	12,00	9,24	8,34		
PA 20		99,107	100,909	99,000	100,91	100,91	DRENO DANIFICADO													
PA 20A		103,338	103,326	103,336	103,328	103,338	103,201	103,251	103,201	103,221	103,221	103,201	103,221	103,211	103,221	103,201	103,191	103,201		
PA 21		39,643	40,364	39,502	51,652	39,643	38,276	31,999	32,000	32,280	29,126	28,037	30,000	28,000	28,037	27,713	24,910	20,202		
PA 22		104,479	104,440	104,470	104,500	104,405	104,220	104,170	101,180	104,170	104,160	104,160	104,130	104,160	104,160	104,160	100,020	104,060		
PA 23		109,564	109,559	109,467	109,577	109,192	109,207	109,547	109,537	109,597	109,607	109,497	109,627	109,577	109,717	109,627	109,617	109,587		
PA 24		118,089	117,827	117,817	117,792	117,681	117,782	117,722	117,802	117,882	118,362	118,452	117,862	118,512	118,202	118,292	118,132	118,252		
PA 25		0,130	0,170	0,160	0,146	0,138	127,189	0,110	0,180	0,190	0,162	0,180	0,144	0,168	0,144	0,151	0,144	127,159		
PA 26		12,092	9,328	10,571	8,800	8,346	7,817	9,600	9,818	9,990	8,571	8,438	7,800	7,999	8,379	9,000	7,800	9,999		
PA 27		129,999	129,974	129,987	130,023	129,925	129,932	130,072	130,102	130,152	130,022	130,102	129,982	130,002	129,962	129,962	130,042	130,012		
PA 28		135,272	135,244	135,198	135,298	135,085	135,058	135,018	135,048	135,108	135,358	135,388	135,398	135,398	135,408	135,398	134,948	134,288		
PA 29		140,181	140,029	139,994	139,954	139,513	139,622	138,244	138,324	138,284	138,554	138,614	138,604	138,734	138,844	138,434	138,154	137,944		
PA 30		151,530	151,413	151,743	151,880	151,523	151,313	151,933	151,913	151,823	151,993	152,013	152,013	152,023	152,093	151,973	151,913	151,863		
PA 31		151,421	151,471	151,397	151,212	151,117	151,616	150,947	151,097	151,127	151,237	151,227	151,087	151,107	151,237	150,677	150,827	150,637		
PA 32		154,961	155,136	155,063	154,675	154,751	155,048	152,363	152,333	153,333	152,353	152,413	152,403	151,453	152,563	152,583	152,383	152,253		
PA 33		163,803	163,675	163,858	163,962	163,511	163,963	163,138	163,118	163,078	162,918	163,018	163,018	163,148	163,418	163,508	163,388	161,568		
PA 34		164,311	164,338	164,421	164,481	163,841	164,471	163,476	163,406	163,386	163,176	163,276	163,326	163,456	163,806	163,886	163,776	162,586		

LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	3/5/10	1/6/10	1/7/10	9/8/10	1/9/10	5/10/10	5/11/10	1/12/10	4/1/11	9/2/11	17/3/11	1/4/11	5/5/11	6/6/11	4/7/11	3/8/11	6/9/11	
Cota do Reserv.	182,790	181,570	182,730	183,540	180,380	182,750	181,990	182,320	183,420	182,660	181,740	183,390	183,300	182,820	182,850	182,770	181,960	
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	
PA 01	158,478	158,448	158,478	158,468	158,428	158,428	158,478	158,448	158,448	158,448	158,443	158,458	158,448	158,458	165,448	165,448	158,238	158,188
PA 02	148,528	148,468	148,608	148,588	148,438	148,618	148,558	148,538	148,468	148,548	148,548	148,518	148,498	148,508	148,088	148,398	148,208	
PA 03	142,765	142,725	142,805	142,805	142,705	142,805	142,815	142,775	142,725	142,775	142,785	142,775	142,705	142,725	142,235	142,485	142,255	
PA 04	130,003	129,303	130,133	130,203	130,243	130,273	130,213	130,243	130,263	130,241	130,253	130,243	130,273	130,253	129,793	129,943	129,743	
PA 05	145,649	145,699	145,699	145,679	145,679	145,709	145,689	145,699	145,679	145,691	145,699	145,699	145,699	145,679	145,689	145,539	145,539	
PA 06	129,993	128,393	129,173	129,273	128,093	129,233	129,233	128,853	129,993	129,793	129,593	129,793	129,433	129,693	129,303	131,173	128,963	
PA 07	121,933	121,783	122,983	122,813	121,883	122,963	122,933	122,593	122,533	122,183	122,613	122,613	122,703	122,693	122,783	123,933	122,153	
PA 08	121,299	120,599	122,219	121,949	121,079	122,069	122,119	121,759	121,679	121,939	121,949	121,919	121,749	121,749	121,829	123,359	121,419	
PA 09	121,420	121,300	122,370	121,960	121,120	122,090	122,160	121,790	121,730	121,870	121,970	122,570	121,780	122,370	121,910	123,480	121,480	
PA 10	111,235	111,335	111,685	111,775	111,485	111,305	111,465	111,425	111,365	111,425	111,565	111,535	111,535	111,505	111,605	112,575	112,095	
PA 11	109,335	109,155	109,065	109,335	109,395	109,465	109,535	109,465	109,635	109,525	109,335	109,435	109,855	109,535	109,865	109,015	109,985	
PA 12	98,291	100,371	98,521	104,501	104,151	104,301	104,411	104,291	104,291	104,341	104,321	104,321	104,381	104,411	104,521	104,851	104,591	
PA 14	102,858	102,838	102,988	102,918	102,808	102,848	102,868	102,848	102,838	102,842	102,948	102,938	102,848	102,988	102,938	103,028	102,938	
PA 15	102,879	102,849	102,989	102,919	102,819	102,859	102,879	102,859	102,849	102,859	102,849	102,849	102,849	102,859	102,939	103,019	102,939	
PA 16	102,878	102,868	102,928	102,898	102,828	102,868	102,848	102,848	102,848	102,838	102,828	102,838	102,858	102,848	102,898	102,888	102,898	
PA 17	102,858	102,818	102,908	102,868	102,818	102,828	102,828	102,828	102,838	102,848	102,828	102,828	102,848	102,838	102,858	102,888	102,868	
PA 17A	102,854	102,844	102,924	102,864	102,814	102,844	102,834	102,834	102,834	102,839	102,844	102,834	102,844	102,844	102,844	102,844	102,854	
PA 03A	106,74	101,31	155,04	114,52	81,22	95,86	90,00	89,02	95,81	98,00	93,74	98,33	97,64	99,31	126,64	130,75	114,58	
PA 18	140,06	158,42	206,57	165,49	138,88	141,29	147,84	142,67	145,41	142,30	143,90	142,61	157,89	149,53	171,97	180,00	162,45	
PA 18A	0,00	0,00	0,00	0,00	60,38	66,83	62,50	63,24	63,43	63,00	63,79	63,30	75,00	64,32	52,83	105,60	85,26	
PA 19	20,17	23,39	25,97	23,30	18,90	23,26	20,30	20,82	20,83	20,64	21,17	19,94	21,64	20,62	21,22	21,55	20,00	
PA 19A	8,82	8,66	15,04	11,33	3,48	4,00	2,89	3,46	5,00	4,68	4,01	4,23	7,11	4,33	9,60	12,79	8,40	
PA 20																		
PA 20A	103,201	103,191	103,221	103,201	103,101	103,111	103,121	103,111	103,201	103,186	103,211	103,221	103,181	103,191	103,161	103,171	103,141	
PA 21	20,100	19,543	23,032	20,618	15,267	19,769	14,888	16,642	17,142	16,892	17,066	16,425	19,077	18,710	18,212	19,900	17,142	
PA 22	104,020	104,040	104,040	104,020	103,990	104,000	104,000	104,000	104,010	104,010	104,260	104,170	104,010	104,010	103,990	103,990	103,960	
PA 23	109,647	109,617	109,657	109,557	109,507	109,527	109,547	109,527	109,517	109,527	109,637	109,667	109,617	109,667	109,547	109,577	109,477	
PA 24	118,462	117,572	117,572	118,432	118,182	118,262	118,272	118,242	117,752	118,152	117,872	118,042	118,022	118,172	118,002	118,352	117,732	
PA 25	128,239	127,039	128,239	128,239	126,979	127,039	126,989	127,009	126,969	126,967	127,249	127,349	127,009	127,189	126,969	126,999	126,939	
PA 26	9,460	11,516	10,909	9,592	9,120	9,230	9,180	9,170	9,230	9,126	9,186	9,190	9,892	9,632	10,200	9,600	8,400	
PA 27	130,032	130,022	130,092	130,062	129,972	130,042	130,062	130,032	130,062	130,082	130,062	130,062	130,092	130,062	130,042	130,062	129,972	
PA 28	134,468	134,368	134,858	134,638	134,368	134,598	134,598	134,522	134,748	134,678	134,598	134,598	134,768	134,708	134,798	135,468	135,068	
PA 29	138,094	138,054	138,254	138,224	138,004	138,264	138,274	138,181	138,144	138,504	138,404	138,444	138,044	138,304	137,984	138,384	138,174	
PA 30	151,883	151,863	151,973	151,943	151,833	151,913	151,873	151,793	151,793	151,853	151,923	151,913	151,913	151,803	151,753	151,973	151,823	
PA 31	150,637	144,437	144,987	144,557	150,447	150,587	150,557	150,537	150,467	150,737	150,637	150,487	150,477	150,537	150,417	151,077	150,547	
PA 32	152,253	146,083	152,393	152,393	152,153	152,283	152,363	152,267	152,123	152,243	152,953	152,353	152,133	152,043	151,753	152,023	151,803	
PA 33	162,548	162,846	162,888	163,018	162,778	162,868	162,828	162,825	162,378	162,718	162,968	163,018	162,618	162,868	162,168	162,438	162,358	
PA 34	162,756	162,846	163,146	163,276	163,036	163,116	163,096	163,086	162,566	162,756	162,976	163,026	162,816	162,986	162,306	162,586	162,536	

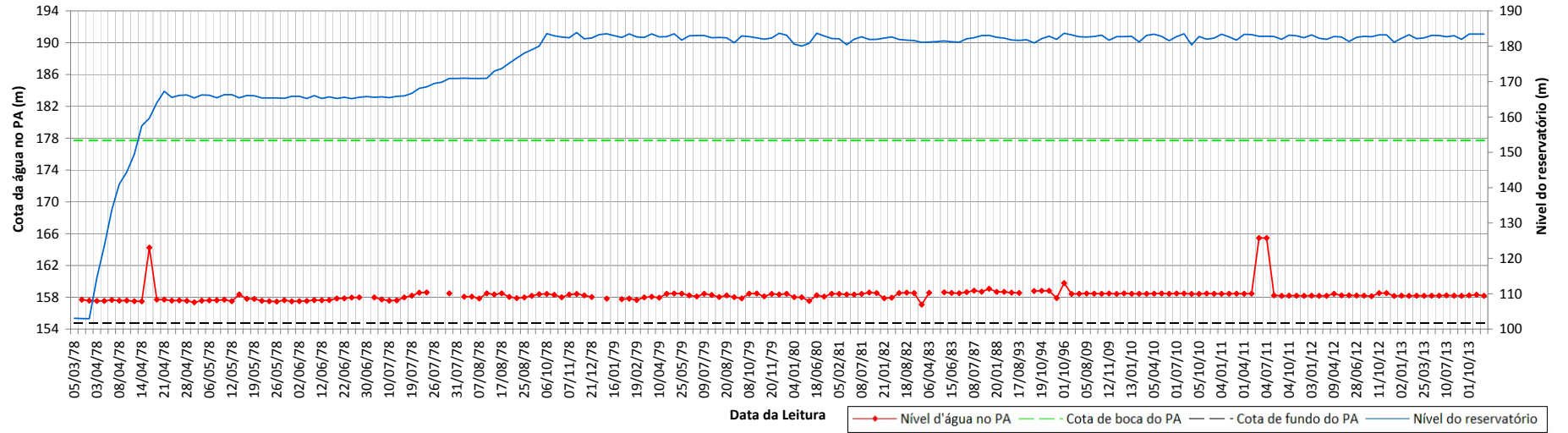
LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	4/10/11	7/11/11	7/12/11	3/1/12	7/2/12	8/3/12	9/4/12	3/5/12	4/6/12	28/6/12	27/7/12	31/8/12	11/10/12	6/11/12
Cota do Reserv.	183,150	182,940	182,420	183,230	182,250	181,950	182,750	182,600	181,340	182,540	182,790	182,700	183,210	183,210
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	158,208	158,198	158,188	158,208	158,188	158,178	158,448	158,228	158,228	158,218	158,198	158,138	158,528	158,528
PA 02	148,148	148,208	148,118	148,218	148,128	148,028	148,158	148,058	148,108	147,998	148,028	148,088	148,578	148,438
PA 03	142,235	142,265	142,215	142,295	142,295	142,155	142,225	143,225	143,175	142,145	142,155	142,225	142,995	142,645
PA 04	129,803	129,803	129,803	129,623	129,793	129,843	129,903	129,903	129,903	129,873	129,813	129,863	130,583	130,293
PA 05	145,539	145,529	145,539	145,539	145,589	145,549	145,519	145,569	145,619	145,559	145,539	145,539	145,699	145,699
PA 06	129,113	129,033	129,023	129,463	129,343	128,973	128,943	128,963	128,943	129,093	129,033	129,543	130,293	129,393
PA 07	122,083	122,203	121,873	122,453	121,663	121,543	121,833	121,733	121,633	121,933	121,833	122,273	123,933	122,253
PA 08	121,299	121,119	121,149	121,669	120,959	120,869	121,119	120,869	121,119	121,209	120,999	121,279	123,349	121,499
PA 09	121,360	121,460	121,220	121,800	121,030	120,950	121,220	120,970	120,970	120,850	121,070	121,320	123,270	121,480
PA 10	116,085	111,765	111,705	112,845	111,755	111,775	111,665	111,765	111,865	111,735	111,445	111,965	112,665	111,505
PA 11	109,975	109,805	109,985	109,755	109,935	109,975	110,035	110,035	110,005	110,015	109,965	109,845	109,285	109,895
PA 12	104,571	105,351	104,241	104,721	104,281	104,301	104,371	104,321	104,421	104,451	104,431	104,471	104,931	104,451
PA 14	102,908	102,858	102,818	102,918	102,838	102,818	102,838	102,838	102,828	102,868	102,838	102,858	103,078	102,838
PA 15	102,909	102,859	102,839	102,919	102,849	102,839	102,839	102,839	102,839	102,859	102,849	102,869	103,009	102,819
PA 16	102,888	102,858	102,848	102,878	102,848	102,858	102,848	102,898	102,868	102,868	102,878	102,868	102,898	102,858
PA 17	102,858	102,838	102,828	102,858	102,838	102,838	102,818	102,818	102,828	102,848	102,818	102,838	102,838	102,838
PA 17A	102,854	102,844	102,824	102,854	102,854	102,824	102,844	102,844	102,844	102,844	102,834	102,844	102,844	102,844
PA 03A	118,42	100,00	92,49	111,25	100,00	92,31	96,00	107,87	109,09	85,71	82,87	84,51	116,50	94,08
PA 18	167,21	138,80	175,53	164,80	150,00	141,62	168,45	160,00	140,00	136,02	142,86	157,48	158,73	130,81
PA 18A	82,47	135,14	72,07	96,11	75,00	71,52	71,11	85,44	82,76	54,00	54,00	60,00	92,88	55,20
PA 19	22,43	20,83	20,73	21,11	22,80	23,40	21,05	23,86	19,51	19,50	18,60	18,60	22,80	22,80
PA 19A	7,68	6,00	6,99	8,37	4,80	5,40	6,67	7,50	9,00	6,30	6,00	5,45	12,00	4,80
PA 20														
PA 20A	103,141	103,131	103,131	103,151	102,991	103,001	103,101	103,001	103,051	103,111	103,131	103,091	103,121	103,121
PA 21	17,142	15,384	18,461	17,601	15,600	15,600	17,647	18,000	17,400	17,400	16,800	18,000	18,000	15,900
PA 22	103,970	103,960	103,960	103,970	103,960	103,960	104,010	103,960	103,960	103,980	103,990	103,990	104,000	104,020
PA 23	109,487	109,477	109,467	109,497	109,467	109,457	109,417	109,467	109,517	109,537	109,497	109,557	109,557	109,557
PA 24	117,772	117,722	117,592	117,842	119,652	117,592	117,972	117,672	117,872	117,692	117,752	117,802	118,122	118,142
PA 25	127,019	127,019	127,009	126,999	127,039	126,969	126,989	126,989	127,009	127,029	127,029	127,019	127,009	127,049
PA 26	9,960	9,480	7,343	8,957	10,800	8,700	7,333	7,200	7,800	9,000	10,200	12,000	10,800	9,000
PA 27	129,962	129,962	129,972	129,992	129,992	129,962	130,012	129,962	130,162	130,012	130,012	130,022	129,972	130,052
PA 28	134,898	134,898	134,838	135,038	134,838	134,798	134,818	134,798	134,798	134,738	134,808	134,848	135,018	134,888
PA 29	138,124	138,154	138,154	138,204	138,054	138,014	138,204	138,254	138,204	137,844	137,894	138,044	138,294	138,124
PA 30	151,793	151,793	151,743	151,803	151,803	151,733	151,713	151,763	151,813	151,583	151,663	151,693	151,963	151,673
PA 31	150,467	150,397	150,377	150,577	150,457	150,367	150,437	150,387	150,437	150,287	150,337	150,407	151,217	150,617
PA 32	151,773	151,813	152,003	151,883	151,853	151,703	152,003	151,973	151,853	151,423	151,653	151,753	152,173	151,943
PA 33	162,128	162,298	162,108	162,268	162,568	162,268	162,118	162,218	162,318	161,838	162,278	162,618	163,668	162,458
PA 34	162,256	162,446	162,256	162,416	162,766	162,426	162,226	162,476	162,476	161,936	162,476	162,816	163,076	162,636

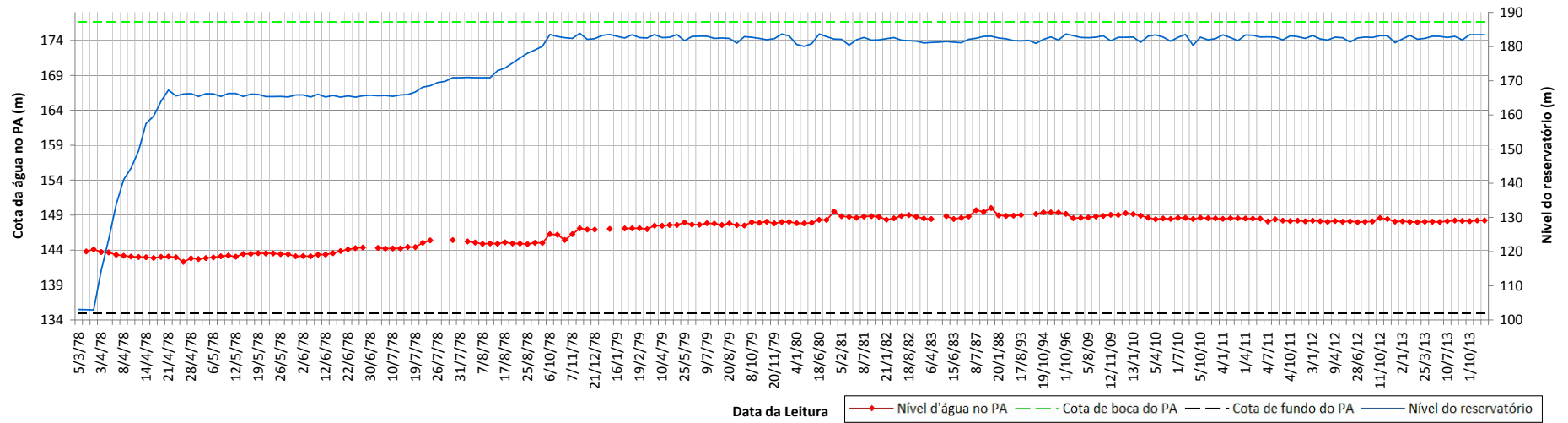
LEITURA DOS POÇOS DE ALÍVIO DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data da Leitura	30/11/12	2/1/13	4/2/13	6/3/13	25/3/13	2/5/13	3/6/13	10/7/13	1/8/13	5/9/13	1/10/13	29/10/13	4/12/13
Cota do Reserv.	181,140	182,260	183,260	182,160	182,400	183,060	183,020	182,700	183,000	181,980	183,460	183,460	183,460
Nome do Dreno	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)	Cota (m) ou Vazão (l/min)
PA 01	158,168	158,208	158,178	158,198	158,178	158,198	158,208	158,228	158,208	158,178	158,238	158,318	158,178
PA 02	148,068	148,118	148,038	147,988	148,048	148,058	148,018	148,138	148,228	148,168	148,128	148,238	148,238
PA 03	142,165	142,215	142,105	142,145	142,075	142,175	142,155	142,245	142,245	142,215	142,295	142,285	142,315
PA 04	129,803	129,963	129,733	129,853	129,753	129,943	129,873	130,103	129,723	129,653	129,863	130,103	129,843
PA 05	145,519	145,549	146,569	145,539	145,539	145,549	145,519	145,529	145,529	145,509	145,529	145,529	145,539
PA 06	129,053	129,993	128,993	129,043	128,893	129,493	130,233	130,703	130,233	129,993	130,193	130,353	130,003
PA 07	121,933	122,783	121,993	121,933	122,293	122,443	122,963	123,873	123,023	122,943	123,283	123,433	122,853
PA 08	121,269	122,139	121,369	121,349	121,679	120,819	122,159	122,819	122,119	122,599	122,609	122,779	122,739
PA 09	121,430	122,220	121,490	121,440	121,780	122,020	122,240	122,700	122,250	122,690	122,700	122,880	122,330
PA 10	111,335	111,685	111,265	111,235	111,275	111,315	111,605	112,115	112,065	111,685	111,585	111,875	112,385
PA 11	109,395	109,255	109,705	109,795	109,955	109,955	109,965	110,095	110,025	109,985	109,845	109,885	109,895
PA 12	104,461	104,761	104,291	104,321	102,371	104,371	104,711	104,961	104,591	104,571	104,621	104,791	104,531
PA 14	102,838	102,948	102,778	102,768	102,808	102,838	102,918	103,018	102,878	102,928	102,888	102,928	102,868
PA 15	102,849	102,969	102,789	102,789	102,829	102,809	102,929	102,999	102,889	102,909	102,879	102,949	102,889
PA 16	102,848	102,888	102,808	102,798	102,848	102,808	102,848	102,908	102,888	102,888	102,898	102,898	102,888
PA 17	102,848	102,848	102,788	102,828	102,828	102,798	102,818	102,888	102,858	102,868	102,858	102,878	102,858
PA 17A	102,824	102,844	102,774	102,824	102,804	102,804	102,864	102,894	102,864	102,864	102,854	102,864	102,854
PA 03A	90,00	124,14	89,40	90,000	76,814	75,104	94,903	141,360	100,370	112,500	88,960	119,205	95,070
PA 18	122,73	168,75	156,98	122,727	135,000	140,625	142,850	207,690	160,230	152,540	145,940	148,350	155,620
PA 18A	63,16	78,26	54,00	63,158	48,000	39,600	60,000	84,500	75,100	75,630	64,740	79,060	59,150
PA 19	21,00	24,00	21,60	21,000	19,200	18,000	18,000	24,090	24,000	25,000	24,000	22,800	24,000
PA 19A	6,00	10,50	5,40	6,000	3,000	1,800	6,000	7,200	14,400	15,620	12,000	13,200	12,900
PA 20								180,000	83,070	84,900	75,840	79,600	83,980
PA 20A	103,131	103,121	103,131	103,071	103,101	103,101	103,121	103,131	103,331	103,321	103,321	103,331	103,341
PA 21	15,900	18,000	15,000	15,900	13,500	13,500	15,000	16,500	24,000	21,870	24,000	24,000	22,500
PA 22	103,970	104,000	103,980	103,970	103,970	103,990	103,900	104,010	104,060	103,990	104,050	104,000	103,980
PA 23	109,507	109,547	109,507	109,517	109,497	109,527	109,417	109,467	109,497	109,547	109,597	109,477	109,467
PA 24	118,022	118,102	118,072	117,922	118,072	118,052	118,192	117,732	117,792	118,042	117,992	118,022	117,832
PA 25	127,009	127,029	127,009	127,019	127,009	127,019	127,019	127,009	126,979	127,009	127,019	126,989	127,029
PA 26	9,300	9,900	7,500	9,300	9,000	8,400	8,700	9,900	9,600	9,370	9,000	7,800	9,300
PA 27	130,002	129,992	129,942	129,962	129,972	129,932	129,962	130,012	129,982	129,992	130,092	129,992	129,992
PA 28	134,778	134,908	135,788	134,788	134,758	134,788	137,798	134,878	134,848	134,818	134,958	132,858	134,898
PA 29	137,974	138,104	137,954	137,944	137,954	138,004	138,004	138,054	138,054	138,044	138,164	138,134	138,024
PA 30	151,543	151,683	151,623	151,543	151,593	151,563	151,583	151,883	151,713	151,693	151,723	151,703	151,793
PA 31	150,477	150,677	150,437	150,287	147,227	150,337	150,377	150,787	150,497	150,567	150,627	150,587	150,537
PA 32	151,533	151,673	151,583	151,453	151,423	151,543	151,503	152,063	151,723	151,663	152,023	151,813	151,823
PA 33	162,008	162,068	162,268	161,798	161,638	161,938	162,008	162,618	162,518	162,398	162,618	162,678	162,718
PA 34	162,126	162,186	162,396	161,876	161,696	161,986	162,156	162,776	162,686	162,556	162,816	162,836	162,826

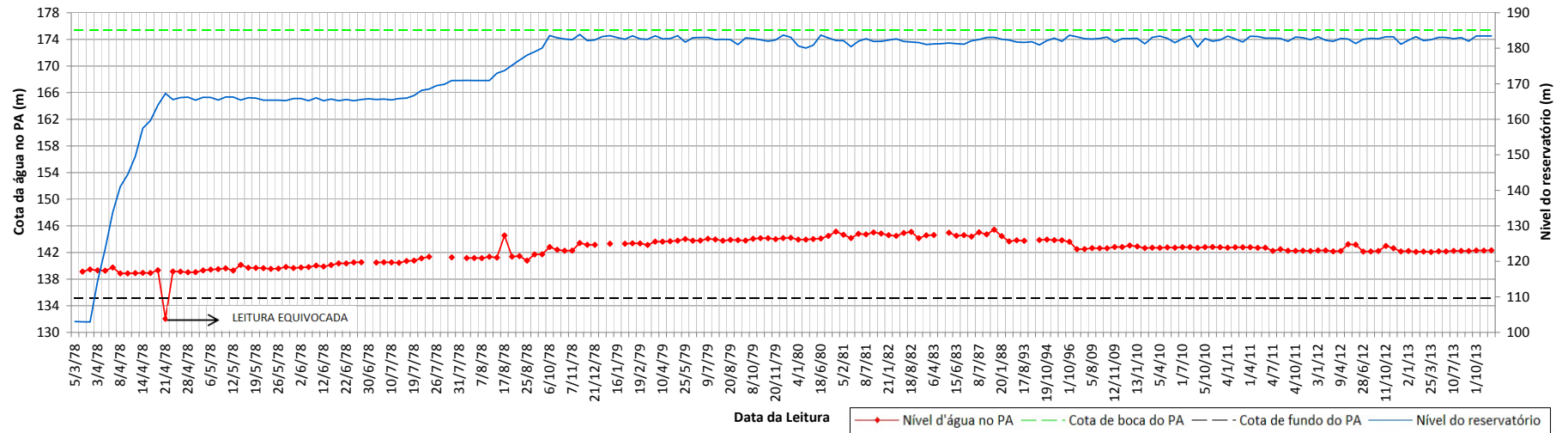
Poço de Alívio (PA - 1)



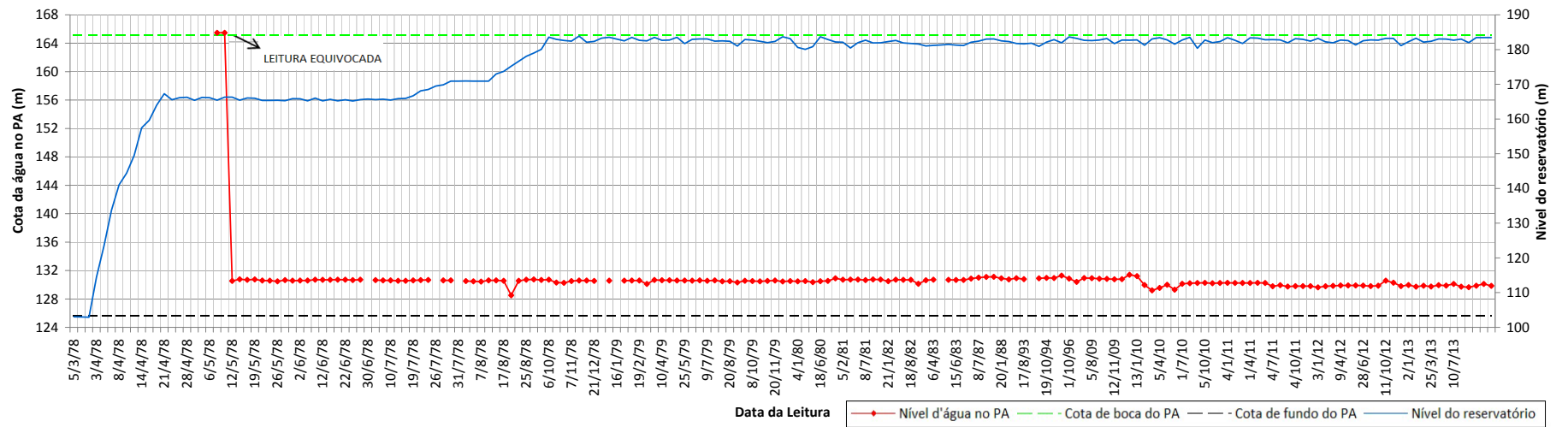
Poço de Alívio (PA - 2)



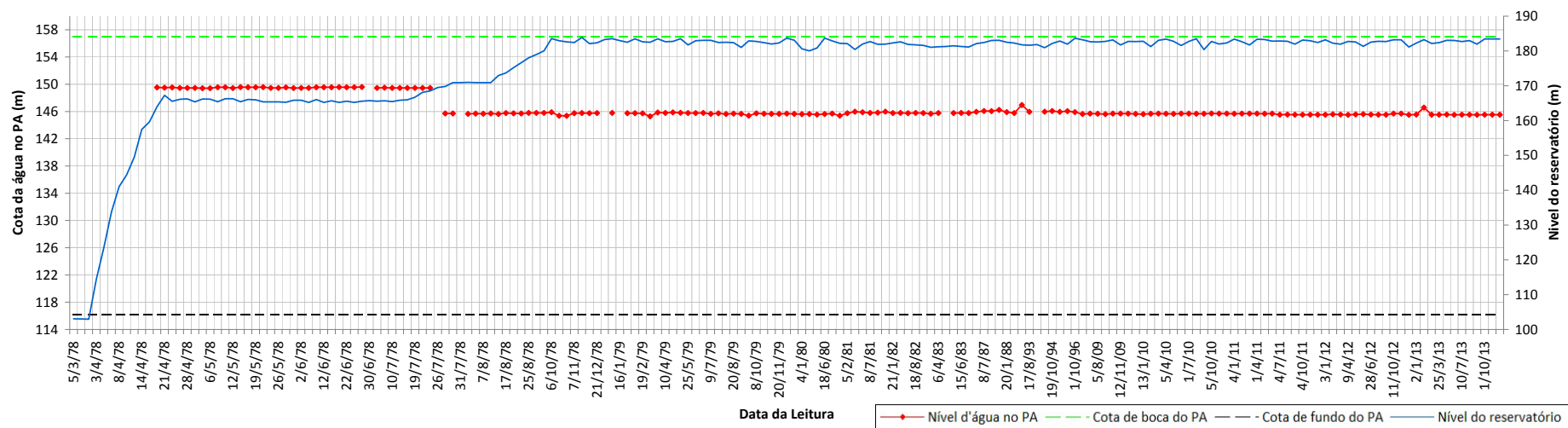
Poço de Alívio (PA - 3)



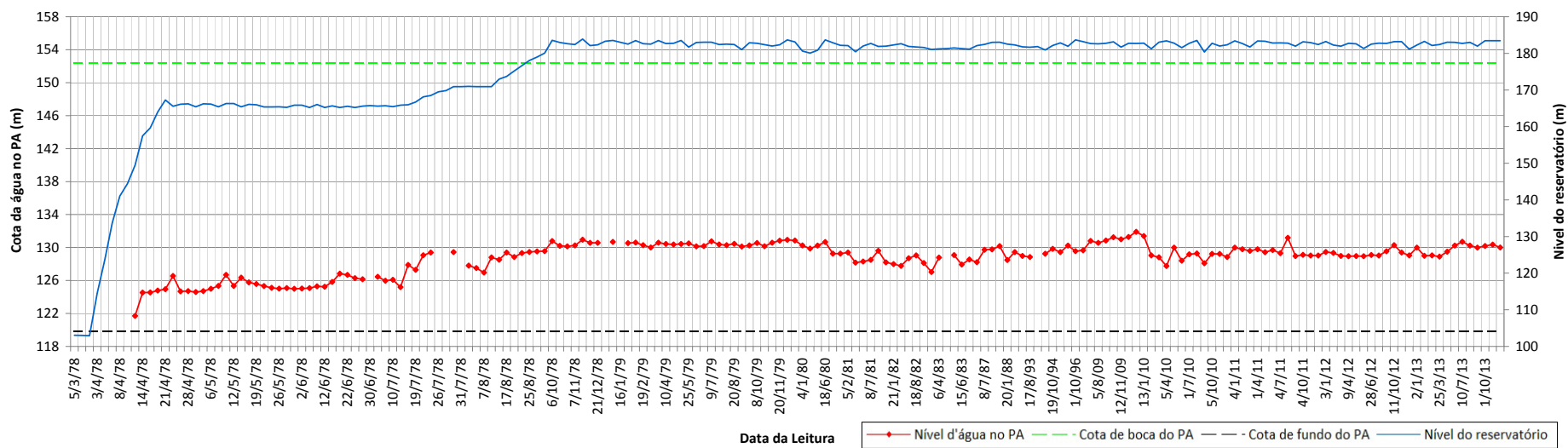
Poço de Alívio (PA - 4)



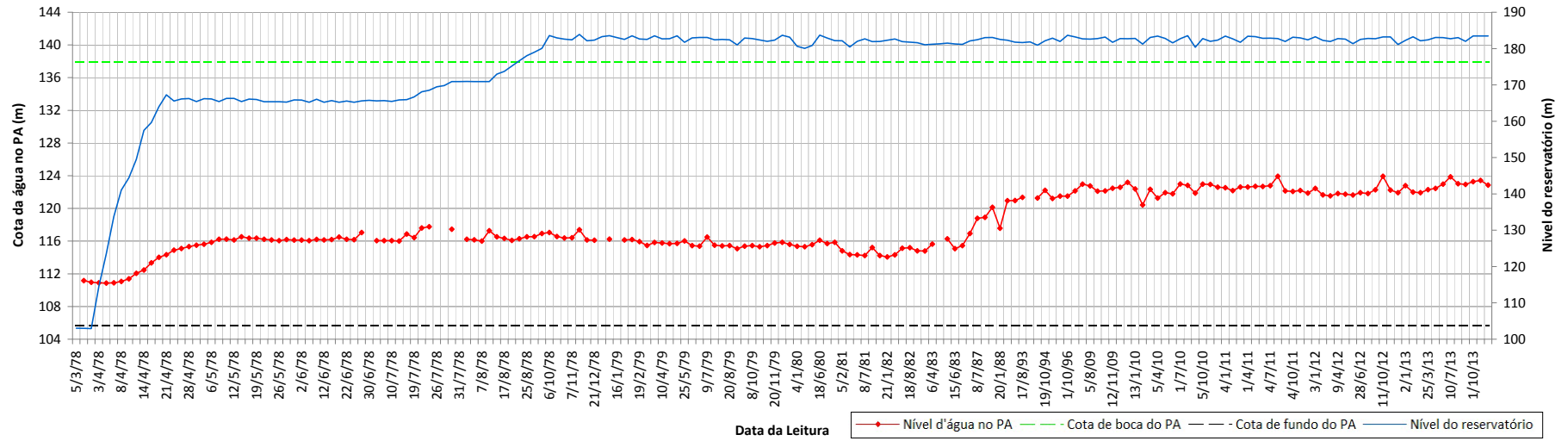
Poço de Alívio (PA - 5)



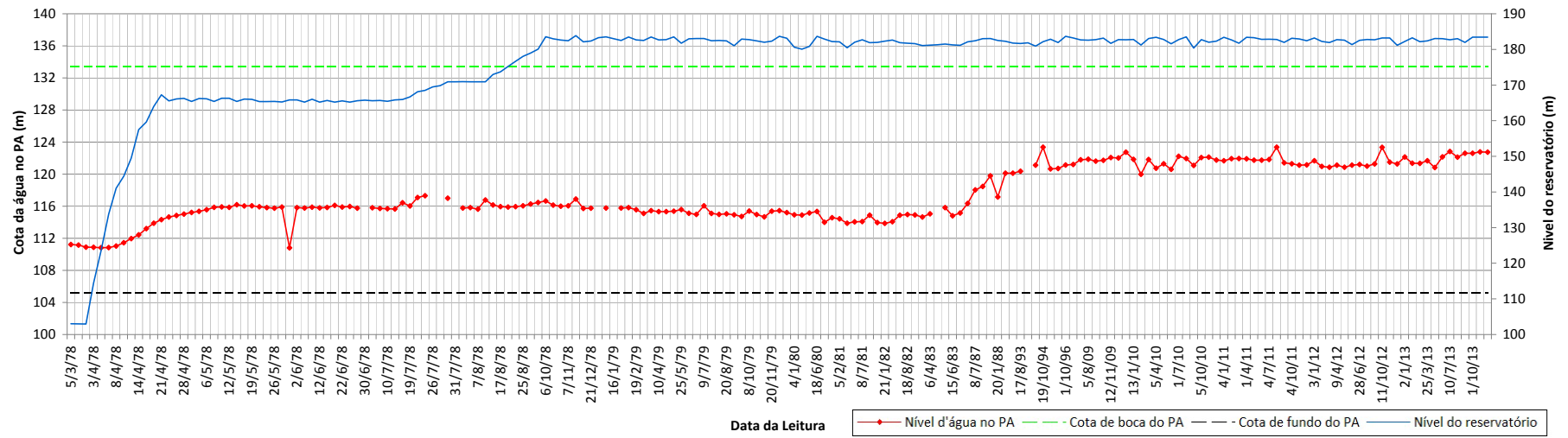
Poço de Alívio (PA - 6)



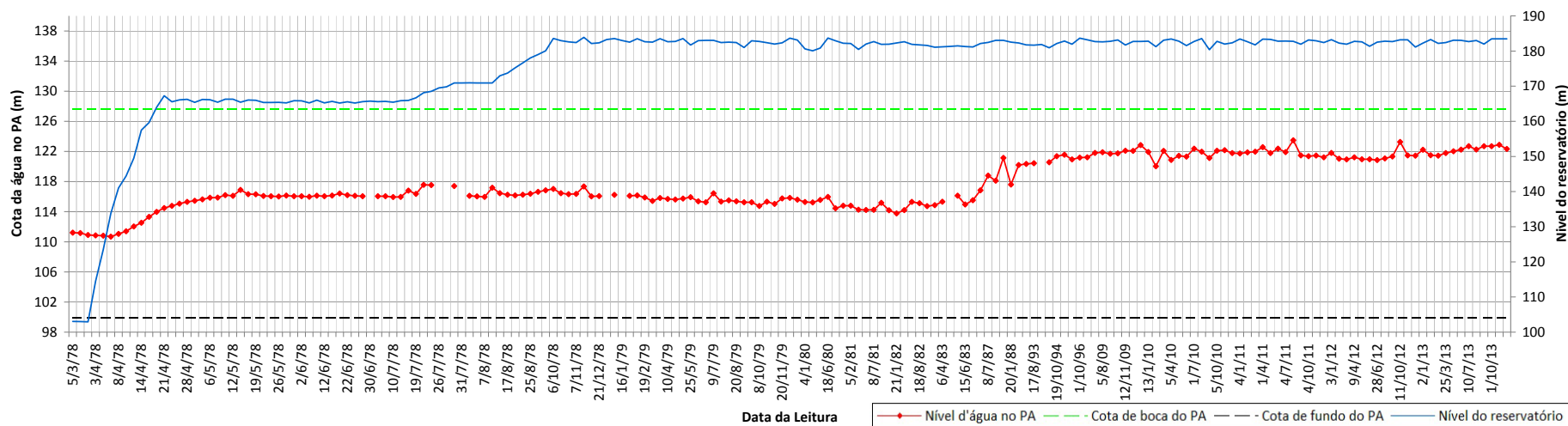
Poço de Alívio (PA - 7)



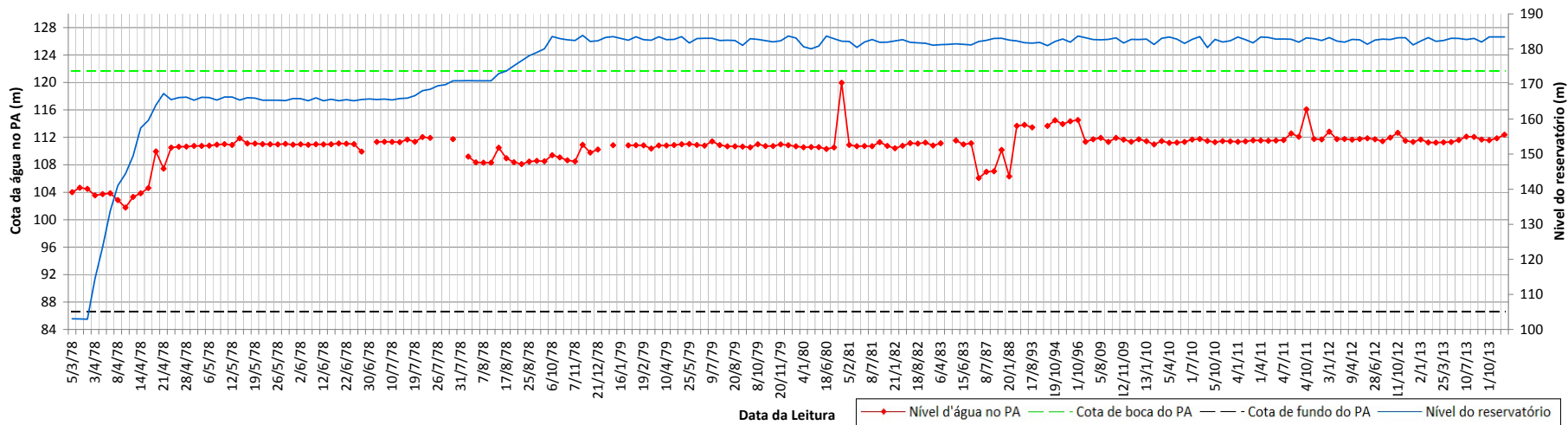
Poço de Alívio (PA - 8)



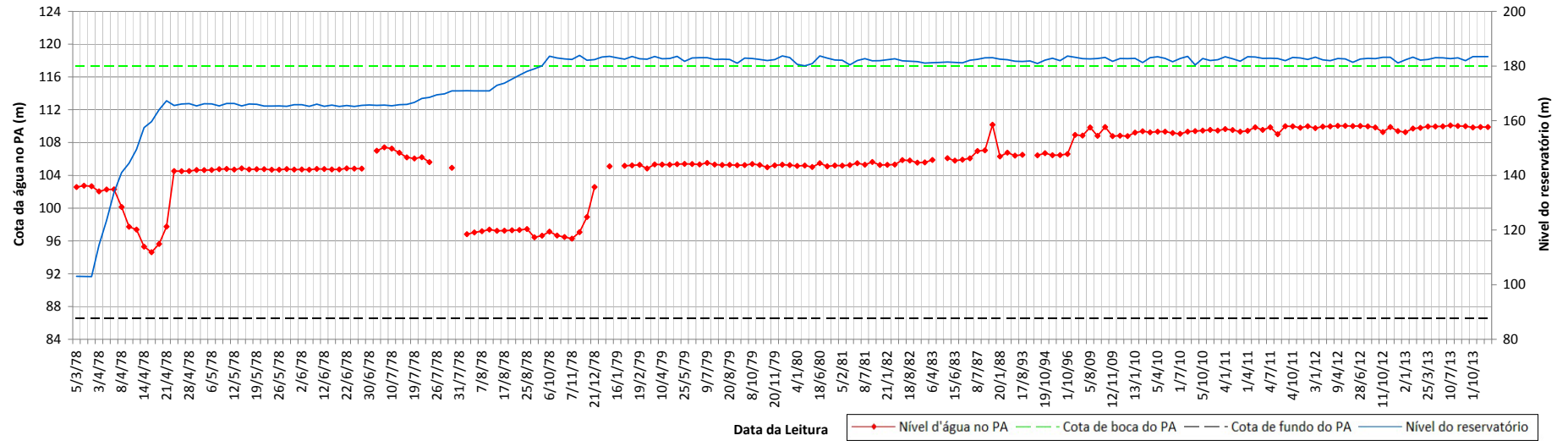
Poço de Alívio (PA - 9)



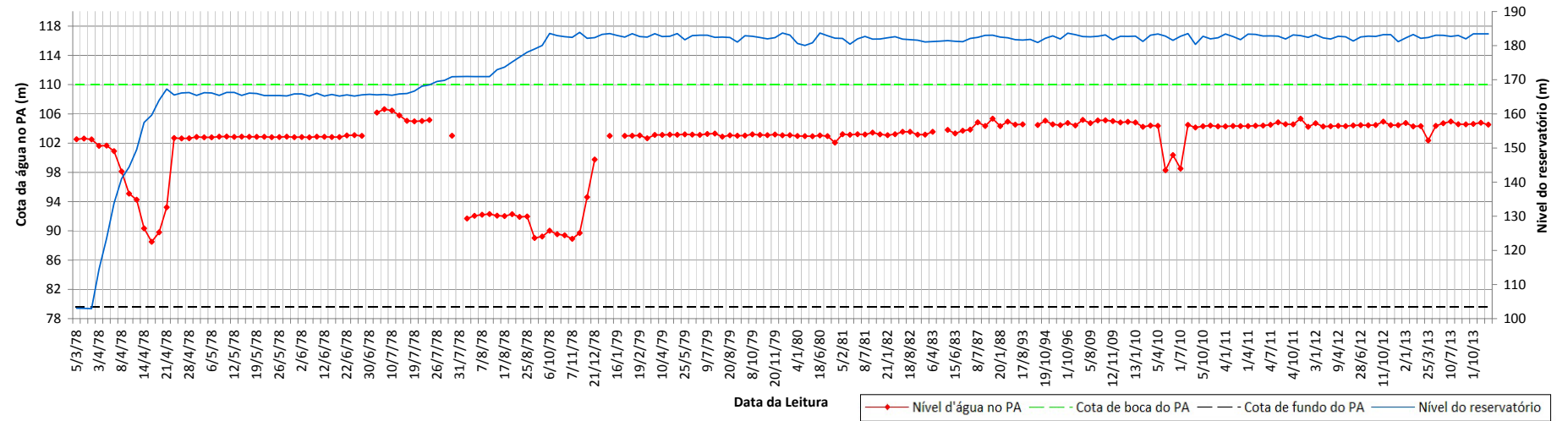
Poço de Alívio (PA - 10)



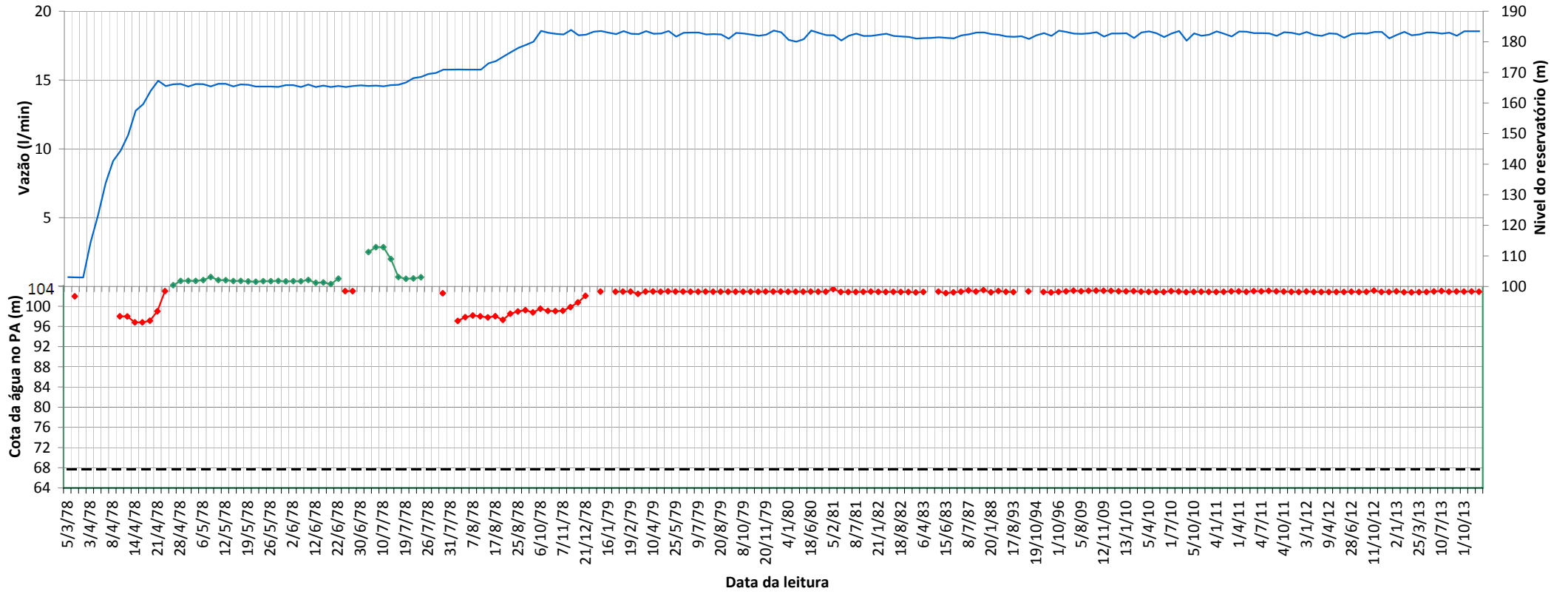
Poço de Alívio (PA - 11)



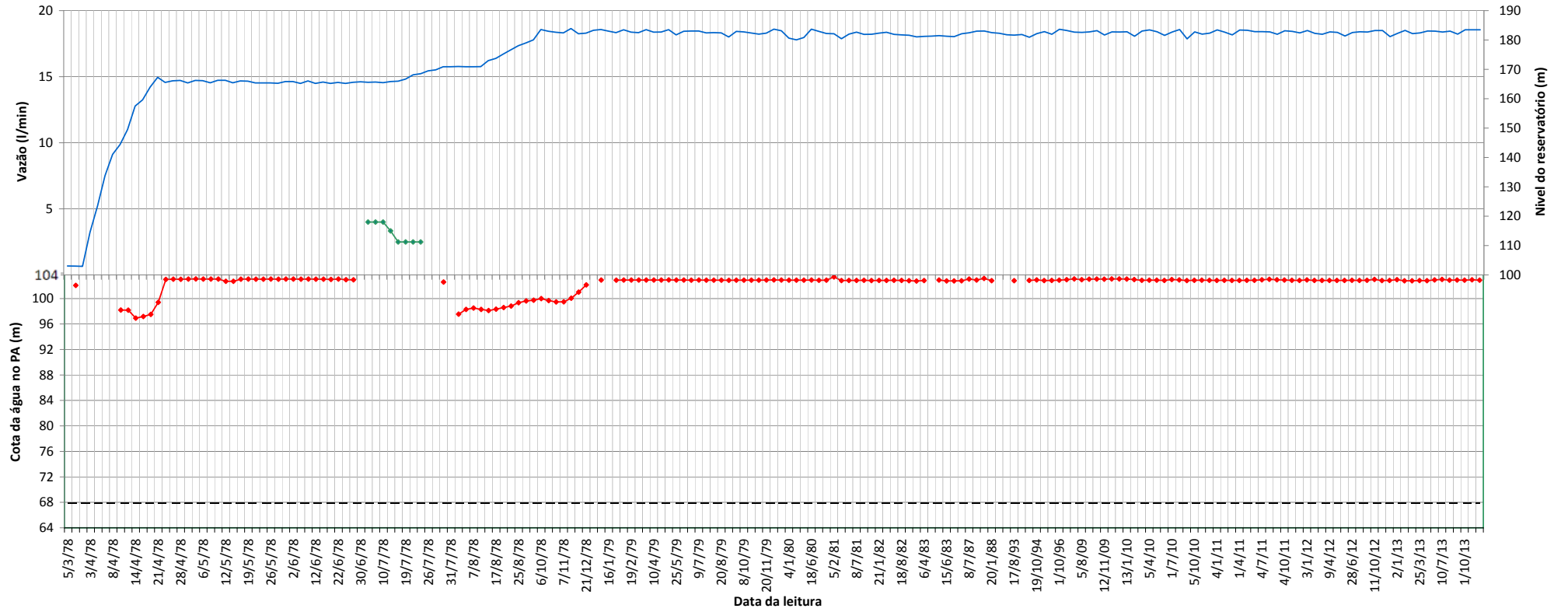
Poço de Alívio (PA - 12)



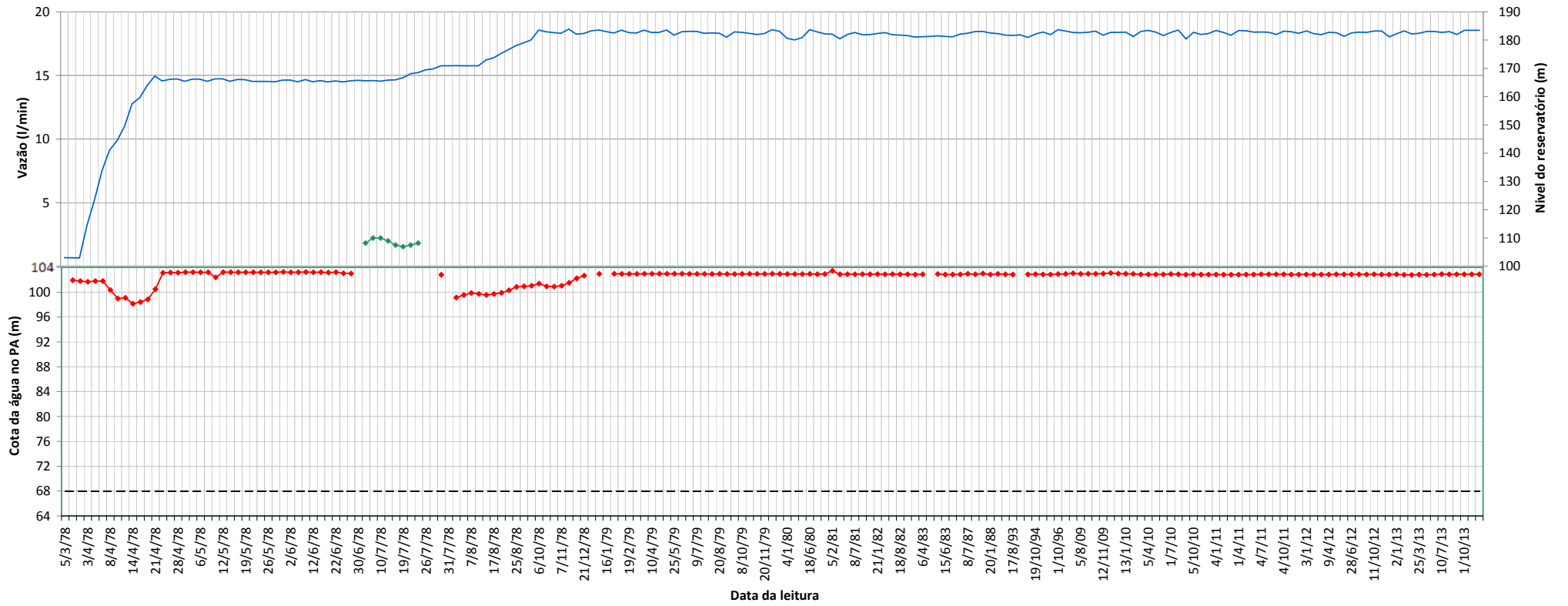
Poço de Alívio (PA - 14)



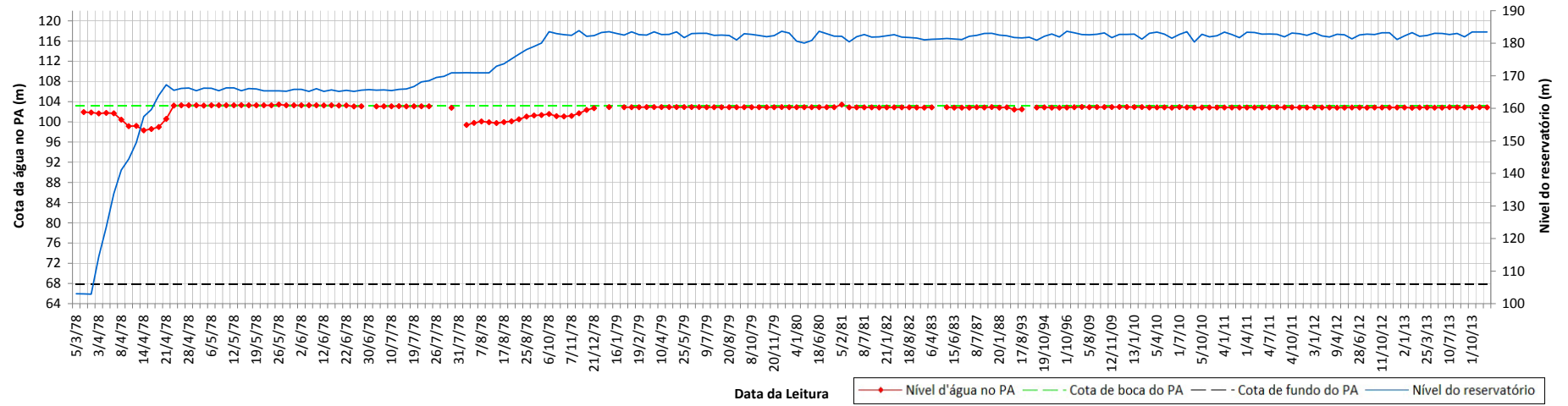
Poço de Alívio (PA - 15)



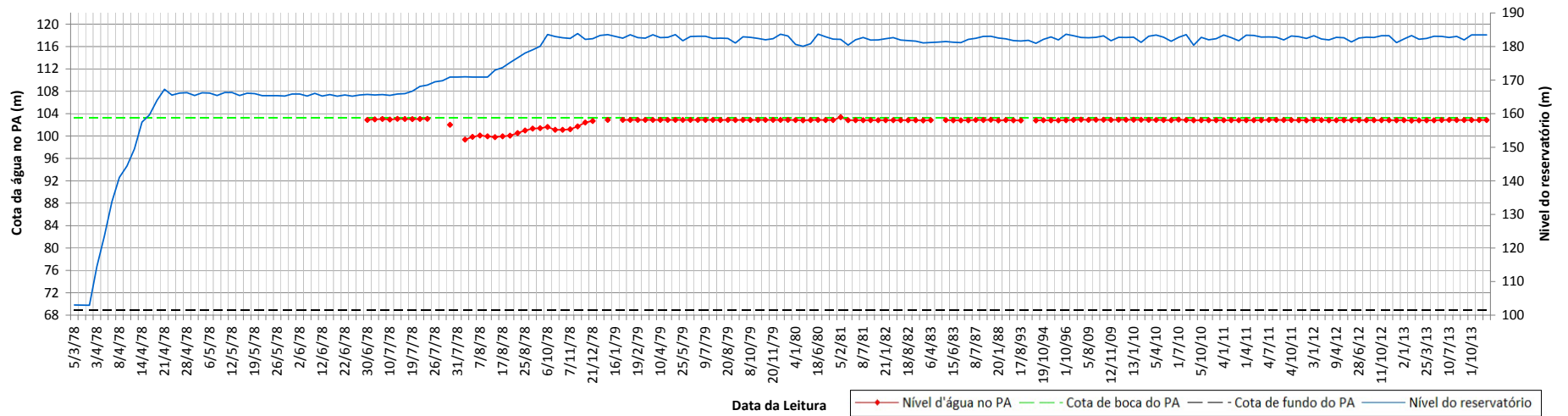
Poço de Alívio (PA - 16)



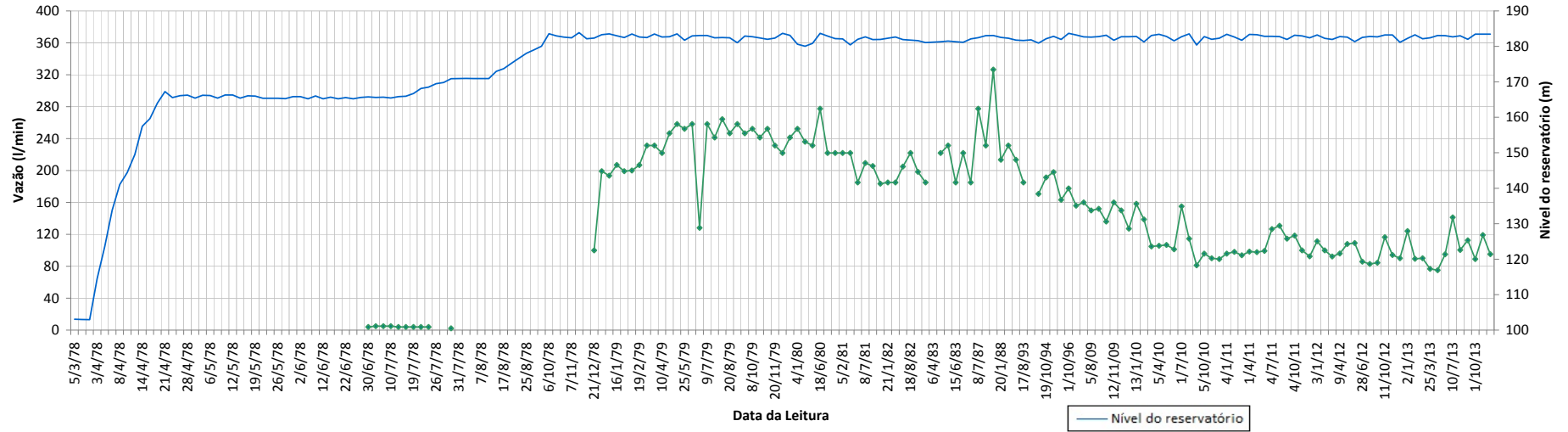
Poço de Alívio (PA - 17)



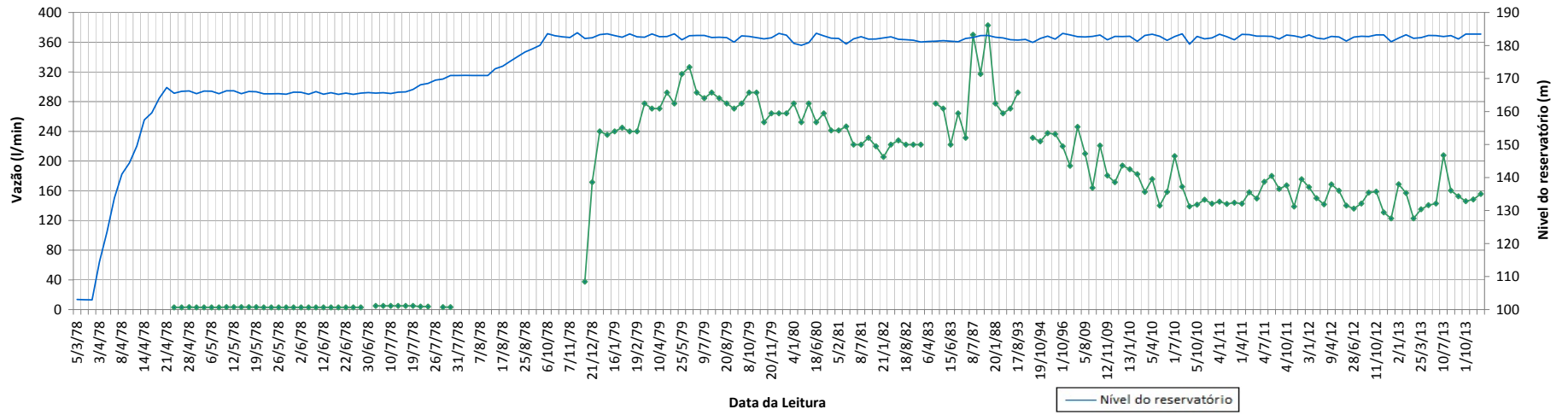
Poço de Alívio (PA - 17A)



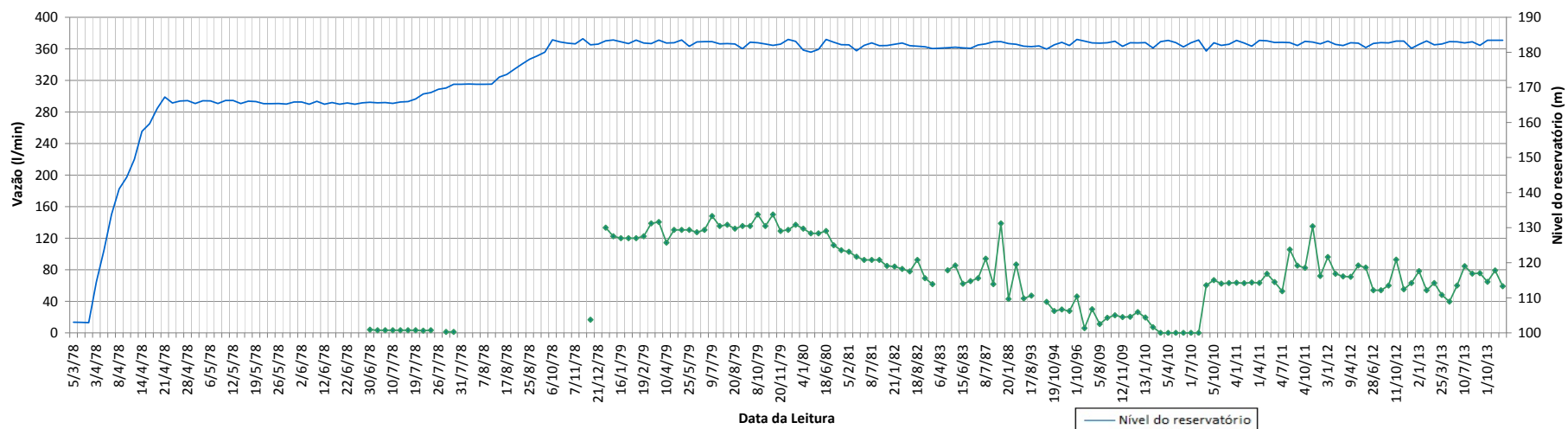
Poço de Alívio (PA - 3A)



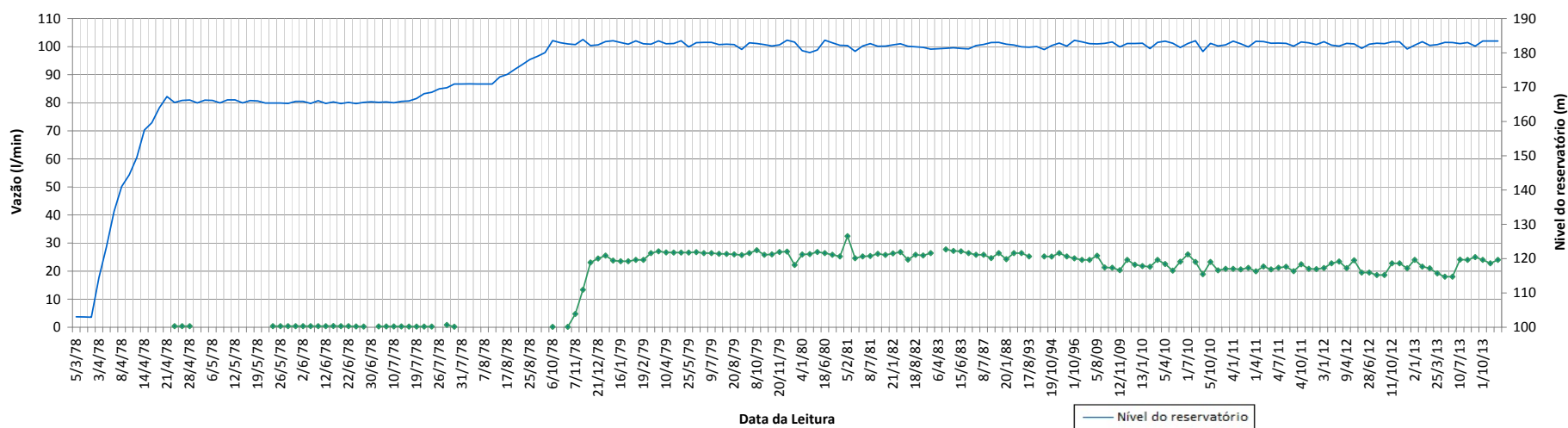
Poço de Alívio (PA - 18)



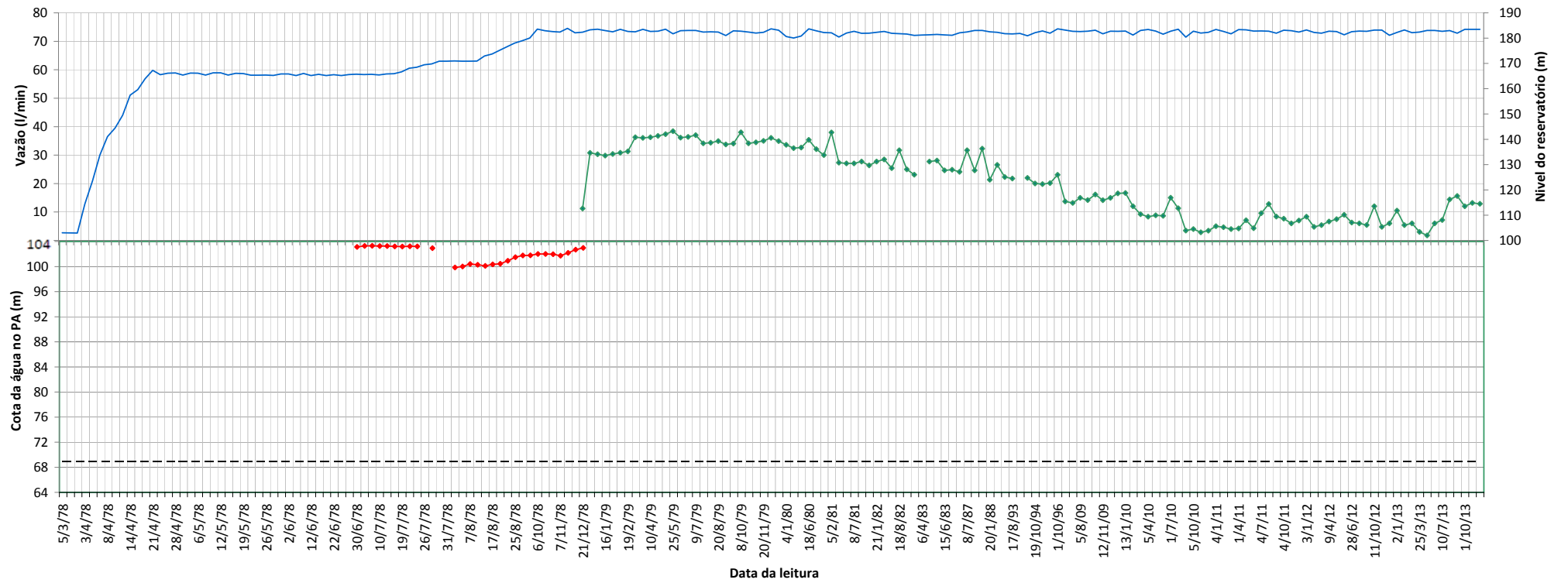
Poço de Alívio (PA - 18A)



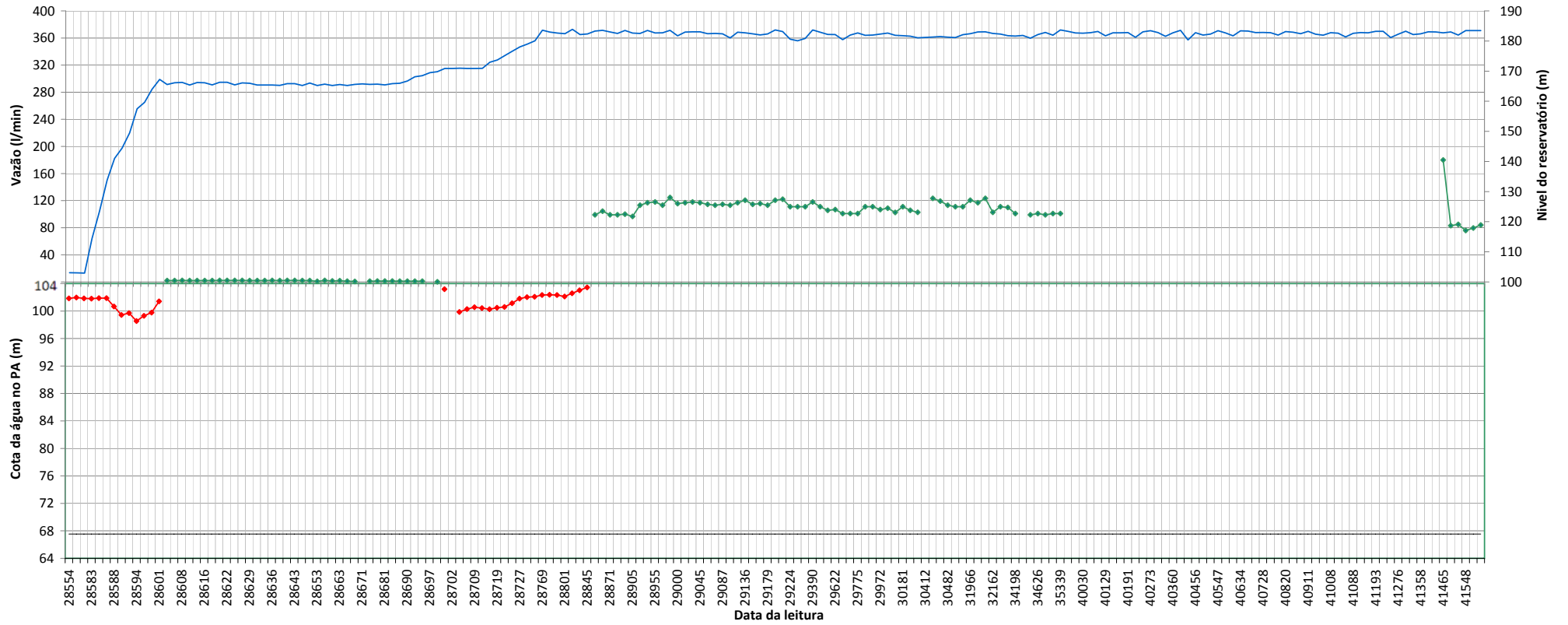
Poço de Alívio (PA - 19)



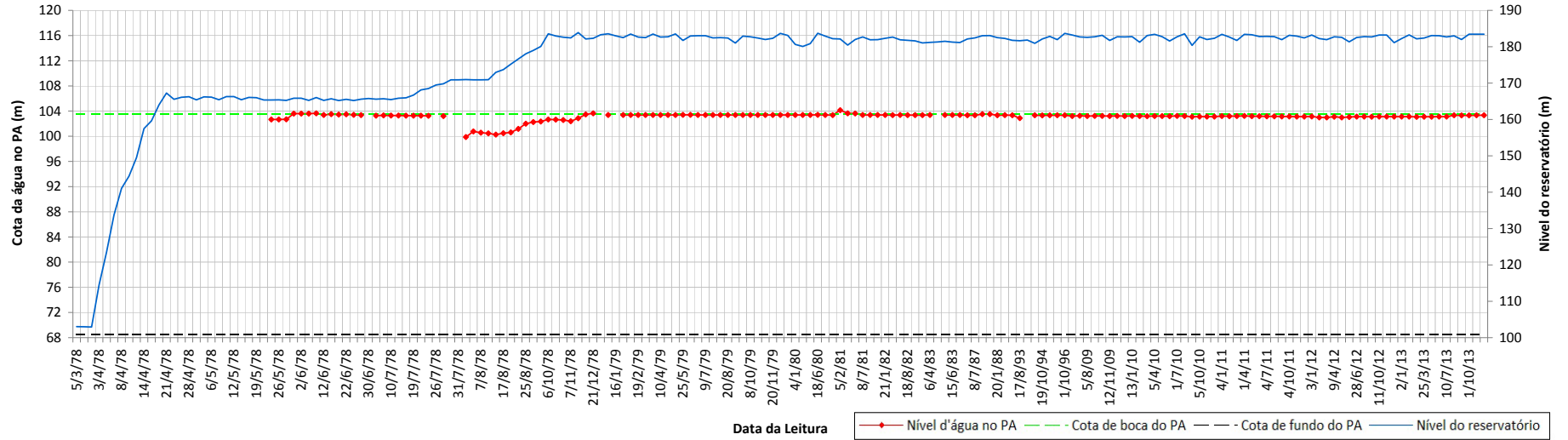
Poço de Alívio (PA - 19A)



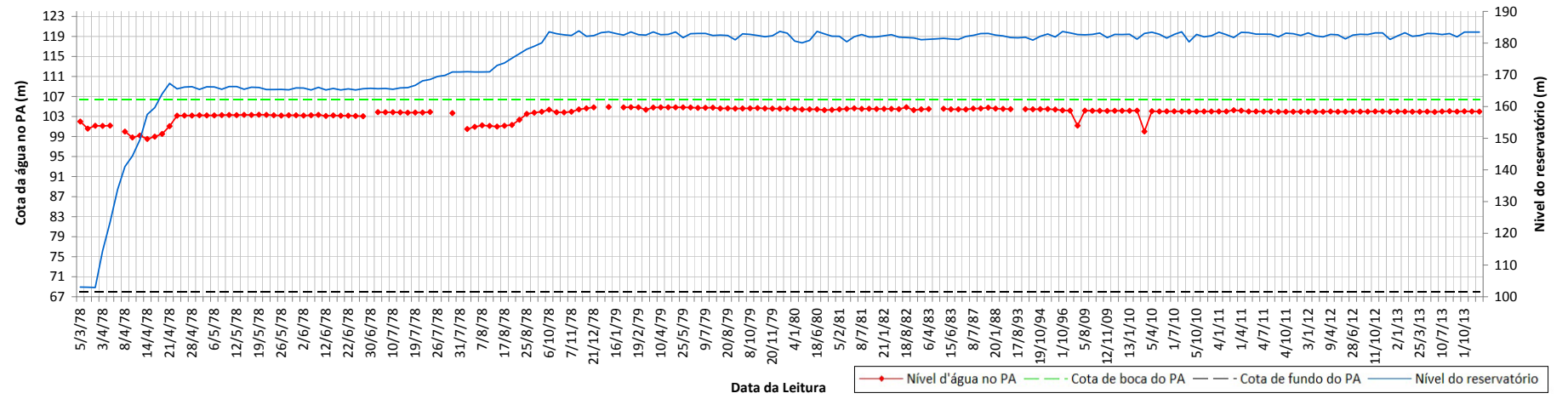
Poço de Alívio (PA - 20)



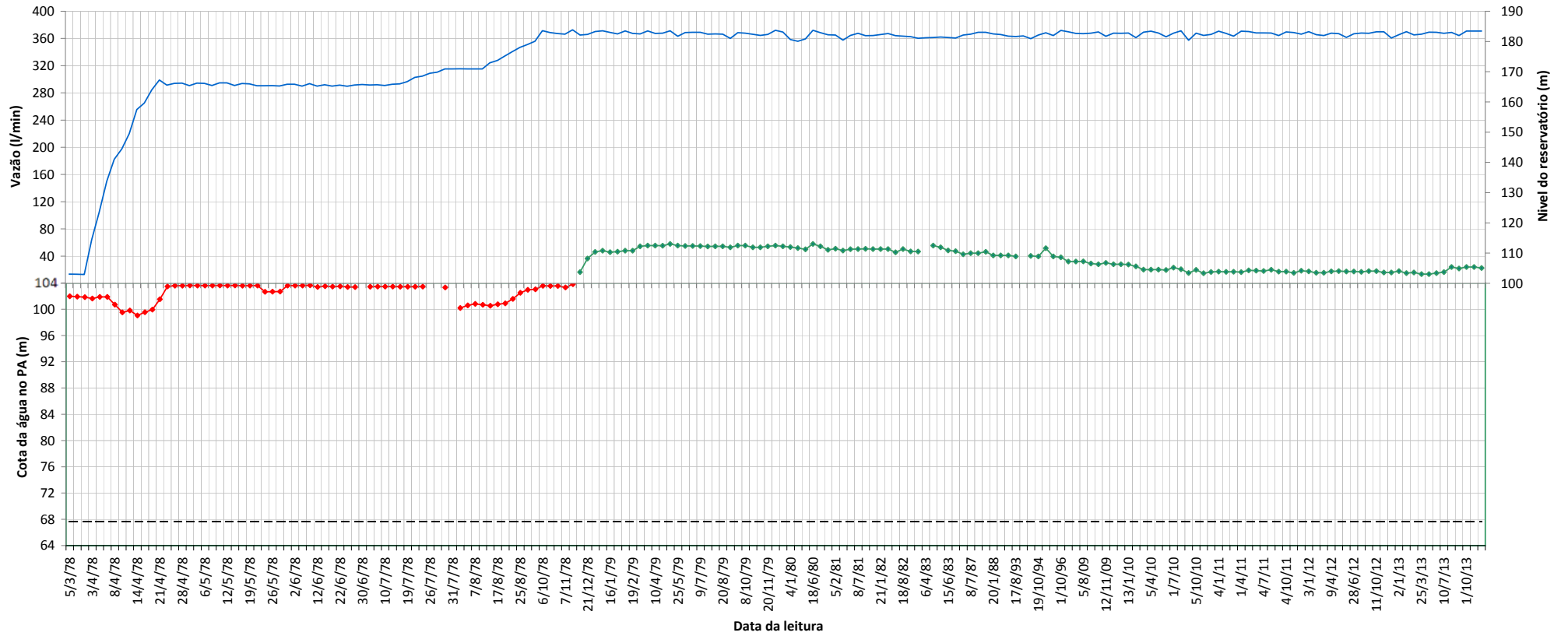
Poço de Alívio (PA - 20A)



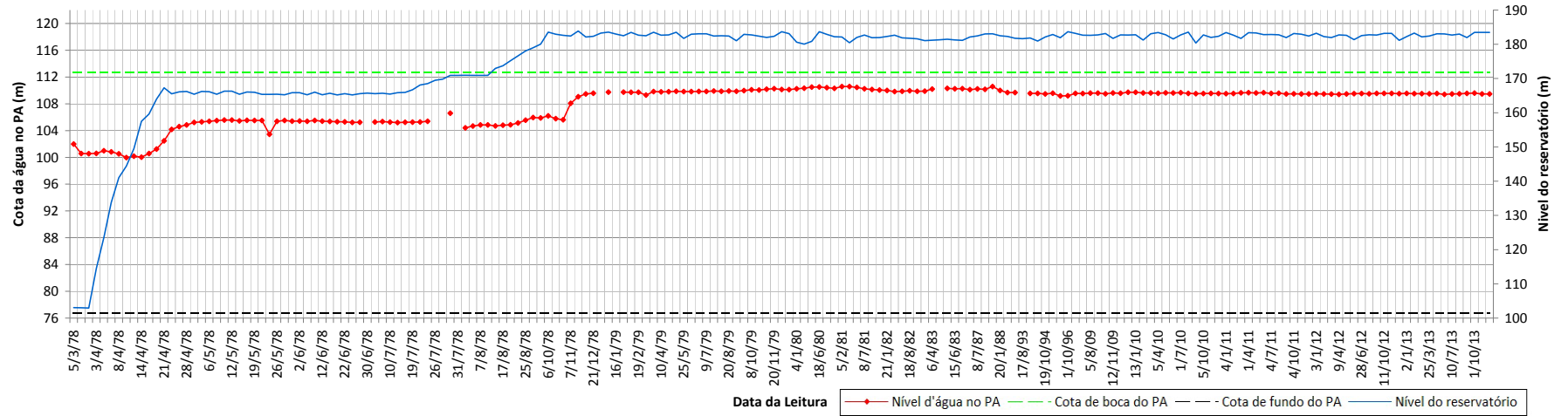
Poço de Alívio (PA - 22)



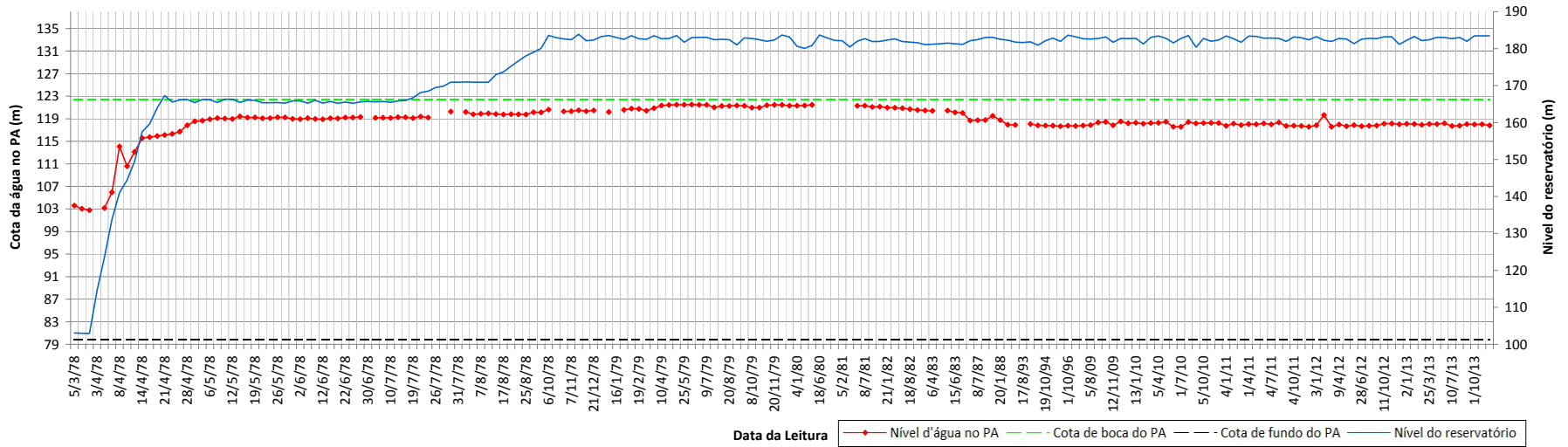
Poço de Alívio (PA - 21)



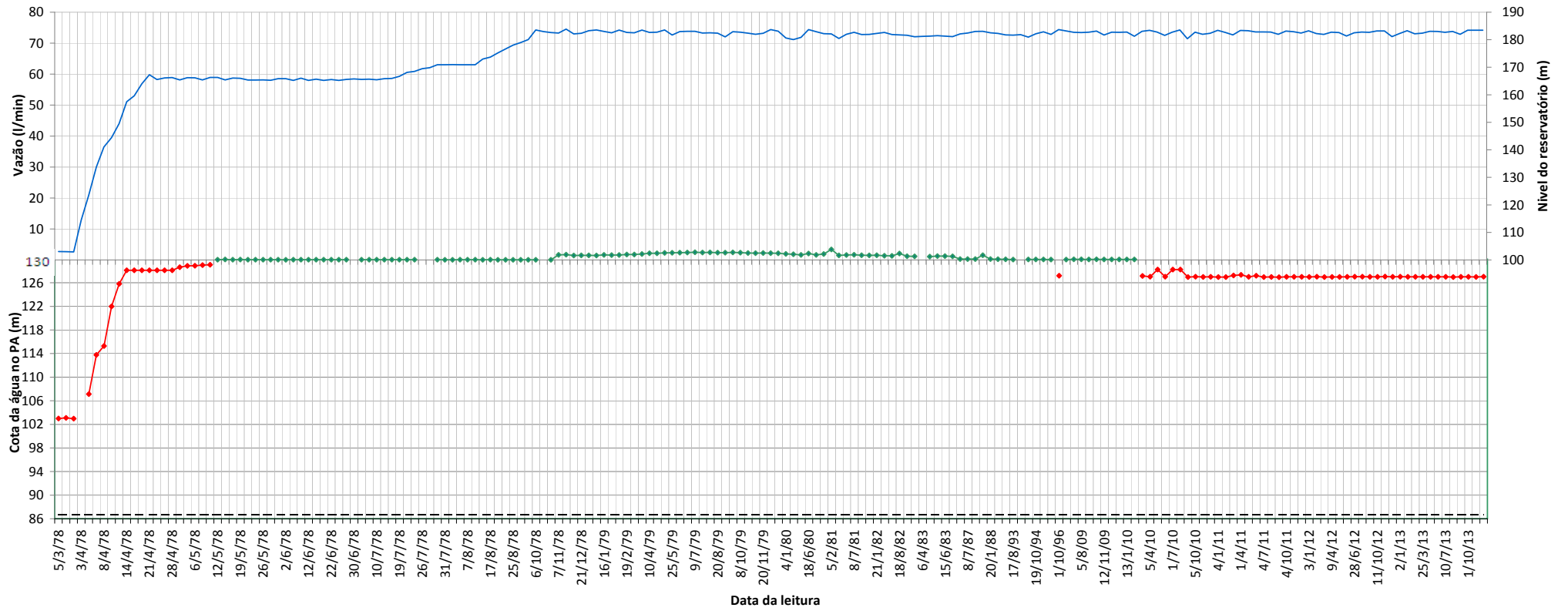
Poço de Alívio (PA - 23)



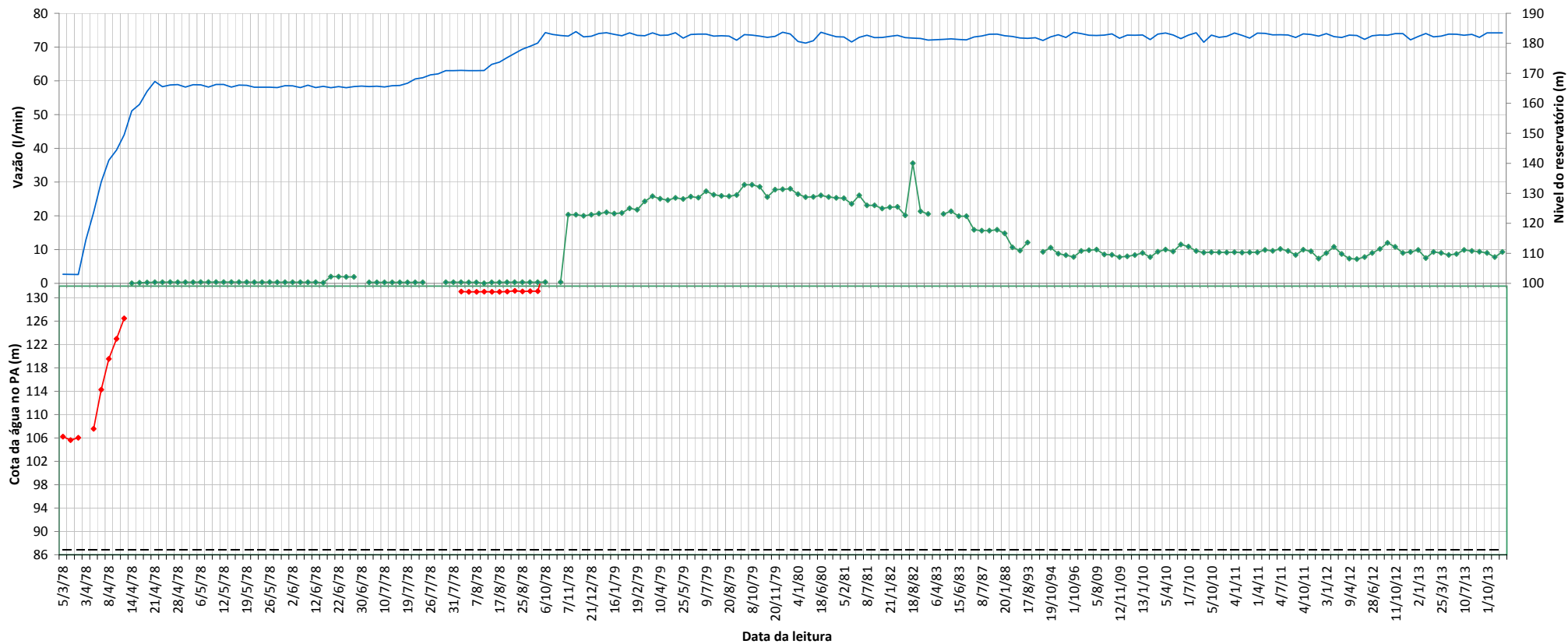
Poço de Alívio (PA - 24)



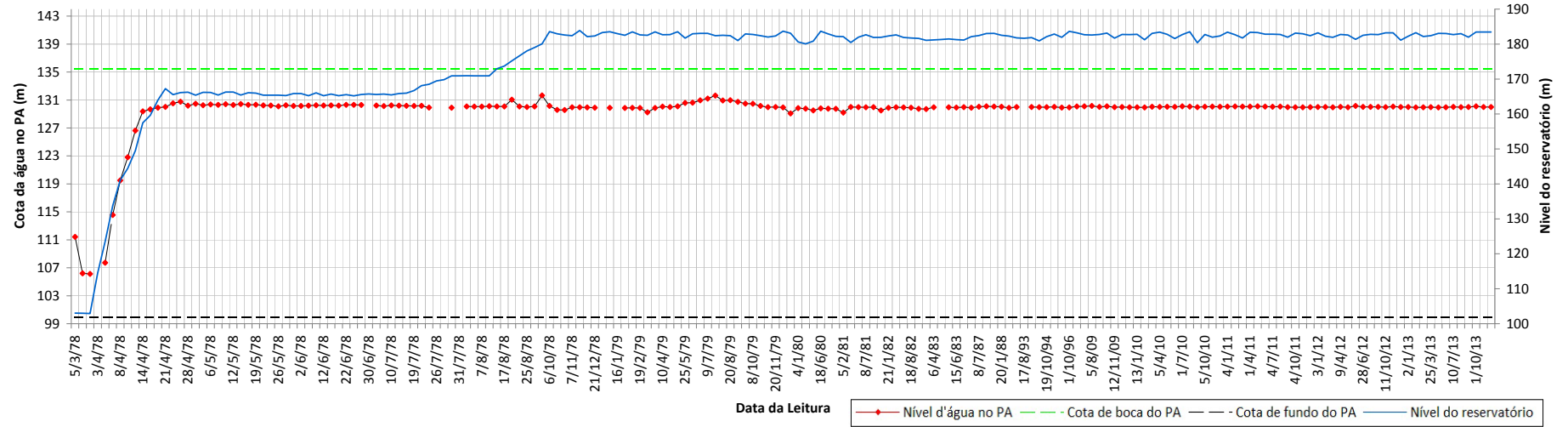
Poço de Alívio (PA - 25)



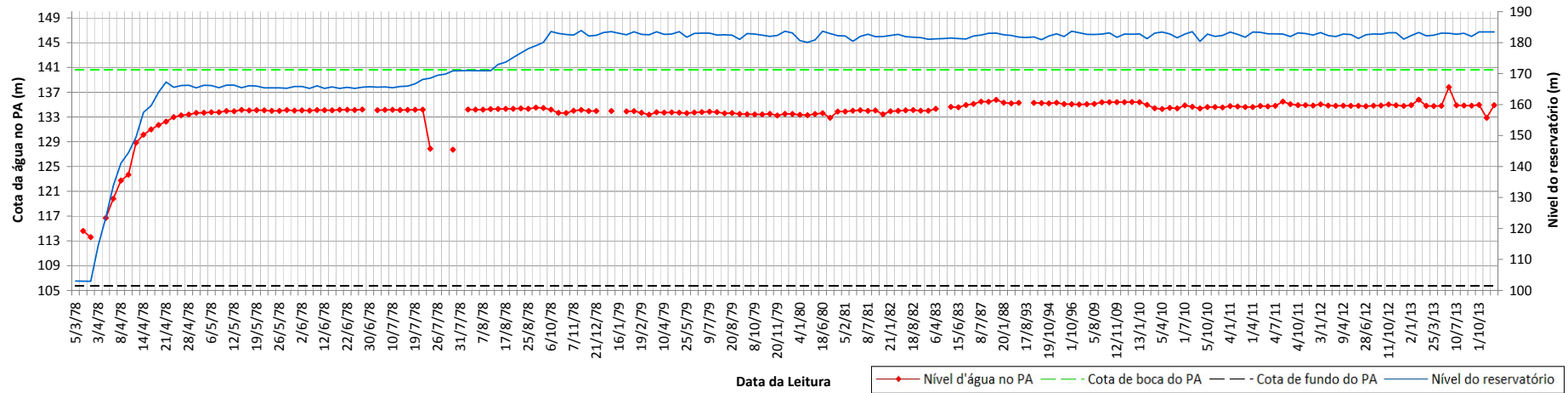
Poço de Alívio (PA - 26)



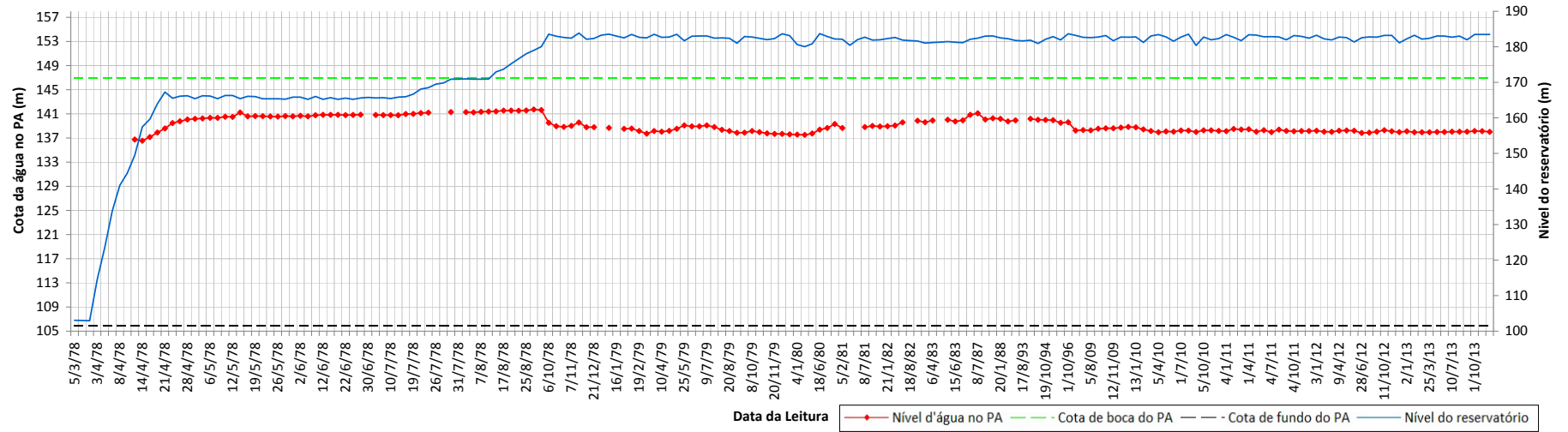
Poço de Alívio (PA - 27)



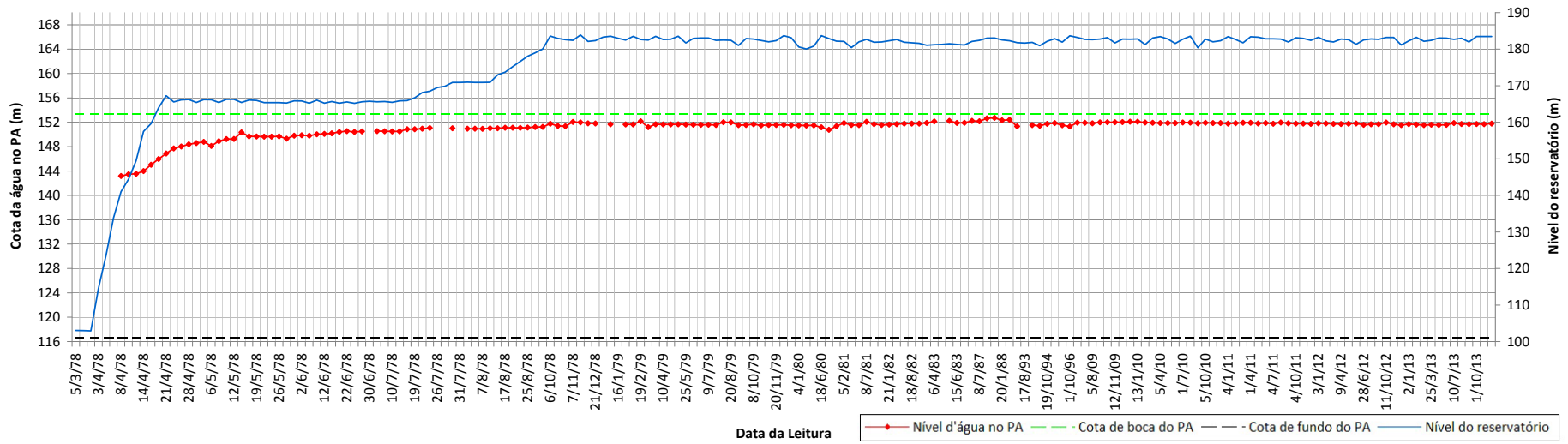
Poço de Alívio (PA - 28)



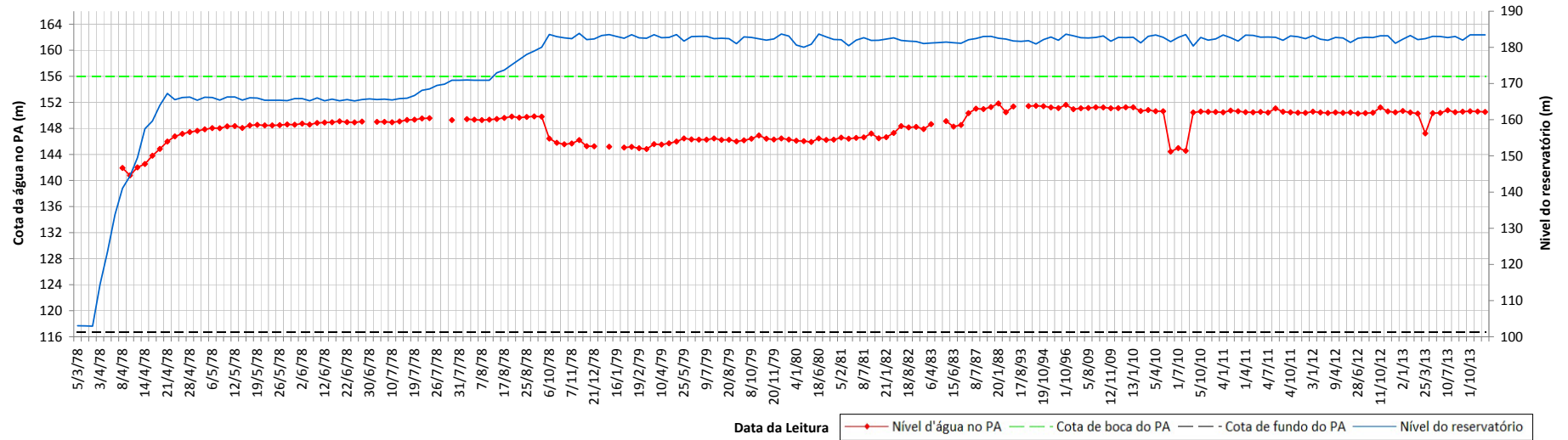
Poço de Alívio (PA - 29)



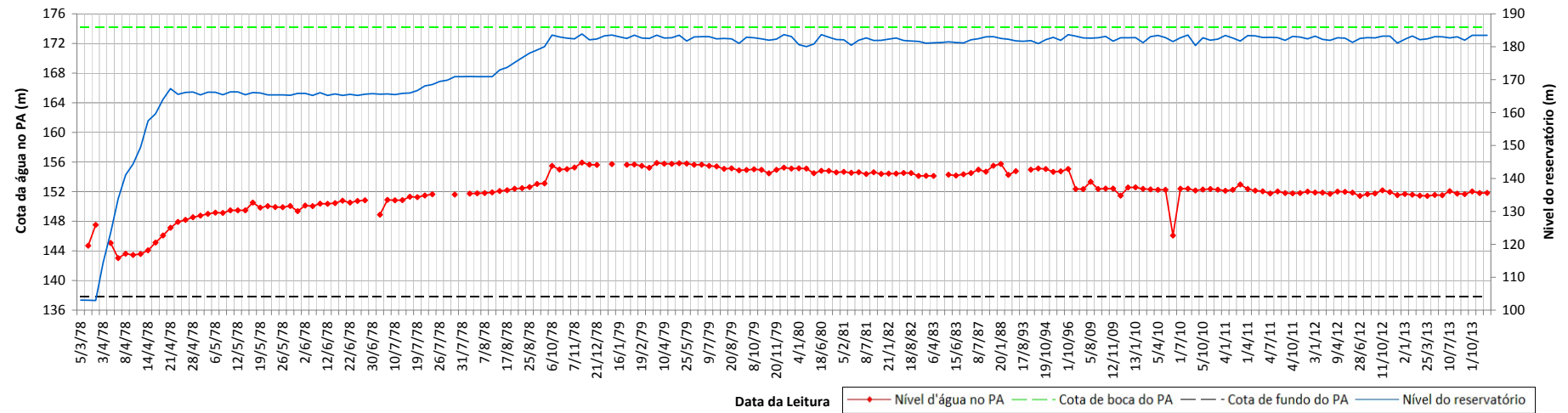
Poço de Alívio (PA - 30)



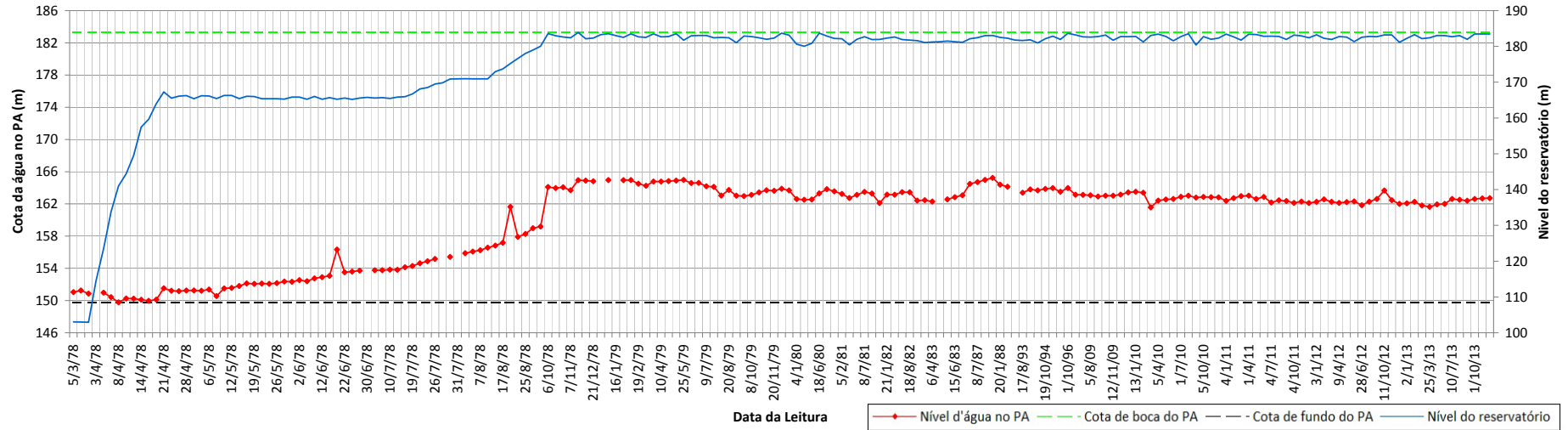
Poço de Alívio (PA - 31)



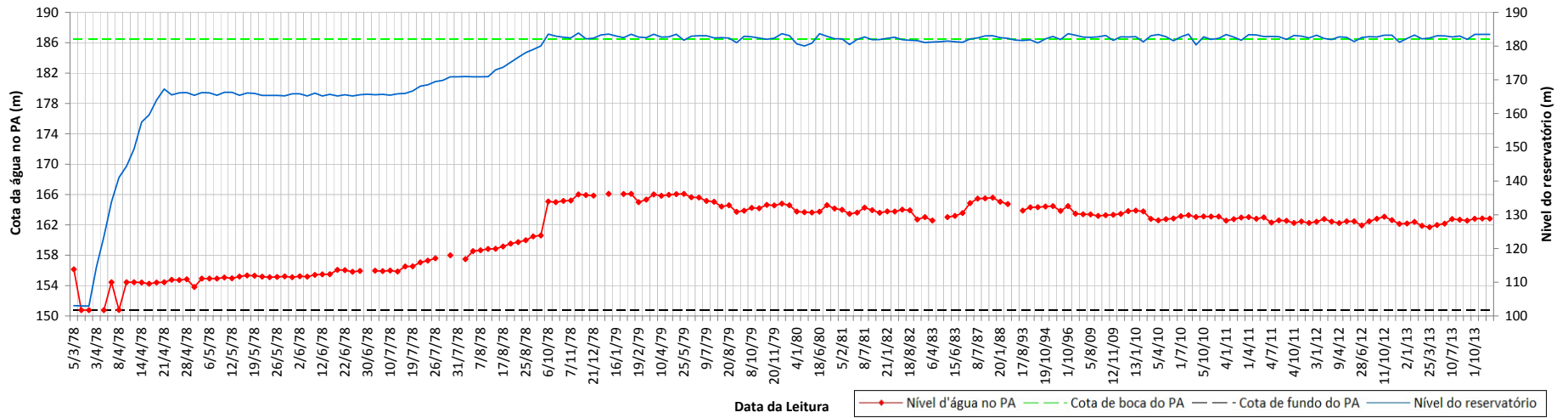
Poço de Alívio (PA - 32)



Poço de Alívio (PA - 33)



Poço de Alívio (PA - 34)



Leitura dos Marcos Topográficos

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	1		2	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
03/04/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
07/04/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
12/05/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
16/05/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
19/05/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
07/06/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
24/06/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
10/07/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
25/07/1978	282.873,8217	6.761.759,5249	282.900,7553	6.761.726,4720
25/08/1978	282.873,8184	6.761.759,5234	282.900,8168	6.761.726,2462
25/09/1978	282.873,8300	6.761.759,5096	282.900,8363	6.761.726,2322
25/10/1978	282.873,8313	6.761.759,5054	282.900,8334	6.761.726,2370
25/11/1978	282.873,8300	6.761.759,5096	282.900,8386	6.761.726,2309
29/12/1978	282.873,8267	6.761.759,5081	282.900,8354	6.761.726,2295
30/01/1979	282.873,8166	6.761.759,5106	282.900,8298	6.761.726,2311
28/02/1979	282.873,8150	6.761.759,5004	282.900,8271	6.761.726,2341
30/03/1979	282.873,8166	6.761.759,5107	282.900,8297	6.761.726,2311
30/04/1979	282.873,8269	6.761.759,5063	282.900,8375	6.761.726,2283
30/05/1979	282.873,8244	6.761.759,5061	282.900,8355	6.761.726,2295
30/06/1979	282.873,8244	6.761.759,5061	282.900,8375	6.761.726,2283
30/07/1979	282.873,8313	6.761.759,5002	282.900,8365	6.761.726,2308
30/08/1979	282.873,8273	6.761.759,4998	282.900,8359	6.761.726,2343
30/09/1979	282.873,8285	6.761.759,5009	282.900,8372	6.761.726,2349
30/10/1979	282.873,8270	6.761.759,5021	282.900,8339	6.761.726,2332
30/11/1979	282.873,8268	6.761.759,5029	282.900,8401	6.761.726,2333
30/12/1979	282.873,8286	6.761.759,5018	282.900,8367	6.761.726,2351
30/03/1980	282.873,8305	6.761.759,4993	282.900,8372	6.761.726,2358
20/06/1980	282.873,8331	6.761.759,4967	282.900,8382	6.761.726,2362
30/09/1980	282.873,8305	6.761.759,5017	282.900,8372	6.761.726,2358
05/12/1980	282.873,8280	6.761.759,5039	282.900,8290	6.761.726,2345
04/02/1981	282.873,8280	6.761.759,5039	282.900,8397	6.761.726,2335
10/03/1981	282.873,8276	6.761.759,5042	282.900,8388	6.761.726,2340
10/05/1981	282.873,8280	6.761.759,5039	282.900,8402	6.761.726,2338
10/07/1981	282.873,8280	6.761.759,5039	282.900,8402	6.761.726,2338
10/09/1981	282.873,8978	6.761.759,4452	282.900,9466	6.761.726,3245
10/11/1981	282.873,8927	6.761.759,4524	282.900,9620	6.761.726,2860
18/01/1982	282.873,8882	6.761.759,4551	282.900,9479	6.761.726,2939
26/04/1982	282.873,8971	6.761.759,4477	282.900,9515	6.761.726,3141
22/06/1982	282.873,8891	6.761.759,4746	282.900,9619	6.761.726,3020
17/08/1982	282.873,8967	6.761.759,4390	282.900,9496	6.761.726,3184
11/11/1982	282.873,8942	6.761.759,4398	282.900,9445	6.761.726,3244
10/12/1982	282.873,8894	6.761.759,4385	282.900,9449	6.761.726,3179
10/04/1983	282.873,8983	6.761.759,4312	282.900,9576	6.761.726,3076
10/05/1983	282.873,8956	6.761.759,4328	282.900,9586	6.761.726,3089
10/06/1983	282.873,9042	6.761.759,4291	282.900,9627	6.761.726,3041
01/08/1983	282.873,9023	6.761.759,4301	282.900,9573	6.761.726,3084

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	3		4	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
03/04/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
07/04/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
12/05/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
16/05/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
19/05/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
07/06/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
24/06/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
10/07/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
25/07/1978	282.921,3080	6.761.701,3546	282.824,9182	6.761.710,1948
25/08/1978	282.921,3087	6.761.701,3507	282.825,0114	6.761.709,9498
25/09/1978	282.921,3222	6.761.701,3435	282.825,0326	6.761.709,9333
25/10/1978	282.921,3242	6.761.701,3425	282.825,0343	6.761.709,9292
25/11/1978	282.921,3227	6.761.701,3418	282.825,0359	6.761.709,9250
29/12/1978	282.921,3212	6.761.701,3411	282.825,0330	6.761.709,9230
30/01/1979	282.921,3173	6.761.701,3431	282.825,0307	6.761.709,9240
28/02/1979	282.921,3182	6.761.701,3397	282.825,0285	6.761.709,9250
30/03/1979	282.921,3175	6.761.701,3410	282.825,0306	6.761.709,9225
30/04/1979	282.921,3243	6.761.701,3371	282.825,0384	6.761.709,9226
30/05/1979	282.921,3243	6.761.701,3375	282.825,0319	6.761.709,9529
30/06/1979	282.921,3233	6.761.701,3385	282.825,0358	6.761.709,9197
30/07/1979	282.921,3236	6.761.701,3398	282.825,0415	6.761.709,9184
30/08/1979	282.921,3239	6.761.701,3299	282.825,0409	6.761.709,9191
30/09/1979	282.921,3239	6.761.701,3423	282.825,0362	6.761.709,9215
30/10/1979	282.921,3218	6.761.701,3440	282.825,0357	6.761.709,9217
30/11/1979	282.921,3225	6.761.701,3454	282.825,0359	6.761.709,9223
30/12/1979	282.921,3240	6.761.701,3447	282.825,0385	6.761.709,9205
30/03/1980	282.921,3256	6.761.701,3438	282.825,0404	6.761.709,9203
20/06/1980	282.921,3249	6.761.701,3451	282.825,0403	6.761.709,9197
30/09/1980	282.921,3246	6.761.701,3452	282.825,0395	6.761.709,9207
05/12/1980	282.921,3230	6.761.701,3473	282.825,0386	6.761.709,9221
04/02/1981	282.921,3241	6.761.701,3470	282.825,0371	6.761.709,9232
10/03/1981	282.921,3245	6.761.701,3468	282.825,0386	6.761.709,9221
10/05/1981	282.921,3250	6.761.701,3474	282.825,0386	6.761.709,9222
10/07/1981	282.921,3247	6.761.701,3476	282.825,0367	6.761.709,9230
10/09/1981	282.921,3756	6.761.701,3915	282.824,9601	6.761.710,0609
10/11/1981	282.921,3760	6.761.701,3614	282.824,9806	6.761.710,0407
18/01/1982	282.921,3749	6.761.701,3620	282.824,9806	6.761.759,4524
26/04/1982	282.921,3657	6.761.701,3770	282.824,9560	6.761.710,0601
22/06/1982	282.921,3677	6.761.701,3694	282.824,9595	6.761.710,0510
17/08/1982	282.921,3848	6.761.701,3759	282.824,9575	6.761.710,0580
11/11/1982	282.921,3747	6.761.701,3812	282.824,9575	6.761.710,0486
10/12/1982	282.921,3673	6.761.701,3839	282.824,9585	6.761.710,0555
10/04/1983	282.921,3807	6.761.701,3709	282.824,9642	6.761.710,0448
10/05/1983	282.921,3823	6.761.701,3700	282.824,9669	6.761.710,0436
10/06/1983	282.921,3858	6.761.701,3694	282.824,9753	6.761.710,0411
01/08/1983	282.921,3878	6.761.701,3695	282.824,9836	6.761.710,0387

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	5		6	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
03/04/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
07/04/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
12/05/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
16/05/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
19/05/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
07/06/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7898	6.761.669,9431
24/06/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7893	6.761.669,9431
10/07/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7898	6.761.669,9431
25/07/1978	282.860,7923	6.761.688,1650	282.888,7898	6.761.669,9431
25/08/1978	282.860,8713	6.761.687,9414	282.888,8547	6.761.669,7375
25/09/1978	282.860,9069	6.761.687,9129	282.888,8815	6.761.669,7258
25/10/1978	282.860,9106	6.761.687,9081	282.888,8825	6.761.669,7224
25/11/1978	282.860,9092	6.761.687,9119	282.888,8763	6.761.669,7266
29/12/1978	282.860,9039	6.761.687,9174	282.888,8749	6.761.669,7257
30/01/1979	282.860,9011	6.761.687,9155	282.888,8735	6.761.669,7249
28/02/1979	282.860,9011	6.761.687,9155	282.888,8722	6.761.669,7240
30/03/1979	282.860,8995	6.761.687,9178	282.888,8736	6.761.669,7246
30/04/1979	282.860,9122	6.761.687,9096	282.888,8811	6.761.669,7239
30/05/1979	282.860,9063	6.761.687,9126	282.888,8796	6.761.669,7255
30/06/1979	282.860,9084	6.761.687,9107	282.888,8811	6.761.669,7251
30/07/1979	282.860,9136	6.761.687,9096	282.888,8804	6.761.669,7242
30/08/1979	282.860,9121	6.761.687,9100	282.888,8803	6.761.669,7234
30/09/1979	282.860,9142	6.761.687,9097	282.888,8806	6.761.669,7265
30/10/1979	282.860,9142	6.761.687,9110	282.888,8815	6.761.669,7267
30/11/1979	282.860,9146	6.761.687,9117	282.888,8826	6.761.669,7274
30/12/1979	282.860,9157	6.761.687,9115	282.888,8835	6.761.669,7267
30/03/1980	282.860,9162	6.761.687,9119	282.888,8849	6.761.669,7252
20/06/1980	282.860,9160	6.761.687,9136	282.888,8842	6.761.669,7267
30/09/1980	282.860,9156	6.761.687,9131	282.888,8837	6.761.669,7272
05/12/1980	282.860,9168	6.761.687,9132	282.888,8845	6.761.669,7266
04/02/1981	282.860,9164	6.761.687,9125	282.888,8854	6.761.669,7271
10/03/1981	282.860,9167	6.761.687,9117	282.888,8858	6.761.669,7269
10/05/1981	282.860,9165	6.761.687,9130	282.888,8858	6.761.669,7269
10/07/1981	282.860,9158	6.761.687,9134	282.888,8848	6.761.669,7279
10/09/1981	282.861,0288	6.761.687,9961	282.888,9468	6.761.669,8049
10/11/1981	282.861,0425	6.761.687,9868	282.888,9541	6.761.669,7716
18/01/1982	282.861,0136	6.761.687,9997	282.888,9487	6.761.669,7739
26/04/1982	282.861,0218	6.761.687,9960	282.888,9409	6.761.669,7838
22/06/1982	282.861,0324	6.761.687,9856	282.888,9401	6.761.669,7865
17/08/1982	282.861,0332	6.761.687,9935	282.888,9501	6.761.669,7905
11/11/1982	282.861,0325	6.761.687,9875	282.888,9442	6.761.669,7983
10/12/1982	282.861,0247	6.761.687,9878	282.888,9383	6.761.669,7962
10/04/1983	282.861,0374	6.761.687,9815	282.888,9485	6.761.669,7952
10/05/1983	282.861,0423	6.761.687,9775	282.888,9551	6.761.669,7892
10/06/1983	282.861,0464	6.761.687,9756	282.888,9570	6.761.669,7892
01/08/1983	282.861,0464	6.761.687,9756	282.888,9581	6.761.669,7899

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	7		8	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
03/04/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
07/04/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
12/05/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
16/05/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
19/05/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
07/06/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4335	6.761.645,7966
24/06/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
10/07/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
25/07/1978	282.915,9611	6.761.651,5609	282.780,4225	6.761.645,7966
25/08/1978	282.915,9620	6.761.651,5571	282.780,4225	6.761.645,7967
25/09/1978	282.915,9742	6.761.651,5573	282.780,4551	6.761.645,7829
25/10/1978	282.915,9718	6.761.651,5558	282.780,4571	6.761.645,7790
25/11/1978	282.915,9722	6.761.651,5542	282.780,4560	6.761.645,7809
29/12/1978	282.915,9691	6.761.651,5542	282.780,4539	6.761.645,7810
30/01/1979	282.915,9678	6.761.651,5533	282.780,4571	6.761.645,7790
28/02/1979	282.915,9660	6.761.651,5541	282.780,4571	6.761.645,7790
30/03/1979	282.915,9681	6.761.651,5518	282.780,4590	6.761.645,7800
30/04/1979	282.915,9766	6.761.651,5502	282.780,4623	6.761.645,7779
30/05/1979	282.915,9739	6.761.651,5527	282.780,4551	6.761.645,7828
30/06/1979	282.915,9752	6.761.651,5527	282.780,4586	6.761.645,7775
30/07/1979	282.915,9747	6.761.651,5509	282.780,4633	6.761.645,7759
30/08/1979	282.915,9751	6.761.651,5497	282.780,4611	6.761.645,7783
30/09/1979	282.915,9757	6.761.651,5530	282.780,4619	6.761.645,7781
30/10/1979	282.915,9749	6.761.651,5558	282.780,4597	6.761.645,7781
30/11/1979	282.915,9759	6.761.651,5557	282.780,4601	6.761.645,7780
30/12/1979	282.915,9777	6.761.651,5550	282.780,4593	6.761.645,7783
30/03/1980	282.915,9780	6.761.651,5559	282.780,4615	6.761.645,7775
20/06/1980	282.915,9791	6.761.651,5569	282.780,4636	6.761.645,7768
30/09/1980	282.915,9784	6.761.651,5583	282.780,4648	6.761.645,7781
05/12/1980	282.915,9775	6.761.651,5589	282.780,4657	6.761.645,7792
04/02/1981	282.915,9788	6.761.651,5586	282.780,4642	6.761.645,7800
10/03/1981	282.915,9787	6.761.651,5589	282.780,4642	6.761.645,7800
10/05/1981	282.915,9787	6.761.651,5589	282.780,4655	6.761.645,7796
10/07/1981	282.915,9789	6.761.651,5583	282.780,4646	6.761.645,7798
10/09/1981	282.916,0672	6.761.651,5737	282.780,6116	6.761.645,7361
10/11/1981	282.916,0750	6.761.651,5394	282.780,6131	6.761.645,7303
18/01/1982	282.916,0485	6.761.651,5689	282.780,5974	6.761.645,7353
26/04/1982	282.916,0498	6.761.651,5644	282.780,6025	6.761.645,7436
22/06/1982	282.916,0522	6.761.651,5556	282.780,6141	6.761.645,7353
17/08/1982	282.916,0618	6.761.651,5594	282.780,6151	6.761.645,7376
11/11/1982	282.916,0610	6.761.651,5558	282.780,6140	6.761.645,7413
10/12/1982	282.916,0560	6.761.651,5668	282.780,6214	6.761.645,7396
10/04/1983	282.916,0743	6.761.651,5596	282.780,6268	6.761.645,7319
10/05/1983	282.916,0740	6.761.651,5614	282.780,6316	6.761.645,7297
10/06/1983	282.916,0800	6.761.651,5572	282.780,6323	6.761.645,7281
01/08/1983	282.916,0779	6.761.651,5581	282.780,6319	6.761.645,7289

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	9		10	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
03/04/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
07/04/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
12/05/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
16/05/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
19/05/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
07/06/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
24/06/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
10/07/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
25/07/1978	282.816,5912	6.761.625,1769	282.844,4849	6.761.609,7740
25/08/1978	282.816,6928	6.761.624,9603	282.844,4847	6.761.609,7735
25/09/1978	282.816,7295	6.761.624,9398	282.844,5139	6.761.609,7647
25/10/1978	282.816,7245	6.761.624,9506	282.844,5134	6.761.609,7592
25/11/1978	282.816,7323	6.761.624,9374	282.844,5120	6.761.609,7926
29/12/1978	282.816,7295	6.761.624,9398	282.844,5116	6.761.609,7598
30/01/1979	282.816,7303	6.761.624,9380	282.844,5116	6.761.609,7598
28/02/1979	282.816,7303	6.761.624,9380	282.844,5104	6.761.609,7587
30/03/1979	282.816,7327	6.761.624,9358	282.844,5122	6.761.609,7567
30/04/1979	282.816,7372	6.761.624,9350	282.844,5161	6.761.609,7566
30/05/1979	282.816,7328	6.761.624,9379	282.844,5165	6.761.609,7571
30/06/1979	282.816,7342	6.761.624,9371	282.844,5178	6.761.609,7579
30/07/1979	282.816,7363	6.761.624,9362	282.844,5156	6.761.609,7580
30/08/1979	282.816,7324	6.761.624,9358	282.844,5174	6.761.609,7575
30/09/1979	282.816,7338	6.761.624,9357	282.844,5182	6.761.609,7608
30/10/1979	282.816,7345	6.761.624,9364	282.844,5151	6.761.609,7628
30/11/1979	282.816,7358	6.761.624,9373	282.844,5166	6.761.609,7630
30/12/1979	282.816,7358	6.761.624,9373	282.844,5171	6.761.609,7626
30/03/1980	282.816,7364	6.761.624,9374	282.844,5180	6.761.609,7620
20/06/1980	282.816,7381	6.761.624,9359	282.844,5183	6.761.609,7628
30/09/1980	282.816,7384	6.761.624,9352	282.844,5179	6.761.609,7643
05/12/1980	282.816,7382	6.761.624,9365	282.844,5180	6.761.609,7640
04/02/1981	282.816,7399	6.761.624,9357	282.844,5179	6.761.609,7643
10/03/1981	282.816,7405	6.761.624,9352	282.844,5194	6.761.609,7639
10/05/1981	282.816,7414	6.761.624,9362	282.844,5194	6.761.609,7645
10/07/1981	282.816,7417	6.761.624,9355	282.844,5198	6.761.609,7644
10/09/1981	282.816,7258	6.761.625,0418	282.844,4864	6.761.609,8544
10/11/1981	282.816,7242	6.761.625,0423	282.844,4888	6.761.609,8355
18/01/1982	282.816,7147	6.761.625,0452	282.844,4864	6.761.609,8485
26/04/1982	282.816,7174	6.761.625,0524	282.844,4897	6.761.609,8306
22/06/1982	282.816,7353	6.761.625,0389	282.844,5014	6.761.609,8272
17/08/1982	282.816,7281	6.761.625,0454	282.844,4992	6.761.609,8366
11/11/1982	282.816,7251	6.761.625,0433	282.844,4962	6.761.609,8932
10/12/1982	282.816,7242	6.761.625,0380	282.844,4891	6.761.609,8407
10/04/1983	282.816,7379	6.761.625,0406	282.844,4935	6.761.609,8424
10/05/1983	282.816,7402	6.761.565,0356	282.844,5009	6.761.609,8402
10/06/1983	282.816,7443	6.761.625,0312	282.844,5052	6.761.609,8378
01/08/1983	282.816,7449	6.761.625,0298	282.844,5051	6.761.609,8378

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	11		12	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
03/04/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
07/04/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
12/05/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
16/05/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
19/05/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
07/06/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
24/06/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
10/07/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
25/07/1978	282.872,9765	6.761.594,1300	282.749,5230	6.761.573,2765
25/08/1978	282.872,7720	6.761.594,1864	282.749,5230	6.761.573,2766
25/09/1978	282.872,7856	6.761.594,1824	282.749,5398	6.761.573,2799
25/10/1978	282.872,7868	6.761.594,1795	282.749,5451	6.761.573,2756
25/11/1978	282.872,7848	6.761.594,1800	282.749,5468	6.761.573,2785
29/12/1978	282.872,7835	6.761.594,1805	282.749,5468	6.761.573,2785
30/01/1979	282.872,7817	6.761.594,1809	282.749,5460	6.761.573,2770
28/02/1979	282.872,7807	6.761.594,1799	282.749,5427	6.761.573,2703
30/03/1979	282.872,7830	6.761.594,1776	282.749,5457	6.761.573,2774
30/04/1979	282.872,7844	6.761.594,1791	282.749,5520	6.761.573,2781
30/05/1979	282.872,7866	6.761.594,1801	282.749,5469	6.761.573,2811
30/06/1979	282.872,7866	6.761.594,1804	282.749,5484	6.761.573,2788
30/07/1979	282.872,7842	6.761.594,1811	282.749,5513	6.761.573,2783
30/08/1979	282.872,7878	6.761.594,1804	282.749,5434	6.761.573,2828
30/09/1979	282.872,7887	6.761.594,1818	282.749,5437	6.761.573,2827
30/10/1979	282.872,7889	6.761.594,1828	282.749,5460	6.761.573,2826
30/11/1979	282.872,7903	6.761.594,1832	282.749,5485	6.761.573,2814
30/12/1979	282.872,7909	6.761.594,1825	282.749,5507	6.761.573,2804
30/03/1980	282.872,7896	6.761.594,1834	282.749,5514	6.761.573,2809
20/06/1980	282.872,7910	6.761.594,1831	282.749,5501	6.761.573,2834
30/09/1980	282.872,7913	6.761.594,1838	282.749,5515	6.761.573,2828
05/12/1980	282.872,7913	6.761.594,1846	282.749,5525	6.761.573,2836
04/02/1981	282.872,7919	6.761.594,1853	282.749,5518	6.761.573,2847
10/03/1981	282.872,7919	6.761.594,1853	282.749,5514	6.761.573,2858
10/05/1981	282.872,7926	6.761.594,1851	282.749,5510	6.761.573,2866
10/07/1981	282.872,7926	6.761.594,1851	282.749,5495	6.761.573,2871
10/09/1981	282.872,9190	6.761.594,2232	282.749,5296	6.761.573,3916
10/11/1981	282.872,9288	6.761.594,1874	282.749,5401	6.761.573,3735
18/01/1982	282.872,9172	6.761.594,1906	282.749,5332	6.761.573,3742
26/04/1982	282.872,9084	6.761.594,2102	282.749,5361	6.761.573,3795
22/06/1982	282.872,9086	6.761.594,2096	282.749,5383	6.761.573,3850
17/08/1982	282.872,9249	6.761.594,2128	282.749,5367	6.761.573,3853
11/11/1982	282.872,9235	6.761.594,2104	282.749,5459	6.761.573,3855
10/12/1982	282.872,9164	6.761.594,2130	282.749,5530	6.761.573,3789
10/04/1983	282.872,9188	6.761.594,2145	282.749,5536	6.761.573,3846
10/05/1983	282.872,9256	6.761.594,2126	282.749,5593	6.761.573,3835
10/06/1983	282.872,9325	6.761.594,2107	282.749,5609	6.761.573,3846
01/08/1983	282.872,9337	6.761.594,2137	282.749,5581	6.761.573,3831

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	13		14	
Data	X	Y	X	Y
27/03/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,0966
03/04/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,0966
07/04/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,0966
12/05/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,0966
16/05/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,0966
19/05/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,0966
07/06/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,6966
24/06/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,6966
10/07/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,6966
25/07/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,6436	6.761.551,6966
25/08/1978	282.790,1276	6.761.561,3535	282.820,8492	6.761.551,0598
25/09/1978	282.790,1539	6.761.561,3422	282.820,8676	6.761.551,0565
25/10/1978	282.790,1498	6.761.561,3494	282.820,8663	6.761.551,0567
25/11/1978	282.790,1558	6.761.561,3391	282.820,8697	6.761.551,0561
29/12/1978	282.790,1539	6.761.561,3394	282.820,8679	6.761.551,0506
30/01/1979	282.790,1530	6.761.561,3380	282.820,8679	6.761.551,0506
28/02/1979	282.790,1520	6.761.561,3398	282.820,8663	6.761.551,0509
30/03/1979	282.790,1521	6.761.561,3379	282.820,8660	6.761.551,0507
30/04/1979	282.790,1528	6.761.561,3408	282.820,8688	6.761.551,0528
30/05/1979	282.790,1523	6.761.561,3428	282.820,8694	6.761.551,0536
30/06/1979	282.790,1548	6.761.561,3408	282.820,8691	6.761.551,0533
30/07/1979	282.790,1551	6.761.561,3413	282.820,8697	6.761.551,0538
30/08/1979	282.790,1560	6.761.561,3387	282.820,8714	6.761.551,0529
30/09/1979	282.790,1565	6.761.561,3401	282.820,8703	6.761.551,0580
30/10/1979	282.790,1585	6.761.561,3401	282.820,8696	6.761.551,0581
30/11/1979	282.790,1596	6.761.561,3399	282.820,8705	6.761.551,0589
30/12/1979	282.790,1607	6.761.561,3397	282.820,8711	6.761.551,0588
30/03/1980	282.790,1594	6.761.561,3408	282.820,8727	6.761.551,0570
20/06/1980	282.790,1598	6.761.561,3414	282.820,8749	6.761.551,0552
30/09/1980	282.790,1586	6.761.561,3434	282.820,8728	6.761.551,0555
05/12/1980	282.790,1579	6.761.561,3445	282.820,8740	6.761.551,0556
04/02/1981	282.790,1578	6.761.561,3448	282.820,8749	6.761.551,0552
10/03/1981	282.790,1585	6.761.561,3453	282.820,8753	6.761.551,0563
10/05/1981	282.790,1596	6.761.561,3451	282.820,8747	6.761.551,0572
10/07/1981	282.790,1558	6.761.561,3458	282.820,8746	6.761.551,0575
10/09/1981	282.790,0755	6.761.561,4332	282.820,8762	6.761.551,1176
10/11/1981	282.790,0918	6.761.561,4166	282.820,8776	6.761.551,1069
18/01/1982	282.790,0702	6.761.561,4206	282.820,8748	6.761.551,1074
26/04/1982	282.790,0722	6.761.561,4264	282.820,8727	6.761.551,1043
22/06/1982	282.790,0750	6.761.561,4216	282.820,8769	6.761.551,1094
17/08/1982	282.790,0821	6.761.561,4264	282.820,8783	6.761.551,1149
11/11/1982	282.790,0833	6.761.561,4231	282.820,8844	6.761.551,1080
10/12/1982	282.790,0840	6.761.561,4175	282.820,8837	6.761.551,1058
10/04/1983	282.790,0930	6.761.561,4133	282.820,8796	6.761.551,1112
10/05/1983	282.790,0992	6.761.561,4140	282.820,8878	6.761.551,1097
10/06/1983	282.790,1010	6.761.561,4167	282.820,8906	6.761.551,1104
01/08/1983	282.790,1008	6.761.561,4168	282.820,8906	6.761.551,1104

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

LEITURA DAS COORDENADAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Marco	15	
Data	X	Y
27/03/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
03/04/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
07/04/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
12/05/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
16/05/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
19/05/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
07/06/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
24/06/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
10/07/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
25/07/1978	282.850,5223	6.761.540,9995
25/08/1978	282.850,6085	6.761.540,8201
25/09/1978	282.850,6207	6.761.540,8153
25/10/1978	282.850,6240	6.761.540,8120
25/11/1978	282.850,6194	6.761.540,8155
29/12/1978	282.850,6178	6.761.540,8158
30/01/1979	282.850,6185	6.761.540,8143
28/02/1979	282.850,6176	6.761.540,8131
30/03/1979	282.850,6198	6.761.540,8122
30/04/1979	282.850,6206	6.761.540,8131
30/05/1979	282.850,6191	6.761.540,8161
30/06/1979	282.850,6194	6.761.540,8165
30/07/1979	282.850,6198	6.761.540,8176
30/08/1979	282.850,6213	6.761.540,8176
30/09/1979	282.850,6226	6.761.540,8191
30/10/1979	282.850,6227	6.761.540,8190
30/11/1979	282.850,6227	6.761.540,8190
30/12/1979	282.850,6225	6.761.540,8194
30/03/1980	282.850,6239	6.761.540,8188
20/06/1980	282.850,6248	6.761.540,8201
30/09/1980	282.850,6242	6.761.540,8207
05/12/1980	282.850,6246	6.761.540,8209
04/02/1981	282.850,6255	6.761.540,8210
10/03/1981	282.850,6255	6.761.540,8210
10/05/1981	282.850,6263	6.761.540,8217
10/07/1981	282.850,6261	6.761.540,8223
10/09/1981	282.850,6556	6.761.540,9213
10/11/1981	282.850,6777	6.761.540,8802
18/01/1982	282.850,6548	6.761.540,8841
26/04/1982	282.850,6425	6.761.540,9000
22/06/1982	282.850,6393	6.761.540,9065
17/08/1982	282.850,6553	6.761.540,9110
11/11/1982	282.850,6554	6.761.540,9082
10/12/1982	282.850,6430	6.761.540,9136
10/04/1983	282.850,6543	6.761.540,9155
10/05/1983	282.850,6570	6.761.540,9134
10/06/1983	282.850,6599	6.761.540,9135
01/08/1983	282.850,6599	6.761.540,9135

OBS: o valor em negrito indica provável leitura equivocada

DESLOCAMENTOS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

Data	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15
27/3/78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/4/78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27
19/5/78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27
24/6/78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27
25/7/78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27
25/8/78	0.72	0.16	0.85	0.99	-	-	0.73	2.70	-	-	0.11	-	-	-	-
25/9/78	3.57	4.99	4.07	5.03	9.23	5.85	2.71	7.05	8.42	6.14	2.87	1.51	5.69	3.76	2.80
25/10/78	4.35	3.92	4.12	5.23	10.35	6.34	2.32	7.76	6.62	6.39	3.33	4.42	4.52	3.49	3.65
25/11/78	3.48	4.96	4.12	-	9.67	5.50	2.79	7.43	9.14	5.86	2.64	4.78	6.48	4.18	2.50
29/12/78	3.51	5.16	3.85	6.01	8.13	4.67	2.05	6.86	-	6.02	2.64	4.78	5.98	4.19	2.20
30/1/79	3.09	4.29	3.04	5.92	8.10	4.51	1.84	7.76	8.57	6.06	2.36	4.76	5.97	4.14	2.31
28/2/79	5.06	3.52	3.68	5.19	7.93	4.43	1.64	-	8.74	5.93	2.25	3.98	5.62	3.86	2.50
27/3/79	-	4.70	4.19	-	10.78	6.54	3.48	8.68	9.86	7.03	3.68	5.74	6.84	4.73	3.14
23/4/79	3.03	5.95	3.40	5.87	7.42	4.60	2.27	8.05	9.39	6.45	2.92	4.54	5.83	3.60	2.96
30/5/79	3.71	5.07	4.36	5.42	9.11	5.54	3.01	7.05	9.17	7.15	3.17	4.88	5.39	4.20	2.41
30/6/79	3.81	5.62	4.49	6.88	9.65	5.82	3.22	8.16	9.48	7.31	3.69	5.09	6.01	4.19	2.48
31/7/79	5.30	4.53	4.36	7.78	10.61	5.77	3.33	9.16	9.95	6.88	2.71	5.66	6.02	4.28	2.42
30/8/79	5.15	4.62	4.38	7.60	10.33	5.85	3.53	8.53	9.31	7.26	3.42	4.25	6.47	4.66	2.68
30/9/79	5.00	4.77	4.09	6.63	10.72	5.63	3.27	8.72	9.57	7.16	3.52	4.33	6.37	4.23	2.89
30/10/79	4.69	5.26	3.55	6.54	10.56	5.79	2.89	8.30	9.61	6.42	3.49	4.75	6.74	4.09	2.89
30/11/79	4.52	5.45	3.49	6.45	10.53	5.94	3.08	8.39	9.76	6.71	3.73	5.19	6.96	4.26	2.89
30/12/79	4.81	4.68	3.84	7.07	10.74	6.16	3.47	8.22	9.76	6.83	3.88	5.62	7.18	4.40	2.85
27/3/80	5.40	4.70	4.19	7.35	10.78	6.54	3.48	8.68	9.86	7.03	3.59	5.74	6.84	4.73	3.14
20/6/80	6.07	4.83	3.95	7.43	10.57	6.28	3.62	9.11	10.29	7.03	3.87	5.74	6.86	5.22	3.29
30/9/80	4.95	4.70	3.86	7.16	10.61	6.15	3.44	9.22	10.41	6.89	3.92	5.84	6.50	4.81	3.16
30/12/80	4.38	5.14	3.42	6.82	10.75	6.36	3.26	9.32	10.24	6.92	3.89	6.06	6.33	5.04	3.25
4/2/81	4.38	5.35	3.63	6.47	10.75	6.48	3.54	8.97	10.64	6.89	4.00	5.98	6.27	5.22	3.42
10/3/81	4.30	5.15	3.72	6.82	10.88	6.56	3.51	8.97	10.78	7.18	4.00	5.97	6.39	5.26	3.42
10/5/81	4.38	5.42	3.76	6.82	10.72	6.56	3.51	9.25	10.85	7.18	4.14	5.93	6.61	5.14	3.59
10/7/81	4.38	5.24	3.68	6.47	10.54	6.32	3.55	9.07	10.98	7.24	4.14	5.70	6.42	5.09	3.53
10/9/81	4.38	5.24	3.68	6.47	10.54	6.32	3.55	9.07	10.98	7.24	4.14	5.70	6.42	5.09	3.53
18/1/82	3.22	7.33	5.50	-	9.07	7.98	1.91	7.81	9.84	7.41	5.36	5.66	6.35	5.14	4.95
26/4/82	4.12	6.21	3.75	6.28	9.96	6.76	2.28	7.96	9.77	8.46	3.49	6.00	6.30	5.04	2.96
22/6/82	1.32	7.77	4.47	7.22	11.42	6.53	3.06	9.34	11.96	9.65	3.54	6.32	6.74	5.29	2.31
17/8/82	4.95	5.81	5.25	6.54	11.05	7.18	3.54	9.35	11.03	9.04	4.92	6.18	7.24	5.33	3.60
11/11/82	4.82	5.06	4.12	7.31	11.32	6.31	3.69	9.12	10.85	8.25	4.86	7.08	7.46	6.06	3.69
10/12/82	4.89	5.45	3.37	-	10.67	5.87	2.67	9.88	11.02	7.95	4.11	7.67	7.73	6.04	2.35
10/4/83	5.75	7.09	5.23	8.00	12.07	6.83	4.64	10.64	12.12	8.29	4.29	7.81	8.72	5.52	3.42
10/5/83	5.54	7.09	5.41	8.25	12.70	7.68	4.54	11.17	12.54	9.06	4.99	8.36	9.27	6.35	3.72
10/6/83	6.11	7.70	5.72	8.97	13.14	7.85	5.26	11.29	13.11	9.55	5.71	8.53	9.34	6.61	4.01
1/8/83	5.96	7.01	5.87	9.69	13.14	7.92	5.03	11.23	13.23	9.54	5.75	8.23	9.32	6.61	4.01

LEITURAS DAS COTAS DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

DATA	MARCOS TOPOGRÁFICOS														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
27/03/1978	188,04427	160,68617	140,37920	188,13494	160,48072	140,30382	120,45192	188,32437	160,46353	140,24025	120,49541	188,23310	160,47854	140,33473	120,45953
03/04/1978	188,03483	160,67767	140,37131	188,13190	160,47929	140,30388	120,45129	188,31251	160,45417	140,23097	120,48707	188,22959	160,47685	140,33449	120,45894
07/04/1978	188,03412	160,67650	140,37108	188,12317	160,47024	140,29467	120,44384	188,31144	160,45146	140,22967	120,48839	188,22055	160,46765	140,32523	120,45228
10/04/1978	188,03425	160,67616	140,37083	188,12251	160,47168	140,29452	120,44353	188,31204	160,45368	140,22956	120,48694	188,22101	160,46905	149,32512	120,45092
13/04/1978	188,03434	160,67626	140,37105	188,12187	160,46993	140,29466	120,44392	188,31049	160,45073	140,22903	120,48787	188,21958	160,46663	140,32511	120,45066
11/05/1978	188,02838	160,67436	140,36975	188,11135	160,46322	140,29196	120,44293	188,30009	160,44375	140,22514	120,48528	188,21156	160,46289	140,30334	120,45004
16/05/1978	188,02749	160,67310	140,36979	188,10939	160,46224	140,29114	120,44326	188,29766	160,44250	140,22435	120,48513	188,20989	160,46181	140,32295	120,44986
18/05/1978	188,02739	160,67314	140,36976	188,10930	160,46189	140,29152	120,44262	188,29765	160,44232	140,22388	120,48516	188,20977	160,46174	140,32344	120,44977
09/06/1978	188,02464	160,67235	140,36918	188,10496	160,45932	140,29050	120,44153	188,29235	160,43959	140,22242	120,48454	188,20549	160,45985	140,32216	120,44948
24/06/1978	188,02385	160,67187	140,36907	188,10276	160,45774	140,28923	120,44155	188,29096	160,43806	140,22115	120,48423	188,20448	160,45830	140,32150	120,44916
24/08/1978	188,01817	160,66682	140,36808	188,09323	160,44915	140,28598	120,44064	188,28061	160,42848	140,21534	120,48284	188,19707	160,45210	140,31941	120,44882
15/09/1978	188,00993	160,66216	140,36658	188,07562	160,43086	140,28052	120,44009	188,26426	160,40891	140,20619	120,48081	188,18404	160,44004	140,31595	120,44815
25/09/1978	188,00707	160,66201	140,36633	188,07397	160,42917	140,27942	120,44014	188,26300	160,40767	140,20450	120,48040	188,18280	160,43874	140,31556	120,44819
12/10/1978	188,00711	160,66106	140,36579	188,07046	160,42534	140,27781	120,43958	188,25943	160,40405	140,20163	120,47961	188,18071	160,43677	140,31445	120,44781
26/10/1978	188,00631	160,66020	140,36585	188,06809	160,42381	140,27729	120,43976	188,25705	160,40177	140,20096	120,47985	188,17763	160,43532	140,31416	120,44819
25/11/1978	188,00472	160,65868	140,36557	188,06524	160,42000	140,27595	120,43954	188,25328	160,39754	140,19861	120,47897	188,17501	160,43303	140,31345	120,44753
29/12/1978	188,00242	160,65750	140,36534	188,06151	160,41654	140,27512	120,43964	188,24948	160,39396	140,19685	120,47851	188,17167	160,43041	140,31240	120,44752
30/01/1979	188,00212	160,65742	140,36497	188,05880	160,41485	140,27322	120,43947	188,24704	160,39221	140,19417	120,47880	188,16905	160,42876	140,31108	120,44799
28/02/1979	188,00108	160,65527	140,36491	188,05615	160,41213	140,27338	120,43928	188,24492	160,38823	140,19367	120,47601	188,16795	160,42605	140,31139	120,44520
30/03/1979	188,00067	160,65400	140,36400	188,05516	160,40932	140,27233	120,43939	188,24307	160,38592	140,19229	120,47797	188,16613	160,42567	140,31004	120,44718
30/04/1979	187,99916	160,65385	140,36395	188,05338	160,40736	140,27129	120,43914	188,24161	160,38447	140,19137	120,47885	188,16575	160,42374	140,31004	120,44831
30/05/1979	187,99857	160,65370	140,36441	188,05156	160,40666	140,27099	120,43899	188,23838	160,38321	140,18989	120,47701	188,16198	160,42356	140,30979	120,44677
30/06/1979	187,99824	160,65154	140,36378	188,05144	160,40381	140,26986	120,43847	188,23834	160,04100	140,18936	120,47759	188,16280	160,42065	140,30901	120,44751
30/07/1979	187,99656	160,65179	140,36376	188,04751	160,40286	140,26928	120,43790	188,23422	160,37952	140,18794	120,47625	188,15745	160,42001	140,30780	120,44655
30/08/1979	187,99633	160,65036	140,36374	188,04700	160,40163	140,26828	120,43812	188,23333	160,37773	140,18622	120,47635	188,15740	160,41904	140,30754	120,44686
30/09/1979	187,99552	160,64978	140,36351	188,04616	160,40051	140,26860	120,43803	188,23312	160,37658	140,18635	120,47639	188,15815	160,41871	140,30793	120,44678
30/10/1979	187,99462	160,65028	140,36324	188,04520	160,40074	140,26814	120,43804	188,23256	160,37687	140,18559	120,47613	188,15832	160,41892	140,30737	120,44664
30/11/1979	187,99469	160,65060	140,36304	188,04441	160,39948	140,26756	120,43800	188,23248	160,37579	140,18549	120,47577	188,15714	160,41840	140,30714	120,44643
30/12/1979	187,99436	160,65026	140,36301	188,04457	160,39903	140,26690	120,43791	188,23200	160,37508	140,18545	120,47557	188,15754	160,41805	140,30756	120,44643
30/03/1980	187,99334	160,65889	140,36345	188,04083	160,39687	140,26740	120,43832	188,22717	160,37225	140,18350	120,47592	188,15372	160,41648	140,30719	120,44697
20/06/1980	187,99326	160,64819	140,36344	188,03982	160,39753	140,26707	120,43799	188,22507	160,37075	140,18207	120,47539	188,15279	160,41485	140,30574	120,44673
30/09/1980	187,99173	160,64677	140,36283	188,03912	160,39564	140,26596	120,43751	188,22611	160,37047	140,18043	120,47538	188,15170	160,41673	140,30586	120,44646
07/10/1980	187,98954	160,64570	140,36267	188,03529	160,39163	140,26540	120,43695	188,21974	160,36621	140,17946	120,47464	188,14694	160,41374	140,30575	120,44592
07/01/1981	187,98891	160,64505	140,36250	188,03354	160,38997	140,26500	120,43696	188,22001	160,36432	140,17904	120,47466	188,14769	160,41204	140,30554	120,44577
07/03/1981	187,98827	160,64494	140,36241	188,03301	160,38796	140,26398	120,43691	188,21882	160,36333	140,17884	120,47444	188,14764	160,41178	140,30520	120,44547
10/05/1981	187,98827	160,64513	140,36207	188,03170	160,38762	140,26301	120,43686	188,21725	160,36285	140,17728	120,47400	188,14611	160,41017	140,30336	120,44545
10/07/1981	187,98652	160,64449	140,36118	188,03163	160,38733	140,26201	120,43616	188,21633	160,36208	140,17648	120,47321	188,14506	160,40907	140,30335	120,44543
27/10/1981	187,98598	160,64448	140,36127	188,02922	160,38535	140,26139	120,43585	188,21437	160,35969	140,17524	120,47281	188,14415	160,40735	140,30237	120,44502
06/01/1982	187,98502	-	140,36116	188,02698	160,38519	140,26123	120,43578	188,21318	160,35994	140,17500	120,47274	188,14271	160,40762	140,30253	120,44483
19/04/1982	187,98425	160,64477	140,36097	188,02576	160,38457	140,26086	120,43594	188,21159	160,35919	140,17450	120,47264	188,14193	160,40773	140,30227	120,44462
07/07/1982	187,98402	160,64460	140,36070	188,02510	160,38417	140,26056	120,43451	188,21042	160,35882	140,17349	120,47259	188,14456	160,40783	140,30233	120,44460
07/12/1982	187,98247	160,64370	140,36044	188,02298	160,38296	140,25963	120,43537	188,20801	160,35765	140,17262	120,47169	188,13942	160,40730	140,30159	120,44420
07/03/1983	187,98210	160,64360	140,36031	188,02182	160,38169	140,25925	120,43539	188,20768	160,35639	140,17261	120,47162	188,13955	160,40622	140,30155	120,44417
05/05/1983	187,98175	160,64361	140,36022	188,02156	160,38131	140,25909	120,43550	188,20691	160,35615	140,17240	120,47186	188,19380	160,40604	140,30165	120,44426
11/07/1983	187,97149	160,64256	140,36006	188,02026	160,38046	140,25888	120,43480	188,20500	160,35461	140,17152	120,47140	188,13647	160,40440	140,30118	120,44429
09/01/1986	187,97688	160,64046	140,36006	188,01108	160,37377	140,25571	120,43453	188,19553	160,34790	140,16665	120,47011	188,12832	160,39932	140,29939	120,44328
08/07/1986	187,97702	160,63858	140,35877	188,01094	160,37123	140,25510	120,43341	188,19402	160,34545	140,16489	120,46943	188,12632	160,39720	140,29704	120,44236
14/01/1987	187,97561	160,63958	140,35956	188,00944	160,37187	140,25411	120,43437	188,19327	160,34509	140,16409	120,46967	188,12261	160,39789	140,29704	120,44297
16/07/1987	187,97305	160,63813	140,35750	188,00588	160,36913	140,25338	120,43310	188,18964	160,34245	140,16421	120,46962	188,12261	160,39495	140,29746	120,44274
11/01/1988	187,97484	160,63833	140,35949	188,00719	160,36906	140,25515	120,43395	188,19063	160,34208	140,16470	120,46832	188,12443	160,39593	140,29822	120,44058
06/04/1995	187,96636	160,63618	140,35640	187,92265	160,36210	140,24926	120,43228	188,17439	160,33513	140,15735	120,46747	188,11048	160,39195	140,29428	120,02892
21/05/1996	187,96583	160,63388	140,35592	187,99095	160,35893	140,24862	120,43145	188,17202	160,33140	140,15613	120,46651	188,10787	160,38936	140,29319	120,44063

OBS: As leituras em negrito estão, provavelmente, equivocadas

RECALQUE DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DA BARRAGEM DE ITAUBA

DATA	MARCOS TOPOGRÁFICOS														
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15
27/03/1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/04/1978	(0,94)	(0,85)	(0,79)	(0,30)	(0,14)	0,01	(0,06)	(1,19)	(0,94)	(0,93)	(0,83)	(0,35)	(0,17)	(0,02)	(0,06)
07/04/1978	(1,02)	(0,97)	(0,81)	(1,18)	(1,05)	(0,92)	(0,81)	(1,29)	(1,21)	(1,06)	(0,70)	(1,26)	(1,09)	(0,95)	(0,72)
10/04/1978	(1,00)	(1,00)	(0,84)	(1,24)	(0,90)	(0,93)	(0,84)	(1,23)	(0,99)	(1,07)	(0,85)	(1,21)	(0,95)	(0,96)	(0,86)
13/04/1978	(0,99)	(0,99)	(0,82)	(1,31)	(1,08)	(0,92)	(0,80)	(1,39)	(1,28)	(1,12)	(0,75)	(1,35)	(1,19)	(0,96)	(0,89)
11/05/1978	(1,59)	(1,18)	(0,94)	(2,36)	(1,75)	(1,19)	(0,90)	(2,43)	(1,98)	(1,51)	(1,01)	(2,15)	(1,57)	(3,14)	(0,95)
16/05/1978	(1,68)	(1,31)	(0,94)	(2,56)	(1,85)	(1,27)	(0,87)	(2,67)	(2,10)	(1,59)	(1,03)	(2,32)	(1,67)	(1,18)	(0,97)
18/05/1978	(1,69)	(1,30)	(0,94)	(2,56)	(1,88)	(1,23)	(0,93)	(2,67)	(2,12)	(1,64)	(1,03)	(2,33)	(1,68)	(1,13)	(0,98)
09/06/1978	(1,96)	(1,38)	(1,00)	(3,00)	(2,14)	(1,33)	(1,04)	(3,20)	(2,39)	(1,78)	(1,09)	(2,76)	(1,87)	(1,26)	(1,01)
24/06/1978	(2,04)	(1,43)	(1,01)	(3,22)	(2,30)	(1,46)	(1,04)	(3,34)	(2,55)	(1,91)	(1,12)	(2,86)	(2,02)	(1,32)	(1,04)
24/08/1978	(2,61)	(1,94)	(1,11)	(4,17)	(3,16)	(1,78)	(1,13)	(4,38)	(3,50)	(2,49)	(1,26)	(3,60)	(2,64)	(1,53)	(1,07)
15/09/1978	(3,43)	(2,40)	(1,26)	(5,93)	(4,99)	(2,33)	(1,18)	(6,01)	(5,46)	(3,41)	(1,46)	(4,91)	(3,85)	(1,88)	(1,14)
25/09/1978	(3,72)	(2,42)	(1,29)	(6,10)	(5,15)	(2,44)	(1,18)	(6,14)	(5,59)	(3,58)	(1,50)	(5,03)	(3,98)	(1,92)	(1,13)
12/10/1978	(3,72)	(2,51)	(1,34)	(6,45)	(5,54)	(2,60)	(1,23)	(6,49)	(5,95)	(3,86)	(1,58)	(5,24)	(4,18)	(2,03)	(1,17)
26/10/1978	(3,80)	(2,60)	(1,34)	(6,68)	(5,69)	(2,65)	(1,22)	(6,73)	(6,18)	(3,93)	(1,56)	(5,55)	(4,32)	(2,06)	(1,13)
25/11/1978	(3,96)	(2,75)	(1,36)	(6,97)	(6,07)	(2,79)	(1,24)	(7,11)	(6,60)	(4,16)	(1,64)	(5,81)	(4,55)	(2,13)	(1,20)
29/12/1978	(4,19)	(2,87)	(1,39)	(7,34)	(6,42)	(2,87)	(1,23)	(7,49)	(6,96)	(4,34)	(1,69)	(6,14)	(4,81)	(2,23)	(1,20)
30/01/1979	(4,22)	(2,88)	(1,42)	(7,61)	(6,59)	(3,06)	(1,25)	(7,73)	(7,13)	(4,61)	(1,66)	(6,41)	(4,98)	(2,37)	(1,15)
28/02/1979	(4,32)	(3,09)	(1,43)	(7,88)	(6,86)	(3,04)	(1,26)	(7,94)	(7,53)	(4,66)	(1,94)	(6,52)	(5,25)	(2,33)	(1,43)
30/03/1979	(4,36)	(3,22)	(1,52)	(7,98)	(7,14)	(3,15)	(1,25)	(8,13)	(7,76)	(4,80)	(1,74)	(6,70)	(5,29)	(2,47)	(1,23)
30/04/1979	(4,51)	(3,23)	(1,53)	(8,16)	(7,34)	(3,25)	(1,28)	(8,28)	(7,91)	(4,89)	(1,66)	(6,74)	(5,48)	(2,47)	(1,12)
30/05/1979	(4,57)	(3,25)	(1,48)	(8,34)	(7,41)	(3,28)	(1,29)	(8,60)	(8,03)	(5,04)	(1,84)	(7,11)	(5,50)	(2,49)	(1,28)
30/06/1979	(4,60)	(3,46)	(1,54)	(8,35)	(7,69)	(3,40)	(1,35)	(8,60)	(5,35)	(5,09)	(1,78)	(7,03)	(5,79)	(2,57)	(1,20)
30/07/1979	(4,77)	(3,44)	(1,54)	(8,74)	(7,79)	(3,45)	(1,40)	(9,01)	(8,40)	(5,23)	(1,92)	(7,56)	(5,85)	(2,69)	(1,30)
30/08/1979	(4,79)	(3,58)	(1,55)	(8,79)	(7,91)	(3,55)	(1,38)	(9,10)	(8,58)	(5,40)	(1,91)	(7,57)	(5,95)	(2,72)	(1,27)
30/09/1979	(4,88)	(3,64)	(1,57)	(8,88)	(8,02)	(3,52)	(1,39)	(9,12)	(8,70)	(5,39)	(1,90)	(7,50)	(5,98)	(2,68)	(1,27)
30/10/1979	(4,97)	(3,59)	(1,60)	(8,97)	(8,00)	(3,57)	(1,39)	(9,18)	(8,67)	(5,47)	(1,93)	(7,48)	(5,96)	(2,74)	(1,29)
30/11/1979	(4,96)	(3,56)	(1,62)	(9,05)	(8,12)	(3,63)	(1,39)	(9,22)	(8,77)	(5,48)	(1,96)	(7,60)	(6,01)	(2,76)	(1,31)
30/12/1979	(4,99)	(3,59)	(1,62)	(9,04)	(8,17)	(3,69)	(1,40)	(9,24)	(8,84)	(5,48)	(1,98)	(7,56)	(6,05)	(2,72)	(1,31)
30/03/1980	(5,09)	(2,73)	(1,57)	(9,41)	(8,38)	(3,64)	(1,36)	(9,72)	(9,13)	(5,67)	(1,95)	(7,94)	(6,21)	(2,75)	(1,26)
20/06/1980	(5,10)	(3,80)	(1,58)	(9,51)	(8,32)	(3,68)	(1,39)	(9,93)	(9,28)	(5,82)	(2,00)	(8,03)	(6,37)	(2,90)	(1,28)
30/09/1980	(5,25)	(3,94)	(1,64)	(9,58)	(8,51)	(3,79)	(1,44)	(9,83)	(9,31)	(5,98)	(2,00)	(8,14)	(6,18)	(2,89)	(1,31)
07/10/1980	(5,47)	(4,05)	(1,65)	(9,96)	(8,91)	(3,84)	(1,50)	(10,46)	(9,73)	(6,08)	(2,08)	(8,62)	(6,48)	(2,90)	(1,36)
07/01/1981	(5,54)	(4,11)	(1,67)	(10,14)	(9,07)	(3,88)	(1,50)	(10,44)	(9,92)	(6,12)	(2,08)	(8,54)	(6,65)	(2,92)	(1,38)
07/03/1981	(5,60)	(4,12)	(1,68)	(10,19)	(9,28)	(3,98)	(1,50)	(10,55)	(10,02)	(6,14)	(2,10)	(8,55)	(6,68)	(2,95)	(1,41)
10/05/1981	(5,60)	(4,10)	(1,71)	(10,32)	(9,31)	(4,08)	(1,51)	(10,71)	(10,07)	(6,30)	(2,14)	(8,70)	(6,84)	(3,14)	(1,41)
10/07/1981	(5,77)	(4,17)	(1,80)	(10,33)	(9,34)	(4,18)	(1,58)	(10,80)	(10,15)	(6,38)	(2,22)	(8,80)	(6,95)	(3,14)	(1,41)
27/10/1981	(5,83)	(4,17)	(1,79)	(10,57)	(9,54)	(4,24)	(1,61)	(11,00)	(10,38)	(6,50)	(2,26)	(8,90)	(7,12)	(3,24)	(1,45)
06/01/1982	(5,93)	(4,17)	(1,80)	(10,80)	(9,55)	(4,26)	(1,61)	(11,12)	(10,36)	(6,52)	(2,27)	(9,04)	(7,09)	(3,22)	(1,47)
19/04/1982	(6,00)	(4,14)	(1,82)	(10,92)	(9,61)	(4,30)	(1,60)	(11,28)	(10,43)	(6,58)	(2,28)	(9,12)	(7,08)	(3,25)	(1,49)
07/07/1982	(6,03)	(4,16)	(1,85)	(10,98)	(9,65)	(4,33)	(1,74)	(11,39)	(10,47)	(6,68)	(2,28)	(8,85)	(7,07)	(3,24)	(1,49)
07/12/1982	(6,18)	(4,25)	(1,88)	(11,20)	(9,78)	(4,42)	(1,65)	(11,64)	(10,59)	(6,76)	(2,37)	(9,37)	(7,12)	(3,31)	(1,53)
07/03/1983	(6,22)	(4,26)	(1,89)	(11,31)	(9,90)	(4,46)	(1,65)	(11,67)	(10,71)	(6,76)	(2,38)	(9,35)	(7,23)	(3,32)	(1,54)
05/05/1983	(6,25)	(4,26)	(1,90)	(11,34)	(9,94)	(4,47)	(1,64)	(11,75)	(10,74)	(6,78)	(2,36)	(9,33)	(7,25)	(3,31)	(1,53)
11/07/1983	(7,28)	(4,36)	(1,91)	(11,47)	(10,03)	(4,49)	(1,71)	(11,94)	(10,89)	(6,87)	(2,40)	(9,66)	(7,41)	(3,36)	(1,52)
09/01/1986	(6,74)	(4,57)	(1,91)	(12,39)	(10,69)	(4,81)	(1,74)	(12,88)	(11,56)	(7,36)	(2,53)	(10,48)	(7,92)	(3,53)	(1,62)
08/07/1986	(6,73)	(4,76)	(2,04)	(12,40)	(10,95)	(4,87)	(1,85)	(13,03)	(11,81)	(7,54)	(2,60)	(10,68)	(8,13)	(3,77)	(1,72)
14/01/1987	(6,87)	(4,66)	(1,96)	(12,55)	(10,88)	(4,97)	(1,76)	(13,11)	(11,84)	(7,62)	(2,57)	(11,05)	(8,07)	(3,77)	(1,66)
16/07/1987	(7,12)	(4,80)	(2,17)	(12,91)	(11,16)	(5,04)	(1,88)	(13,47)	(12,11)	(7,60)	(2,58)	(11,05)	(8,36)	(3,73)	(1,68)
11/01/1988	(6,94)	(4,78)	(1,97)	(12,77)	(11,17)	(4,87)	(1,80)	(13,37)	(12,14)	(7,55)	(2,71)	(10,87)	(8,26)	(3,65)	(1,90)
06/04/1995	(7,79)	(5,00)	(2,28)	(21,23)	(11,86)	(5,46)	(1,96)	(15,00)	(12,84)	(8,29)	(2,79)	(12,26)	(8,66)	(4,05)	
21/05/1996	(7,84)	(5,23)	(2,33)	(14,40)	(12,18)	(5,52)	(2,05)	(15,23)	(13,21)	(8,41)	(2,89)	(12,52)	(8,92)	(4,15)	(1,89)